



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRIA EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA**

**TESIS**

**ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE LAS VARIABLES  
METEOROLÓGICAS: PRECIPITACIÓN, VELOCIDAD DEL  
VIENTO Y TEMPERATURA UTILIZANDO LA DISTRIBUCIÓN DE  
WEIBULL EN LA CIUDAD DEL CUSCO, DURANTE EL PERIODO  
2001 A 2021**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA**

**AUTOR:**

Bach. ABELARDO HUAMAN GUZMAN

**ASESOR:**

Dr. DOMINGO WALTER KEHUARUCHO CARDENAS

**CODIGO ORCID:** 0000-0002-1009-1618

**CUSCO-PERÚ**  
**2023**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: ANÁLISIS DE TENDENCIA/ DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS: PRECIPITACIÓN, V. VIENTO Y TEMPERATURA UTILIZANDO LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL EN... presentado por: Dr. ABELANDO HUAMAN GUZMAN con Nro. de DNI: 24390619, para optar el título profesional/grado académico de: MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN FÍSICA.

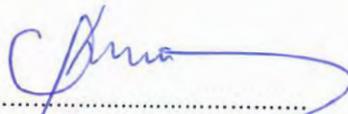
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por...2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de...9%

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 08 de DICIEMBRE de 2023



Firma

Post firma: DOMINGO W. IKENHARUCTO CARDENAS

Nro. de DNI: 23884606

ORCID del Asesor: 0000-0002-1009-1618

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: cid 27259:29385207

NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE LAS VARI  
ABLES METEOROLÓGICAS: PRECIPITACI  
ÓN.docx**

AUTOR

**Abelardo Huamán Guzmán**

RECUENTO DE PALABRAS

**28306 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**155532 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**147 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 8, 2023 10:49 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 8, 2023 10:53 PM GMT-5****● 9% de similitud general**

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

- 9% Base de datos de Internet
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de Crossref
- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 40 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

## DEDICATORIA

- Mis más sinceros agradecimientos a mis queridos padres Silverio y Rosa Julia porque a pesar de las dificultades que presenta la vida siempre han sabido enseñarme a salir adelante y a no rendirme, Sin su apoyo incondicional no hubiera podido llegar a donde estoy.
- A mi esposa Marilú y a mi hija Andrea, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y en el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo. Gracias por haber sido mi fuente de inspiración en mi deseo de proseguir mis estudios.
- A mis hermanos, amigos, colegas de trabajo y familiares por vuestros consejos y aliento constante de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a mis Maestros:

Dr. Domingo Walter Kehuarucho Cárdenas, Dr. Santiago Soncco Tumpi y Dr. Hugo Cornejo Rosell.

**INDICE GENERAL**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>PALABRA CLAVE .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>3</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Situación problemática .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Formulación del Problema.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Problema general.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. Problemas específicos:.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Justificación de la Investigación. ....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Objetivos de la Investigación .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.1. Objetivo general.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>9</b>

<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO</b> .....	11
<b>II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL</b> .....	11
<b>2.1 Antecedentes de investigación</b> .....	11
<b>2.1.1. Antecedentes internacionales.</b> ....	11
<b>2.1.2. Antecedentes nacionales/regionales.</b> .....	15
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	20
<b>2.2.1. Sustentación teórica</b> .....	20
<b>2.2.2. Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio</b> <b>Abad del Cusco (UNSAAC)</b> .....	21
<b>2.2.3. Datos meteorológicos de estudio</b> .....	22
<b>2.3 Marco conceptual-Definición de términos básico.</b> ....	32
<b>2.3.1. Atmosfera</b> .....	32
<b>2.3.2. Meteorología</b> .....	35
<b>2.3.3. Climatología</b> .....	36
<b>2.3.4. Cambio Climático.</b> .....	38
<b>2.3.5. Tiempo</b> .....	39
<b>2.3.6. Serie temporal</b> .....	40
<b>2.3.7. Tendencia</b> .....	41
<b>2.4 Marco conceptual-Mediciones para el pronóstico de la información</b> .....	42
<b>2.4.1. Distribución de Weibull</b> .....	43

2.4.2. El modelo ARIMA .....	49
2.4.3. Análisis de correlación .....	52
2.4.4. Herramientas informáticas de soporte .....	54
<b>CAPITULO III: HIPOTESIS GENERAL Y VARIABLES.....</b>	<b>57</b>
3.1. Hipótesis General.....	57
3.2. Hipótesis específicas.....	57
3.3. Identificación de variables.....	58
3.4. Operacionalización de variables .....	59
<b>CAPITULO IV. MÉTODOLOGÍA .....</b>	<b>63</b>
4.1. Tipo y diseño de investigación.....	63
4.2. Unidad de análisis .....	63
4.3. Población de estudio.....	63
4.4. Selección de la muestra.....	64
4.5. Técnicas de recolección de Datos.....	64
4.6. Análisis e interpretación de la información.....	65
<b>CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
5.1. Análisis e interpretación de resultados .....	67
5.1.1. Análisis e Interpretación Descriptivo para Variables .....	70
5.1.2. Análisis e Interpretación de la Distribución de Weibull para Variables ..	81
5.1.3. Análisis e Interpretación de Series Temporales para Variables .....	95

5.1.4. Análisis e Interpretación de Correlación para Variables .....	108
5.2. Pruebas Hipótesis .....	112
5.2.1. Hipótesis General.....	112
5.2.2. Hipótesis Específicas .....	112
5.3. Presentación de resultados .....	113
5.3.1. Mediante análisis básico descriptivo de variables .....	114
5.3.2. Mediante análisis de la Distribución de Weibull de variables.....	116
5.3.3. Mediante análisis de Series Temporales para variables .....	119
5.3.4. Mediante análisis de correlación para variables .....	126
CONCLUSIONES.....	128
RECOMENDACIONES .....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	132
PÁGINAS WEB VISITADAS .....	137

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Prueba de bondad de ajuste para recta de regresión .....	48
Tabla 3.1: Operacionalización de variables .....	59
Tabla 3.2: Matriz de consistencia .....	62
Tabla 5.1: Datos por día de las variables Precipitación (PREC), Velocidad del viento (VELO) y Temperatura (TEM).....	68
Tabla 5.2: Precipitación e indicadores estadísticos mensuales .....	73
Tabla 5.3: Velocidad del viento e indicadores estadísticos mensuales.....	77
Tabla 5.4: Temperaturas e indicadores estadísticos mensuales .....	79
Tabla 5.5: Distribución de Weibull de la variable precipitación del 2001 al 2021 .....	82
Tabla 5.6: Prueba de bondad para ajuste de relación de precipitación .....	86
Tabla 5.7: Distribución de Weibull de la variable velocidad del viento del 2001 al 2021 .....	87
Tabla 5.8: Prueba de bondad para ajuste de relacion de velocidad del viento.....	90
Tabla 5.9: Distribucion de Weibull de la variable temperatura del 2001 al 2021 .....	91
Tabla 5.10: Prueba de bondad para ajuste de relacion de temperatura.....	94
Tabla 5.11.: Pronóstico de la precipitacion para los años 2022 al 2023 .....	121
Tabla 5.12.: Pronóstico de la velocidad del viento para los años 2022 y 2023 .....	124
Tabla 5.13.: Pronóstico de la temperatura para los años 2020 y 2021.....	124

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Instrumentos de precipitación. ....	24
Figura 2.2: Anemómetro.....	26
Figura 2.3: Rosa de los vientos.....	27
Figura 2.4. Ley Potencial.....	29
Figura 2.5: Instrumentos de temperatura .....	30
Figura 2.6: Composición de la atmósfera .....	34
Figura 2.7: Distribucion de Wewibull para diferentes valores de K.....	45
Figura 2.8: Distribución acumulativo de Weibull para diferentes valores de k.....	45
Figura 2.9: Series de tiempo estacionario y no estacionario.....	50
Figura 2.10: Ecuación de la recta de ajuste de dependencia de valores X e Y .....	53
Figura 5.1: Gráfico de la variable precipitación (datos originales) .....	71
Figura 5.2: Gráfico de la variable precipitación como datos imputados .....	71
Figura 5.3: Gráfico de la variable del viento (datos originales) .....	74
Figura 5.4: Gráfico de la variable velocidad del viento con datos imputados.....	75
Figura 5.5: Gráfico de la variable temperatura (datos originales) .....	78
Figura 5.6: Gráfico de la variable temperatura con datos originales imputados .....	78
Figura 5.7: Distribución de Weibull para precipitación.....	84
Figura 5.8: Distribución acumulada de Weibull para precipitación .....	84
Figura 5.9: Mínimos cuadrado para la estimación del parámetro Weibull para precipitación. ....	85

Figura 5.10: Distribución de Weibull para velocidad del viento .....	88
Figura 5.11: Distribución acumulada de Weibull para velocidad del viento.....	88
Figura 5.12: Mínimos cuadrado para la estimación del parámetro Weibull para velocidad del viento. ....	89
Tabla 5.9: Distribución de Weibull de la variable temperatura del 2001 al 2021 .....	91
Figura 5.13: Distribución de Weibull para temperatura .....	92
Figura 5.14: Distribución acumulada de Weibull para temperatura .....	92
Figura 5.15: Mínimos cuadrado para la estimación del parámetro Weibull para temperatura. ..	93
Figura 5.16: Serie temporal de precipitación con datos imputados.....	98
Figura 5.17: Descomposición aditiva de la serie temporal precipitación.....	99
Figura 5.18: Función de autocorrelación de la serie temporal precipitación .....	99
Figura 5.19: Función de autocorrelación parcial de la serie temporal precipitación .....	100
Figura 5.20: Serie temporal de velocidad de viento con datos imputados.....	101
Figura 5.21: Descomposición aditiva de la serie temporal velocidad viento. ....	102
Figura 5.22: Función de autocorrelación de la serie temporal velocidad del viento. ....	103
Figura 5.23: Función de autocorrelación de la serie temporal velocidad viento. ....	103
Figura 5.24: Serie temporal de temperatura con datos imputados.....	105
Figura 5.25: Descomposición aditiva de la serie temporal temperatura. ....	106
Figura 5.26: Función de autocorrelación de la serie temporal temperatura.....	107
Figura 5.27: Función de autocorrelación parcial de la serie temporal temperatura.....	107

Figura 5.28: Correlación entre Precipitación y Velocidad del viento del 2001 al 2021 .....	109
Figura 5.29: Correlación entre Velocidad del viento y temperatura del 2001 al 2019.....	110
Figura 5.30: Correlación entre precipitación y temperatura del 2001 al 2019 .....	111
Figura 5.31: Pronóstico de la precipitación para los años 2022 y 2023 (Pronóstico de ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 2) [12]).....	120
Figura 5.32: Pronóstico de la velocidad del viento para los años 2022 y 2023 (Pronóstico de ARIMA (0, 0, 2) (0, 0, 2) [12]) .....	121

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	:	Análisis de Varianza
AR	:	Auto Reressive
ARIMA	:	Auto Regressive Integrated Moving Average
CMNUCC	:	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
CIDE	:	Centro de Investigación y Desarrollo
OMM	:	Organización Meteorológica Mundial
GEMI	:	Metodología para el análisis de datos climáticos en la provincia Holguín
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
IPCC	:	Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.
MA	:	Moving Average
PREC	:	Precipitación
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
TEM	:	Temperatura
VELO	:	Velocidad del viento
UNSAAC	:	Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## **PALABRA CLAVE**

Tema	Análisis de tendencias de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura utilizando la distribución de Weibull en la ciudad del cusco, durante el periodo 2001 a 2021
Especialidad	Física
Objetivo	Diseñar un modelo de investigación
Método	Descriptivo - explicativo

## **KEY WORDS**

Theme	Analysis of trends of meteorological variables: precipitation, wind speed and temperature using the Weibull distribution in the city of Cusco, during the period 2001 to 2021
Specialty	Physical
Objective	Designing a research model
Method	Descriptive - explanatory

## RESUMEN

La presente investigación está direccionada por el problema ¿Cómo son los comportamientos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, ¿mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)? El objetivo planteado frente a este problema es el describir el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021

La investigación que se presenta es del tipo no experimental longitudinal y el diseño de esta investigación es descriptivo. La muestra utilizada en el presente trabajo es el conjunto de datos meteorológicos imputados que corresponden a las variables: la precipitación con 252 datos, velocidad del viento con 252 datos y temperatura con 228 datos, e información obtenida del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) del periodo 2001 al 2021 para las variables: precipitación y velocidad del viento y del periodo 2001 al 2019 para la variable temperatura (por falta de información de los años 2020 y 2021).

Para el presente análisis, interpretación y discusión de resultados de la presente investigación se han considerado los promedios por día de los datos recolectados en intervalos de tiempo. El análisis, interpretación y discusión de los resultados se han desarrollado mediante desarrollo descriptivo, distribución Weibull, series temporales y correlación de las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura. El nivel de correlación lineal es positivo y de muy poca correlación caso de precipitación vs velocidad del viento en la ciudad del Cusco desde el 2001 al 2021, asimismo para los casos precipitación vs temperatura y velocidad del viento vs temperatura en la ciudad del Cusco desde 2001 al 2019.

**Palabras claves:** Pronóstico, precipitación, velocidad del viento, temperatura, cambio climático.

## SUMMARY

The present investigation is directed by the problem: How are the behavior of the meteorological variables: precipitation, wind speed and temperature in the city of Cusco during the period 2001-2021, through historical records and climatological data captured by the Meteorological Observatory of the National University of San Antonio Abad of Cusco (UNSAAC)? The objective set against this problem is to describe the behavior of the meteorological variables: precipitation, wind speed and temperature in the city of Cusco during the period 2001-2021.

The research presented is of the longitudinal non-experimental type and the design of this research is descriptive. The sample used in this work is the set of imputed meteorological data corresponding to the variables: precipitation with 252 data, wind speed with 252 data and temperature with 228 data, and information obtained from the Meteorological Observatory of the National University of San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) from the period 2001 to 2021 for the variables: precipitation and wind speed and from the period 2001 to 2019 for the temperature variable (due to lack of information for the years 2020 and 2021).

For the present analysis, interpretation, and discussion of the results of the present investigation, the averages per day of the data collected in time intervals have been considered. The analysis, interpretation and discussion of the results have been developed through descriptive development, Weibull distribution, time series and correlation of the three variables. The level of linear correlation is positive and with very little correlation in the case of precipitation vs. wind speed in the city of Cusco from 2001 to 2021, likewise for the cases of precipitation vs. temperature and wind speed vs. temperature in the city of Cusco since 2001. to 2019.

**Keywords:** Forecast, precipitation, wind speed, temperature, climate change.

## INTRODUCCION

En el presente trabajo se analizan el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco correspondientes al periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Este observatorio funciona en la Ciudad Universitaria de Perayoy de la UNSAAC desde 1956 y lleva por nombre el del exdocente universitario: Dr. Luis Olazo Olivera quien fue el primero en realizar gestiones para la compra de sus instrumentos. Asimismo se pretende conocer las posibles señales de cambio climático en la ciudad de Cusco, considerando un periodo de estudio 20 años, es muy importante organizar y generar información sobre las tendencias de las variables climatológicas: precipitación, velocidad del viento, debido a que en el departamento de Cusco no ha sido de prioridad y es de necesidad de llevar a cabo el presente estudio que permita analizar las tendencias. Por lo tanto, el generar conocimientos sobre el comportamiento y tendencias de los elementos climáticos de temperatura, viento y precipitación en la ciudad de Cusco es importante para el avance del conocimiento del cambio climático a nivel local y esta pueda permitir en la elaboración y el diseño de las estrategias de adaptación y mitigación sobre el cambio climático como instrumentos de la política pública. El objetivo del presente estudio es el de describir el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, para ello se

analizarán e interpretarán en forma descriptiva las variables meteorológicas de estudio, luego se indagarán si los valores de las variables meteorológicas en estudio indiquen que las muestras se comportan conforme a la función de densidad de Weibull, asimismo analizarán e interpretarán las series temporales llegando a obtener el pronóstico para los años 2022 y 2023 usan el modelo ARIMA y concluir con el estudio de la correlación entre las tres variables en estudio.

Según el propósito de investigación, el presente estudio es una investigación de tipo no experimental, longitudinal y de nivel descriptivo, que consiste fundamentalmente, en caracterizar los fenómenos meteorológicos indicando sus fases más peculiares utilizando las distribuciones estadísticas.

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Situación problemática**

El presente trabajo se ha efectuado en el distrito Cusco, diseñado como lugar de estudio la ciudad del Cusco, provincia y departamento de Cusco, describe el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), que cuenta con información que contribuya el comportamiento del clima y predecir posibles desastres atmosféricos así como entender el fenómeno del calentamiento global (efecto invernadero,) el trabajo se realiza como parte del acuerdo de cooperación mutua entre APPALACHIAN institución de enseñanza superior de la Universidad de Carolina del Norte y la UNSAAC.

En la actualidad, el cambio climático representa uno de los mayores desafíos ambientales que involucra a toda la humanidad, el cambio climático, además de un impacto directo en el medio ambiente, salud, economía y diversos aspectos de la población. En el Perú los fenómenos hidrometeorológicos (sequías, fuertes lluvias, inundaciones, heladas, granizadas) se han incrementado más de seis veces desde 1997 al 2006 y eventos climáticos extremos

como huacos, inundaciones, heladas y el fenómeno de El Niño, se están produciendo con mayor frecuencia e intensidad.

El Perú es el tercer país más vulnerable del mundo, después de Honduras y Bangladesh, a los efectos del cambio climático que experimenta el planeta por la crisis del calentamiento global (Cambio, 2014).

Además, tomando en cuenta que el Perú, a nivel mundial, es responsable del 0.4% de las emisiones de los gases de efecto invernadero y que está considerado como el tercer país más vulnerable a los riesgos generado por el cambio climático.

Se pronostica que el Perú además sufrirá los siguientes efectos negativos, según (Cambio, 2014):

- La pérdida del 22% de la superficie de nuestros glaciares en los últimos 30 años, que a la vez son el 71% de los glaciares tropicales del mundo.
- Peligro de extinción de flora y fauna biodiversa en la Amazonía.
- Pérdida de los cultivos vulnerables al cambio climático como el maíz, la papa y el arroz, que forman parte de la canasta básica familiar peruana.
- Destrucción de la infraestructura vial. Se estima que un 89% de la infraestructura vial en nuestro país es altamente vulnerable a los eventos climáticos.
- El aumento de las temperaturas intensifica los incendios forestales y la expansión de plagas que afectan los cultivos.
- A medida que el clima cambie, las áreas ocupadas por muchas especies no serán aptas para su supervivencia, modificándose el mapa de distribución de las comunidades biológicas.

La región del Cusco, situada en el ande peruano, no está libre de estos problemas ya que posee una gran diversidad ambiental, social y cultural, fue el centro urbano más importante del Imperio del Tahuantinsuyo, fundada por el Inca Manco Cápac, y clasificada como Patrimonio Cultural de la Nación.

## **1.2 Formulación del Problema.**

En esta sección definiremos el área de preocupación que se presentan en la región Cusco y requiere una comprensión significativa de las variables meteorológicas más significativas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco, que vienen a ser el motivo de investigar su comportamiento, las tendencias y predicciones de esas tres variables que sirven como base para que las autoridades competentes adopten decisiones ya sea en el ámbito de salud pública, gestión de riesgo, gestión del agua, turismo, transportes y energía.

### ***1.2.1. Problema general***

¿Cómo son los comportamientos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)?

### ***1.2.2. Problemas específicos:***

1. ¿Cómo es el comportamiento descriptivo de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021) mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)?

2. ¿Cómo es el comportamiento probabilístico respecto a la función de densidad de Weibull de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021 mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)?
3. ¿Cómo se puede modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales que permita la estimación de valores a futuro mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)?
4. ¿Cuáles son los niveles de correlación lineal entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales que permita la estimación de valores a futuro mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)?

### **1.3 Justificación de la Investigación.**

El cambio climático es definido como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones del clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Pudiera ser un cambio en las condiciones climáticas medias o en la distribución de eventos en torno a ellas, como serían, por ejemplo, los fenómenos meteorológicos extremos.

En los últimos años el término "cambio climático" ha estado referido fundamentalmente al cambio causado por la actividad humana, a diferencia de aquellos causados por procesos naturales de la Tierra y el Sistema Solar. En este sentido, especialmente en el contexto de la política ambiental, el término "cambio climático" ha llegado a ser sinónimo de "calentamiento global antropogénico"

El cambio climático hace que los fenómenos meteorológicos, relacionados con el tiempo, el clima y el agua sean cada vez más extremos. Estamos expuestos a desastres, al crecimiento demográfico, la degradación del medio ambiente y la urbanización descontrolada de muchos lugares del mundo. Y por ello, las predicciones ya no bastan. Es vital desarrollar sistemas de alerta temprana, para estar preparados y ser capaces de actuar en el momento oportuno.

En la actualidad, uno de los temas más preocupantes para la comunidad científica, está relacionado al Cambio Climático y sus consecuencias para las futuras generaciones, pasando a un futuro con amenazas por las variaciones de temperatura, precipitación y entre otros elementos climatológicos. La temperatura es determinante para el cambio climático, debido a que esta variable influye sobre las especies, así como en el desarrollo de la vida. Así mismo la precipitación es importante porque influye sobre muchas actividades.

En el presente estudio se pretende conocer las posibles señales de cambio climático en la ciudad de Cusco, considerando un periodo de estudio 20 años. Así mismo es muy importante organizar y generar información sobre las tendencias de las variables climatológicas temperatura, el viento y la precipitación, debido a que en el departamento de Cusco no ha sido de prioridad y es de necesidad de llevar a cabo el presente estudio que permita analizar las tendencias.

Por lo tanto, el generar conocimientos sobre el comportamiento y tendencias de los elementos climáticos de temperatura, viento y precipitación en la ciudad de Cusco es importante para el avance del conocimiento del cambio climático a nivel local y esta pueda permitir en la elaboración y el diseño de las estrategias de adaptación y mitigación sobre el cambio climático como instrumentos de la política pública.

Los resultados y datos que se obtengan en el presente estudio servirán como base para otros estudios en los diferentes lugares principalmente en la región andina y servirán para poder proporcionar información a la comunidad científica sobre las tendencias de las variables meteorológicas que corresponden a los fenómenos de la temperatura, el viento y la precipitación a nivel local específicamente en la ciudad de Cusco es primordial para la adopción, toma de decisiones y poder plantear alternativas y medidas contra los posibles efectos del cambio climático.

#### **1.4 Objetivos de la Investigación**

Dado que la información y las predicciones climáticas sirven como base para la adopción de decisiones en el ámbito de salud pública, gestión del riesgo, agricultura, pesca, gestión del agua, turismo, transporte y energía; estos sectores necesitan con urgencia información de base científica, para planificar sus actividades, calcular los rendimientos hídricos, preparar pronóstico de crecidas de ríos, diseñar proyectos hidroeléctricos y de riego y drenaje, estudiar el abastecimiento de agua potable e industrial y preparar control de inundaciones, etc. En la medida que esta información esté disponible y sea confiable para la ciudad del Cusco, se plantean los siguientes objetivos:

#### **1.4.1. *Objetivo general.***

Describir el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

#### **1.4.2. *Objetivos específicos.***

1. Describir mediante análisis básico descriptivo el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).
2. Evaluar mediante la función de densidad de Weibull el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).
3. Modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales que permita la estimación de valores a futuro. mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

4. Determinar el nivel de correlación lineal entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales que permita la estimación de valores a futuro mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

Una vez definido el problema y precisados el objetivo general y los objetivos específicos que determinan los fines de la presente investigación, es justo establecer los aspectos teóricos que sustentarán el proyecto. En consecuencia, dentro del marco teórico se muestran las bases de los diferentes conceptos relacionados con el proyecto planteado y mostrado en el presente trabajo.

#### 2.1 Antecedentes de investigación

##### *2.1.1. Antecedentes internacionales.*

(Matlalcuatzi Rugerio, 2006) en su investigación “Análisis espectral de series temporales de temperaturas y su aplicación al estudio de su comportamiento en una red de observatorios meteorológicos”, el objetivo de este trabajo es obtener una función suavizada y manejable que describa de manera aproximada la variación de la temperatura máxima anual y análogamente otra que describa la temperatura mínima con base en los datos registrados en cada uno de los observatorios meteorológicos que, por su ubicación geográfica, proporcionan información del comportamiento de la temperatura en la cuenca del Valle de Puebla.

El desarrollo del trabajo se basó fundamentalmente en el análisis espectral de series de tiempo para describir de forma determinista, a través de polinomios trigonométricos, el comportamiento de una serie temporal de datos de temperaturas máximas y mínimas registradas en ocho observatorios.

(Duran Martinez, Rojas Díaz, & Pérez Rivas, 2008) en su publicación “Metodología para el análisis de datos climáticos en la provincia Holguín” el objetivo fue diseñar una metodología idónea para el procesamiento de los datos denominada GEMIL, para uso del Colectivo de Estudios Climáticos del Centro Meteorológico Provincial Holguín.

La metodología confeccionada (GEMIL), demostró su utilidad para el procesamiento de todos los datos climáticos de cualquier variable y cualquier Estación Meteorológica, lo cual se aplicó a las Estaciones Meteorológicas de la provincia de Holguín, con este análisis y mediante el empleo de 5 hojas de cálculo de EXCEL se lograron hacer valoraciones y generalizaciones del clima conociendo los nexos y condiciones particulares de cada estación meteorológica, así como el reflejo de la variabilidad y el cambio climático en la provincia.

(Oñate Valdivieso & Bosque Sendra, 2011) estudiaron las “Tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur”. El objetivo del presente trabajo es el de identificar posibles evidencias de un cambio climático en una región montañosa andina mediante la aplicación de metodologías estadísticas sencillas, para luego generar escenarios regionales de cambio climático para diferentes años horizonte, cuyo efecto en los recursos hídricos será estudiado en un trabajo posterior.

El estudio se desarrolló con información meteorológica de 40 estaciones meteorológicas entre Ecuador (20) y Perú (20) esta última correspondiente a la Red de Estaciones del SENAMHI.

En sus resultados encontraron una tendencia creciente para la precipitación en 28 estaciones y que la mayor parte se dio en las estaciones que se encuentran por debajo de los 600 ms.n.m; y en las estaciones ubicados mayores a los 600 msnm presentaron tendencias decrecientes

(12 estaciones). Además, encontraron una tendencia creciente para 16 estaciones de 17 que estaciones, en la temperatura mínima encontraron tendencia decreciente en la mayoría de las estaciones. Concluyen que la variación de la tendencia creciente de la temperatura señala la posible existencia del cambio climático para el ámbito de estudio de la cuenca hidrográfica binacional (cuenca Catamayo-Chira).

(Villaroel Jimenez, 2013) en el estudio “Eventos extremos de precipitación y temperatura en Chile: Proyecciones para fines del Siglo XXI”. Del análisis de los datos de temperaturas extremas diarias y precipitación diaria generados en las simulaciones de PRECIS, se concluyó que el modelo reproduce adecuadamente en todas las estaciones, el ciclo anual y la distribución de frecuencias de las temperaturas extremas, pero revelando subestimaciones de los valores medios mensuales en la región norte y sobrestimaciones de los mismos en la región central y sur.

En relación a la precipitación, PRECIS en general la subestima, logrando reproducir en forma satisfactoria el ciclo anual sólo en la región entre 30°S y 41°S.

(Agudelo Yopez & Barraza Coronell, 2014) en su trabajo “Diseño de un modelo estadístico de estimación de la radiación solar con parámetros meteorológicos alternativos para el distrito de Barranquilla” asumió el objetivo de establecer un modelo para la estimación de la radiación solar en el distrito de Barranquilla a partir de los datos meteorológicos alternos. Los datos correspondieron a cuatro meses de monitoreo, realizados con una estación hidrometeorológica Davis modelo Vantage Pro 2 ubicada en la Universidad de la Costa, y registrando datos de radiación solar, temperatura, humedad relativa de manera simultánea cada 5 minutos. Los datos se analizaron mediante análisis ANOVA, y se trataron mediante regresiones simples y multivariantes; y por ecuaciones paramétricas preestablecidas por

otros autores. El análisis ANOVA les demostró que la radiación solar presenta la menor variación intrahoraria, mientras que temperatura presentó la mayor variación. Los modelos de regresión presentaron mejor ajuste (mayor en las regresiones multivariadas) que los modelos estadísticos. El modelo que presentó el mejor resultado para estimar la radiación solar lo establece la regresión multivariada con un buen nivel de confiabilidad.

(Galarza Galarza, 2016) en su investigación “Evaluación meteorológica de la cuenca del río Machángara” el objetivo general fue el de evaluar el comportamiento meteorológico de la cuenca del río Machángara, que sirva de base para futuras investigaciones sobre la meteorología y clima de cuencas de montaña; además, aporta como insumo para la planificación de acciones de conservación y manejo de los recursos hídricos en el ámbito de estudio. En la investigación se llegaron a las siguientes conclusiones importantes:

La amplitud de cada variable es poco significativa, a lo largo de la cuenca hidrográfica, demostrando mayor amplitud en la estación de Tixán. La variabilidad Geográfica, en la mayoría de los parámetros atmosféricos estudiados, destaca estratificaciones meteorológicas y presenta anomalías y eventos importantes.

La variabilidad horaria mensual reveló el ciclo diario monomodal de cada parámetro estudiado en las cuatro estaciones, demostrando un mismo nivel de variación, excepto en la presión atmosférica, que tiene un ciclo diario bimodal.

La dinámica de los parámetros atmosféricos, antes, durante y después de un evento de lluvia, tienen un comportamiento establecido, aunque sus valores se modifican de acuerdo a la hora del evento. La correlación espacial demuestra cierta similitud, entre: la temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y radiación solar, con respecto a la altura. La dirección del viento no manifiesta esta cualidad.

(Venegas Zapata María Sheila, 2020) en su trabajo “Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios en el periodo 2006-2018 para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito” indica el siguiente objetivo de análisis del estudio estadístico de variables meteorológicas del cambio climático en Quito y si este cambio se ha mantenido, disminuido o aumentado respecto a estudios anteriores.

El proceso para determinar la variabilidad climática se recopila datos de las estaciones meteorológicas en el formato proporcionado por el INAMHI y la Secretaría del Ambiente, efectuando un control de calidad y un tratamiento de regularización de formato de compatibilidad para posteriormente trabajarlos en Climdex ejecutado sobre la plataforma de R-Studio, metodología recomendada por el Panel Intergubernamental de Expertos frente al Cambio Climático IPCC.

Los resultados muestran de una manera estadísticamente robusta que se evidencia un incremento marcado en lo que se refiere a valores extremos de temperaturas máximas, mínimas y precipitación. Evidencia que concuerda con los efectos reportados de cambio climático (IPCC, 2014).

### ***2.1.2. Antecedentes nacionales/regionales.***

(Jacome Vergaray, 2018) en su investigación “Índices de extremos climáticos de lluvia y temperatura en la cuenca del Mantaro – Perú utilizando el modelo wrf (1981–2065)”

Llega a las siguientes conclusiones: Los resultados de la evaluación de los datos corregidos de lluvia y temperatura indican una buena aproximación de los datos corregidos a los valores

observados, eliminando los errores sistemáticos del modelo y ajustando a sus valores medios e incluso a los extremos.

Con respecto a los índices de extremos climáticos de la lluvia en el sector norte de la cuenca se incrementa los días secos consecutivos en el periodo futuro.

Con respecto a los índices de extremos de temperatura, los días con heladas disminuyen en el futuro con respecto al periodo histórico en toda la cuenca del río Mantaro principalmente en Marcapomacocha principalmente en el horizonte intermedio con respecto a periodo histórico.

(Peñam Cáceres, 2019) en su trabajo “Sistema de información de miniestación meteorológica para la captura de datos de temperatura, humedad y presión atmosférica – centro de operaciones de emergencia Regional-Piura” el objetivo principal fue desarrollar un sistema informático para una mini estación meteorológica, integrando hardware y software que permita capturar y registrar los datos de temperatura, humedad y presión atmosférica, con el propósito de gestionar datos estadísticos tales como el promedio, máximo, mínimo de temperatura, humedad y presión atmosférica, para la mejora en toma de decisiones en el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER). La investigación tuvo un diseño de tipo experimental: pre-experimental, aplicada y descriptiva.

El muestreo de recolección de datos en temperatura, humedad y presión atmosférica fue en cinco (5) días, en horarios relativos (08:00 - 13:00) con el propósito de obtener el promedio máximo y mínimo.

La conclusión en general da como resultado que, los datos varían tanto en la miniestación meteorológica como en la estación meteorológica del COER, teniendo los siguientes resultados: El alto promedio de la miniestación meteorológica en temperatura, en humedad

y en presión atmosférica y como mínimo valor obtenido en la miniestación meteorológica en temperatura, en humedad y en presión atmosférica.

(Ramos Marca, 2013) en su trabajo "Análisis de tendencias espacio temporales de precipitación y temperatura en décadas recientes en la Cuenca Ramis". Los resultados de las tendencias de series anuales de los parámetros de precipitación total anual (PPT), muestran a nivel anual un comportamiento estable, es decir no presenta cambios significativos. Pero si presentan una variabilidad climática con periodos secos y húmedos de los años. Esto puede ser debido a la ubicación de la estación meteorológica.

Por lo que no se identifica una tendencia regional marcada en la cuenca Ramis. Las tendencias de las temperaturas muestran un evidente cambio anual en las estaciones, evaluadas por lo que hay tendencias significativas positivas a nivel anual.

(Guadalupe Baylón, 2014) en su trabajo "Análisis de las variables meteorológicas temperatura y precipitación y su influencia en los aspectos socioambientales en la provincia de Coronel Portillo, Ucayali", el objetivo de este trabajo fue determinar y explicar de qué manera las variables meteorológicas temperatura y precipitación influyen en los aspectos socioambientales de la provincia de Coronel Portillo.

Se realizó un estudio no experimental, donde se observó los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, la investigación fue de tipo descriptivo correlacional que llevó a conocer la relación que existe entre las variables de estudio. Se consideró datos de temperatura media mensual y precipitación total mensual de 06 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú, existente en el área de estudio.

Llega a las siguientes conclusiones: Existió influencia significativa en los aspectos socioambientales de la provincia de Coronel Portillo por variación de temperatura y

precipitación; la variación de la precipitación total mensual genera inundaciones en los meses de diciembre a marzo provocando que el consumo de yuca disminuye de 84.2% a 73.7%, plátano de 86.8% a un 73.7%, pescado de 79.6% a 63.2%, arroz de 55.3% a un 38.3% y aves de corral de 17.1 a 7.2%; y la tendencia de la temperatura promedio es superior al promedio regional 26°C a partir del año 2002 en adelante, esto influye directamente en los aspectos.

(Huere Peña, 2021) en su investigación “Patrones de comportamiento de datos meteorológicos mediante técnicas de data mining en Huancavelica 2018 – 2019”, tuvo como objetivo determinar patrones de comportamiento de datos obtenidos mediante éstas técnicas (Data Mining o minería de datos), de las variables meteorológicas en la ciudad de Huancavelica como son: la temperatura ambiental, presión atmosférica, humedad atmosférica, velocidad del viento, radiación solar, radiación ultra violeta y precipitación pluvial durante el periodo 2018 y 2019.

En este trabajo se ha utilizado una estación meteorológica automatizada de la compañía Weather Link, Marca DAVIS, Modelo Vantage Pro y una consola para el almacenamiento de datos Vantage Pro en texto plano y que posteriormente fueron procesados, descritos y analizados usando el software SPSS Statistical y WRPLOT en el caso particular de la variable dirección del viento y para la determinación de comportamientos y patrones se usó la metodología CRISP-DM mediante el Software SPSS Modeler que en la ruta de sus procedimientos, incluye las etapas de esta metodología.

Llega a las siguientes conclusiones: Mediante la aplicación de algoritmos de aprendizaje no supervisado, es posible descubrir nuevos conocimientos y comportamientos climáticos con la organización de grupos o clúster a partir de los valores diarios de las variables

meteorológicas y realizar predicciones en la ciudad de Huancavelica, también es posible realizar predicciones utilizando algoritmos de aprendizaje supervisado da Data Mining para el proceso y análisis de datos meteorológicos, la misma que usando algoritmos de aprendizaje no supervisado como es el k-means se pudo lograr formar clúster utilizando como origen de las mismas las diferentes variables meteorológicas y los 12 meses del año que se recopilaron los datos para su estudio, comprobándose que existen diferencias significativas, mediante pruebas de hipótesis no paramétricas (kolmogorov – Smirnov) debido a que los datos de las variables en estudio no presentan una distribución normal.

(Aucahuasi Almidón, 2019) en su investigación “Análisis de tendencias de precipitación y temperatura (1970–2017) en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú”, el objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento y las tendencias de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado. Se utilizaron series de temperatura media (Tmean), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación (1970-2017) de la estación meteorológica Puerto Maldonado y base de datos climatológicos modelados (1981-2015) de PISCO del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Se analizó mediante análisis de regresión lineal y las tendencias mediante el test de Mann-Kendall y el test de Pettitt para determinar los probables años de cambio en las tendencias climatológicas utilizando el paquete trend disponible en R.

En los resultados encontramos un incremento significativo ( $P\text{-value} < 0.05$ ) en  $2.40^{\circ}\text{C}$  (Tmean), en  $2.34^{\circ}\text{C}$  (Tmax) y no significativas para las mínimas y la precipitación observada no presentó incremento durante el periodo 1970-2017.

En los datos climatológicos modelados se encontró incremento significativo. En los registros observados de temperatura media, máxima y mínima anual y mensual se encontró una

tendencia positiva significativa ( $P\text{-value} < 0.05$ ) y la precipitación anual observada no mostró ninguna tendencia; sin embargo, en la temperatura máxima y precipitación anual modelada no se encontró tendencias ( $P\text{-value} > 0.05$ ). El punto probable de cambio en la  $T_{\text{mean}}$  (durante el año 1990), la  $T_{\text{max}}$  (durante 1997) y la  $T_{\text{min}}$  (durante 2009). En los datos climatológicos modelados el punto de cambio en la  $T_{\text{mean}}$  (durante 2004).

En el análisis estacional de la temperatura media y máxima se encontró tendencias positivas significativas para las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera; en la temperatura mínima se encontró tendencias en invierno y primavera. Por otro lado, se encontró tendencia positiva en la precipitación estacional de primavera.

En los datos climatológicos modelados se encontró tendencia positiva en la temperatura media y mínima de verano y primavera, en la temperatura máxima se encontró en la estación de primavera, en la precipitación estacional no se encontró tendencias.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1. *Sustentación teórica***

Los sucesos ambientales desfavorables (epidemias, propagación de plagas, etc.) y los desastres naturales relacionados con acontecimientos meteorológicos duros ocasionan grandes pérdidas económicas y, en algunos casos, pérdidas de vidas humanas. No sólo son importantes los sucesos ocasionados por variaciones extremas de aspectos meteorológicos, sino también otros acontecimientos de menos importancia generan la propagación de epidemias afectando a plantas, animales y a comunidades humanas. En general, estas catástrofes son difíciles de modelar y por lo tanto predecir, pero sin información que sostenga los posibles modelos físicos o las eventuales estrategias de resolución de problemas, su

comprensión es prácticamente imposible.

Identificar el comportamiento de las variables meteorológicas se fundamenta en la comprensión de los procesos meteorológicos, que son bastante complejos y que debe ser abordada desde una perspectiva multidisciplinaria, como también en la utilización de datos de calidad, obtenidos con una adecuada resolución temporal y espacial.

En nuestro país existe una gran dificultad para acceder y disponer información meteorológica (temperatura, viento, precipitaciones) por parte de los investigadores.

La escasa información, y en gran parte se encuentra almacenada la mayor de las veces, sin catalogación y bajo mecanismos manuales (planillas en papel archivadas) que dificultan e imposibilitan su organización automática.

Comprendiendo estos aspectos, se tomó como base el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco que no fueron utilizados para este tipo de estudios, se utilizará una base de datos de variables meteorológicas (temperatura, viento y precipitaciones) donde dichas variables se manejan desde el año 2001 hasta el 2021.

### ***2.2.2. Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)***

Este observatorio funciona en la Ciudad Universitaria de Perayoy de UNSAAC desde 1956 y lleva por nombre el del exdocente universitario: Dr. Luis Olazo Olivera quien fue el primero en realizar gestiones para la compra de sus instrumentos. Es una estación meteorológica en el que se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos de medida para así poder establecer el comportamiento atmosférico, cuyo objetivo es hacer conocer el sistema de monitoreo del clima de la ciudad y la región Cusco, estableciendo sistemas de lectura en los sistemas de

medición de los diferentes instrumentos con que cuenta para planificar acciones de prevención y respuestas frente a posibles cambios climáticos.

De este observatorio que tiene información desde 1964 se ha obtenido una base de datos meteorológicos por 20 años de los valores promedio media de temperatura, del viento y precipitaciones, a partir de año 2001 hasta el 2021, dichas variables se definen en la siguiente sección.

### **2.2.3. *Datos meteorológicos de estudio***

#### **a. Precipitaciones**

La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que consiste en la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación se produce como consecuencia de la condensación, es decir, por la acumulación de vapor de agua en la atmósfera que propicia la formación de nubes, éstas están desarrolladas por minúsculas gotitas en donde actúan dos fuerzas: una de arrastre de aire ascendente y el peso de la gotita, cuando éste es lo suficientemente grande vencerá a la fuerza de arrastre, cayendo la gotita al suelo y provocando la lluvia Rodríguez et al. (2004); cuando las nubes acumulan mucho vapor de agua, el peso de las gotas hace que el agua caiga hacia la superficie. Este fenómeno también se conoce como precipitación atmosférica o precipitación pluvial. La precipitación es objeto de estudio de la meteorología por ser un factor importante en la observación del clima y de los fenómenos atmosféricos.

Los tipos de precipitaciones, expresadas en forma referencial, se realizan en función de la temperatura atmosférica, el agua que cae durante la fase de precipitación puede llegar a la superficie en estado líquido o sólido y estas son:

- **Lluvias:** Son las precipitaciones líquidas, varían dependiendo del tamaño de las gotas y de la intensidad con la que caen. Así tenemos:
- **Llovizna,** que es un tipo de lluvia formada por gotas pequeñas y que caen de forma moderada.
- **Los chubascos,** chaparrones o aguaceros, son lluvias de fuerte intensidad y de corta duración.
- **Granizo:** Son las precipitaciones sólidas en forma de bolas de agua congelada que pueden tener distintos tamaños.
- **Nieve:** Son pequeños cristales o copos de agua congelada. Esto ocurre cuando la temperatura se aproxima a los cero grados centígrados, provocando que el agua varíe su estado, de líquido a sólido, en el proceso llamado solidificación.

La precipitación es objeto de estudio de la meteorología por ser un factor importante en la observación del clima y de los fenómenos atmosféricos.

Su medición permite establecer los periodos de duración de las lluvias y registrar la cantidad de agua que llega a la superficie.

La unidad utilizada para medir la precipitación es el **milímetro (mm)** y un milímetro equivale a un litro por metro cuadrado de superficie ( $l/m^2$ ). Estos valores expresan el volumen de precipitaciones que han caído sobre una zona determinada durante un periodo concreto.

Los aparatos utilizados para llevar a cabo la medición de las precipitaciones son:

- **Pluviómetro:** Es el instrumento más sencillo y comúnmente empleado, es un dispositivo que recoge y mide las precipitaciones. Es un recipiente metálico de forma circular, en su parte superior tiene una boca circular que recibe el agua de lluvia la cual pasa por medio

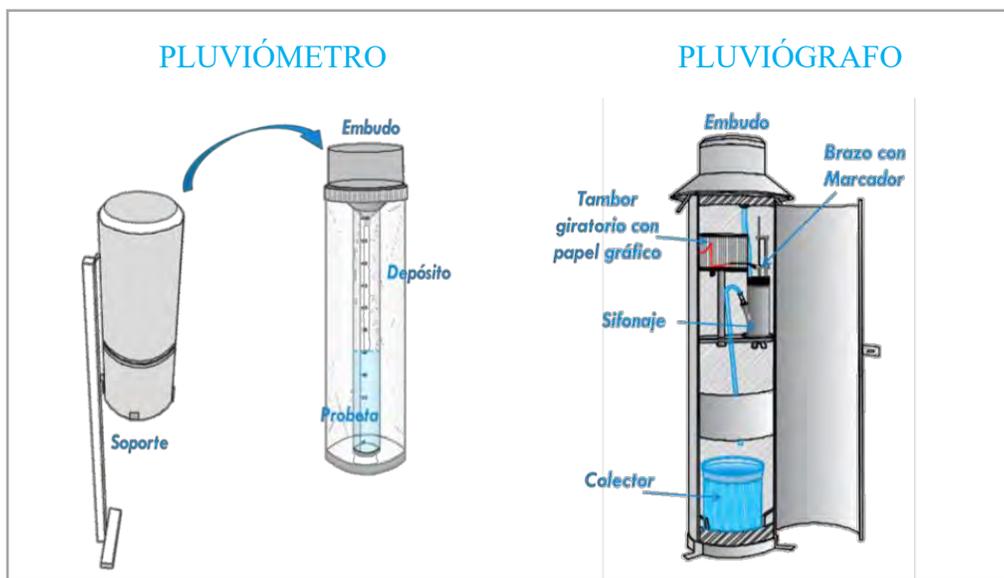
de un embudo hasta un recipiente cilíndrico, denominado colector graduado donde se almacena el agua para su medición. La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. Ver Figura 2.1

- **Pluviografo:** Son pluviómetros que permiten obtener un registro continuo de las caídas de lluvia. Se utilizan para los siguientes fines:

1. Determinar las horas de comienzo y finalización de la lluvia.
2. Determinar la intensidad de la lluvia en todo momento.

En este tipo de instrumentos la lluvia recogida va a parar a un recipiente que contiene un flotador liviano; el movimiento vertical de flotador, como consecuencia de la elevación del nivel de agua, se transmite por medio de un mecanismo apropiado a la pluma que traza el diagrama. Ver Figura 2.1

**Figura 2.1: Instrumentos de precipitación.**



Fuente: <https://www.intesco.com.co/sabes-en-que-se-diferencian-un-pluviometro-y-un-pluviografo/>

## b. Velocidad del viento

La palabra viento hace referencia al movimiento del aire ocasionado por los diferenciales de presión en la atmósfera, también es influenciado por los cambios de temperatura en el transcurso del día, así como por la rotación planetaria y el diferencial de temperatura entre la tierra y los cuerpos de agua masivos (como los mares).

También se entiende que el viento es el movimiento de gases, los cuales son calentados por el sol, lo que ocasiona que se expandan.

Al expandirse adquieren una densidad inferior que los gases más fríos, lo que da por resultado que los gases más calientes (o menos densos) suban en la atmósfera, mientras que los gases menos calientes (o más densos) bajen, este intercambio de posición entre los gases que componen el aire es lo que ocasiona lo que percibimos como viento.

Existen distintos tipos de vientos, causados por el calentamiento desigual de la tierra y la propia rotación, algunos de estos vientos se detallan en este trabajo.

Los vientos fluyen a lo largo del año debido a diferencias latitudinales en la presión del aire, las cuales se denominan **vientos planetarios**. También se les llama vientos dominantes, estos soplan desde una sola dirección sobre un área específica de la tierra.

Estos vientos se clasifican en:

- **Alisios:** vientos de regiones intertropicales.
- **Contralisios:** se ubican en la parte alta de la atmósfera.
- **Circumpolares:** circulan en los círculos polares.

Los **vientos regionales** se caracterizan por ser estacionales y periódicos, los cuales no tienen una dirección constante, de acuerdo a la época del año pueden cambiar su dirección, inclusive en relación a la hora del día.

Las brisas, los ciclones, monzones e inclusive los tornados son vientos de tipo regional.

De acuerdo <http://meteo.navarra.es/definiciones/viento.cfm>, el viento viene caracterizado por dos magnitudes: velocidad y dirección.

i) **Velocidad del viento.** – (Galarza Galarza,2016) La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. Se mide mediante un **anemómetro**, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s). Las ausencias de viento se denominan calmas. (Herrera Novoa C. a., 2016) indica que un anemómetro es un instrumento que sirve para determinar la velocidad del viento o su velocidad y dirección. Para su funcionamiento se recurre fundamentalmente a la utilización de alguna de las tres propiedades del viento como son su energía cinética (que determina la rotación de las cazoletas del aparato), su presión dinámica (dependiente de la velocidad y la densidad) y su capacidad de producir enfriamiento. De ahí que exista gran variedad de tipos de anemómetros. Ver Figura 2.2

**Figura 2.2: Anemómetro**



Fuente: [https://mx.ebay.com/b/Air-Flow-Meters-Anemometers/181969/bn\\_16561406](https://mx.ebay.com/b/Air-Flow-Meters-Anemometers/181969/bn_16561406)

ii) **Dirección del viento.** – (Galarza Galarza, 2016) La dirección mide la componente horizontal de la velocidad del viento. En meteorología es importante tener en cuenta que la dirección nos indica de dónde viene el viento, no hacia dónde va. Por ejemplo, el viento norte es el que sopla desde el norte. Se mide en grados, desde  $0^{\circ}$  (excluido) hasta  $360^{\circ}$  (incluido), girando en el sentido de las agujas del reloj en el plano horizontal visto desde arriba. Valores cercanos a  $1^{\circ}$  y  $360^{\circ}$  indican viento del norte (N), cercanos a  $90^{\circ}$  viento del este (E),  $180^{\circ}$  del sur (S) y  $270^{\circ}$  del oeste. (W o O) La identificación de distintos puntos cardinales existentes se usan frecuentemente la Rosa de los Vientos, que es un símbolo que tiene a forma de una estrella dentro de la circunferencia, ver Figura 2.3, en ella, se identifican los cuatro rumbos laterales, los ocho rumbos colaterales y los rumbos co-colaterales, además de los distintos nombres que pueden tomar las distintas direcciones del viento.

**Figura 2.3: Rosa de los vientos**



Fuente: <https://www.boletinpatron.com/rosa-de-los-vientos/#%C2%BFPara%20qu%C3%A9%20sirve%20la%20Rosa%20de%20los%20Vientos?>

Su uso está muy extendido, de hecho, se encuentra en casi todos los sistemas de navegación, incluyendo el sistema GPS (sistemas de posicionamiento global), así como **NDB** (Balizas No Direccionales) y **VOR** (Sistemas de Rango Omnidireccional VHF). Las cuatro orientaciones que hemos comentado antes: Norte, Sur, Este y Oeste, se encuentra divididas por el horizonte en cuatro partes de 90 grados cada una. La línea que une el Sur y el Norte se llama Línea Norte-Sur o **Meridiana**. La que une el Este y el Oeste se denomina **Línea Este-Oeste**. Las bisectrices de cada uno de estos ángulos que dan lugar a ocho nuevas orientaciones se denominan rumbos generando los **laterales**. Si estos se vuelven a subdividir, generan lo que se llaman **colaterales**.

Según (Herrera Novoa C., 2006) el nombre de **ley potencial** deriva del hecho de que la transformación que cambia los datos de referencia se lleva a cabo elevando sus valores a un exponente. Se expresa matemáticamente de la siguiente forma (Wilks, 2006):

$$F(x) = (x)^k ; k > 0$$

Las expresiones en el caso en el que k sea igual a cero y k sean menores que cero son las siguientes:

$$F(x) = \ln k$$

$$F(x) = -(x)^k$$

Su expresión tomada ya con las variables necesarias en nuestro caso que son la velocidad de viento y la altura es la siguiente:

$$v = v_{\text{ref}} \left( \frac{h}{h_{\text{refg}}} \right)^\alpha$$

El valor que toma el exponente  $\alpha$  en cada situación dependerá de la rugosidad de la superficie, así como de la estabilidad atmosférica. Toma valores dentro de un rango entre 0.05 y 0.5.

Varía de zonas urbanas, donde es mayor, 0.41, a zonas suburbanas, 0.28 o zonas de campo, 0.14 - 0.15. En este trabajo se ha tomado como exponente 0.45 correspondiente a zonas urbana.

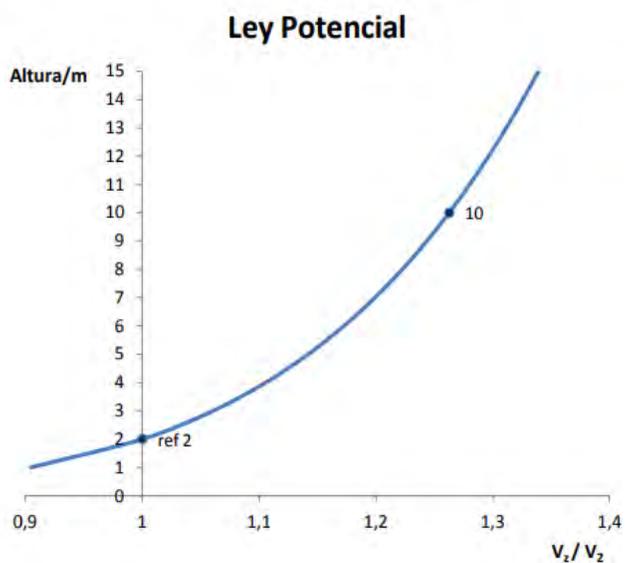
Es habitual su uso en esta forma en estudios de la temática que nos ocupa (Pérez et al, 2004; 2005; 2008)

En otros estudios será necesaria su utilización para realizar algunos cálculos., para los que se transformarán las velocidades medidas, por ejemplo, de 2 m en velocidades a 10 m, como también a velocidades mayores requeridas para unificar así todos los datos.

A continuación, como ejemplo, se muestra una gráfica en la Figura 2.4. donde se representa la ley potencial, en el eje x el cociente entre la velocidad y la velocidad de referencia tomada a 2 m y en el eje y la altura h. Con ella se extrapolan los datos a cualquier otra altura, en este caso a 10 m.

### Figura 2.4. Ley Potencial

(Tomando altura a 2m. como referencia y como exponente 0,45)



Fuente: Elaboración propia

### c. Temperatura

La Organización Meteorológica Mundial define la temperatura como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas de un cuerpo físico. Para fines meteorológicos se mide las temperaturas de numerosos medios, la variable más comúnmente medida es la temperatura del aire, que es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa. Las unidades de medida son el grado Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ) y el grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) (OMM, 2010). La medición de dicha variable es esencialmente realizada hoy, usando un termómetro de mercurio en vidrio, que puede calibrarse exactamente y ser usado hasta temperaturas tan bajas como  $-39^{\circ}\text{C}$ , el punto de congelamiento del mercurio. Para temperaturas más bajas, el mercurio es normalmente sustituido por alcohol.

Las temperaturas máximas y mínimas son generalmente medidas durante específicos periodos de tiempo, normalmente 24 horas. Su unidad es el ( $^{\circ}\text{C}$ ) (López V., 2005) y estas son medidas mediante los termómetros de máxima y mínima que es una de las herramientas más antiguas, fue inventado en el año 1782 y eran utilizadas para medir la temperatura atmosférica, con él se logra determinar la temperatura más alta y la más baja del ambiente, obteniendo cifras realmente certeras, por lo que se ha llegado a prevenir grandes pérdidas en desastres naturales. Tambiè existe el Termo-hidrógrafo que viene a ser un instrumento que ha sido creado con la finalidad de medir la humedad y temperatura del aire de forma simultánea, es una herramienta que es utilizada por la Organización Meteorológica Mundial para estudiar el clima, con la intención de tener la mayor severidad posible en la información meteorológica de cada zona. Ver Figura 2.5.

#### **Figura 2.5: Instrumentos de temperatura**

## TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA



## TERMO HIDROGRAFO



Fuente: <https://instrumentosdemedicion.org/temperatura>

De acuerdo a (Reyes, 2016) la temperatura en la superficie de la tierra viene determinada por la cantidad de calor almacenado, que a su vez esta depende del flujo de calor, en tal punto, radiación solar (entrada) y radiación terrestre (salida).

En física, la temperatura se refiere a una magnitud (magnitud se refiere al tamaño o grandeza de un cuerpo) utilizada para medir la energía cinética (la energía cinética de un objeto es aquella que se produce a causa de sus movimientos que depende de la masa y velocidad del mismo) de un sistema termodinámico, que se genera con los movimientos de las partículas que son parte del sistema. A mayor movimiento, aumenta la temperatura, mientras que, a menor movimiento, la temperatura tiende a disminuir.

La temperatura atmosférica, definición que corresponde a la presente investigación), es el nivel de calor existente en el aire en un punto geográfico determinado y es la principal variable a considerar para definir los tipos climáticos:

- **Macrotérmicos:** altas temperaturas.
- **Mesotérmicos:** climas templados.

- **Microtérminos:** bajas temperaturas.

## 2.3 Marco conceptual-Definición de términos básico.

En esta sección efectuaremos una recopilación, sistematización y exposición de los términos básicos, conceptos fundamentales que son necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

### 2.3.1. *Atmosfera*

La definición y división que se presenta a continuación, fueron recabados de (Rodríguez Jiménez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004).

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra, y que se adhiere a ella gracias a la acción de la gravedad. Es difícil determinar exactamente su espesor, puesto que los gases que la componen se van haciendo menos densos con la altura, hasta prácticamente desaparecer a unos pocos cientos de kilómetros de la superficie.

La atmósfera está formada por una mezcla de gases, la mayor parte de los cuales se concentra en la denominada homósfera, que se extiende desde el suelo hasta los 80-100 kilómetros de altura. De hecho, esta capa contiene el 99,9% de la masa total de la atmósfera. Entre los gases que componen la atmósfera, hay que destacar el Nitrógeno (N<sub>2</sub>), el Oxígeno (O<sub>2</sub>), el Argón (Ar), el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y el vapor de agua.

De acuerdo

<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/27818/Compatmosfera.pdf/996a94d5-ec7c-478f-91ec-d465d8cab5f8>

La atmósfera es la capa de gas (principalmente nitrógeno y oxígeno) que rodea la Tierra. En comparación con el diámetro aproximado de 12.000 km de la Tierra, la capa atmosférica es realmente muy delgada: cerca del 99 por ciento de todo el gas atmosférico está concentrado

en los primeros 30 kilómetros desde la superficie terrestre. La atmósfera se estructura en capas definidas por los cambios de temperatura que se producen con la altitud. En orden ascendente, estas capas son la troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera.

**La troposfera** llega hasta un límite superior situado a 9 Km de altura en los polos y los 18 km en el ecuador. En ella se producen importantes movimientos verticales y horizontales de las masas de aire (vientos) y hay relativa abundancia de agua. Es la zona donde se producen los fenómenos meteorológicos: lluvias, vientos, cambios de temperatura, tormentas tropicales, huracanes, etc. En la tropósfera se puede generar ozono a partir de los contaminantes atmosféricos y la energía del sol sobre todo en las grandes ciudades; es importante mencionar que este ozono troposférico no es permanente como el que se encuentra en la estratosfera y resulta ser dañino a la salud de los seres vivos. La temperatura va disminuyendo conforme se va subiendo, hasta llegar a  $-70^{\circ}\text{C}$  en su límite superior. Entre la troposfera y la estratosfera se encuentra una capa de temperatura constante, a esta región se le llama tropopausa y en ella prácticamente no hay nubes ni movimientos de aire apreciables por lo que es ideal para los vuelos de aviones.

**La estratosfera** se localiza por encima de la troposfera y tiene un espesor aproximado de 30 Km. Está compuesta por nitrógeno, oxígeno y ozono. En ésta región, la temperatura del aire aumenta con la altitud. Este efecto de calentamiento se debe a las reacciones exotérmicas provocadas por la radiación UV del Sol. El ozono ( $\text{O}_3$ ) es uno de los productos de esta secuencia de reacciones que sirve para prevenir que los nocivos rayos UV lleguen a la superficie de la tierra.

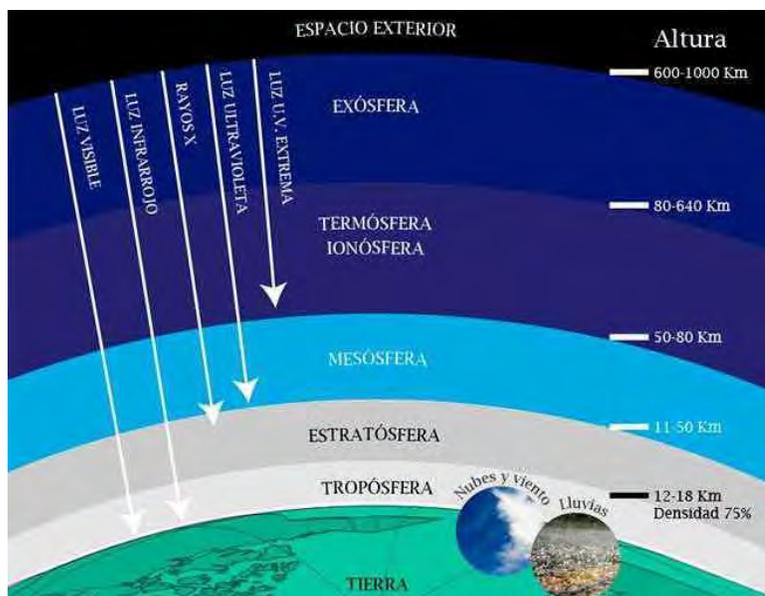
**La mesosfera** está sobre la estratosfera, la concentración de ozono y otros gases es baja y la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud. Es importante por la ionización y

las reacciones químicas que ocurren en ella y los meteoritos desintegrados (estrellas fugaces).

**La termosfera o ionosfera:** es la capa más externa de la atmósfera. El aumento de temperatura en ésta región se debe al bombardeo de nitrógeno y oxígeno moleculares y de especies atómicas por partículas energéticas, como los electrones y protones, provenientes del Sol. En sentido inverso, estos procesos liberan a su vez una cantidad equivalente de energía principal en forma de calor. Las partículas ionizadas son las responsables de que las ondas de radio se reflejen y regresen a la tierra.

La región que hay más allá de la ionosfera recibe el nombre de **exosfera** y se extiende hasta los 9.600 km, lo que constituye el límite exterior de la atmósfera. Más allá se extiende la **magnetosfera**, espacio situado alrededor de la Tierra en el cual, el campo magnético del planeta domina sobre el campo magnético del medio interplanetario; lo indicado constituyen las Ver Figura 2.6

**Figura 2.6: Composición de la atmósfera**



Fuente: <https://www.aprean.com/atmosfera-terrestre/>

### **2.3.2. Meteorología**

La Meteorología en su desarrollo histórico como ciencia, inicia en la Grecia antigua, antes de Cristo con Aristóteles. Su objeto de estudio son los meteoros que, en la etimología griega, hace referencia a todo fenómeno físico que acontece en el aire o atmósfera. A continuación, se presentan las siguientes definiciones:

La meteorología es la ciencia que se ocupa de las leyes que rigen los cambios atmosféricos entre ellos la temperatura, evaporación, humedad, etc. La meteorología además de ser una ciencia física tiene carácter geográfico por la distribución, en el espacio de los fenómenos atmosféricos, ya que su variación tiene estrecha relación con las características de cada lugar (Ayllon, 2003)

La Meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo (Guadalupe Baylón, 2014).

La Meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo (Rodríguez Jiménez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004).

Las variables de la meteorología son: la temperatura, la radiación solar, el viento, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad, nubes, previsibilidad, calidad del aire, air motion, superficie del mar y humedad de la hoja.

### 2.3.3. *Climatología*

La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo, mientras que la meteorología lo hace a mediano y corto plazo.

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre. También, el clima se define como el conjunto de estados de tiempo atmosférico que se producen en una determinada región y que otorgan a ésta una particular idiosincrasia.

De acuerdo al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático' (IPCC es su acrónimo en inglés) (IPCC, Informe de síntesis, contribución de los grupos de trabajo I, II, y III al Quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio, 2014) el clima es definido como el estado promedio del tiempo y de forma rigurosa, entendido como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores promedios y de las magnitudes correspondientes en periodos.

La Organización Mundial de la Salud (OMM) (2011) señala que el promedio de referencia climática es de 30 años para monitorear el clima y el tiempo; así mismo señala que los periodos históricos de 30 años son denominados como normales climatológicas, pudiéndose calcular en territorios de nivel internacional, nacional, regional y local.

Las variaciones del clima que se ven influidas por aspectos relevantes de la meteorología también son materia de estudio dentro de la climatología.

Así, gracias a las diversas observaciones es posible elaborar unos gráficos llamados climogramas en los que se recoge la descripción del clima de distintos lugares.

Además, la información que se recoge es lo que permite conocer, por ejemplo, las características de las distintas estaciones del año.

La gran diversidad de climas que caracterizan las distintas regiones de nuestro planeta es el resultado de la interacción de numerosos factores conocidos como controladores del clima. Éstos pueden ser externos, como son los factores astronómicos (distancia entre la Tierra y el Sol, inclinación del eje de rotación de la Tierra, actividad solar) o internos, como son las características geográficas (latitud, distribución tierra-mar, orografía, corrientes oceánicas) y meteorológicos (localización de los principales centros de bajas y altas presiones, vientos dominantes, etc.) de las distintas zonas de la Tierra.

Al igual que ocurre con la meteorología, en la climatología también hay ramas que se pueden diferenciar claramente:

- **La rama física:** la climatología física pone el foco en los elementos como el viento, las lluvias o incluso la humedad. Su trabajo es estadístico y analiza cómo se relacionan estos elementos entre ellos.
- **Regional:** estudios realizados de forma concreta para una región específica.
- **Climatología dinámica:** este campo de estudio nace en los años 60 y, desde ese momento, realiza simulaciones mediante las cuales establece cómo se produce el cambio climático.
- **La paleoclimatología:** estudia cómo era el clima en el pasado, teniendo en cuenta para ello toda evidencia que ha quedado reflejada en los fósiles y las rocas.

Entre los instrumentos o aparatos para medir el clima podemos mencionar los siguientes:

Nefoscopio, anemómetro, higrómetro, pluviómetro, barómetro, termómetro y veleta

#### **2.3.4. Cambio Climático.**

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) señala que el cambio climático es el cambio que experimenta el clima, gracias a la actividad humana que se viene desarrollando directa o indirectamente, y que estos alteran la composición de la atmósfera global (OMM, Estado de clima 2017: condiciones meteorológicas extremas y efectos devastadores, 2018). El cambio climático es la alteración del clima y las temperaturas de la tierra que afecta a los ecosistemas y origina cambios que directa o indirectamente son producidos por la actividad humana. El aumento excesivo de gases de efecto invernadero contribuye a la variación de la temperatura y al deterioro de la capa de ozono que están constituidos por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). El exceso de gases es generado por las diversas actividades del hombre, como el uso de energías eléctricas, la dependencia de las industrias de combustibles fósiles o la contaminación de las zonas urbanas por los transportes, el mal uso de los residuos, los procesos industriales, etc. (Publicación de Manos Unidas)

La clave de los cambios climáticos acontecidos a lo largo de la historia de la Tierra radica en los cambios de la energía que llega procedente del Sol a la Tierra y del estado de equilibrio en que se encuentra el sistema tierra-océano-atmósfera. Estos cambios pueden tener un origen natural externo:

- Variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre, con una periodicidad aproximada de 100.000 años,
- Modificaciones en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, cuya periodicidad es de unos 41.000 años,
- Cambios en la actividad solar o el número de manchas solares, que varían cada 11 años.
- También pueden estar motivados por causas naturales internas o terrestres:

- La distinta distribución de la tierra y el mar,
- Las erupciones volcánicas o
- Las corrientes oceánicas.

Según (Rodríguez Jiménez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004) el grupo de expertos internacional que estudia el cambio climático, llamado Panel Intergubernamental para el Cambio Climático' (IPCC es su acrónimo en inglés), ha admitido en su último informe, que estos cambios no pueden explicarse sólo a partir de la variabilidad natural del clima y que es posible que las actividades del hombre hayan contribuido a producir estas variaciones anómalas. Asimismo, anuncian entre otros los siguientes cambios del clima a lo largo del siglo XXI:

- Se espera mayor calentamiento en las zonas de interior.
- El calentamiento máximo se espera en el invierno ártico.
- Las temperaturas nocturnas subirán más que las diurnas.
- Probablemente se incrementará el número de días calurosos en las latitudes medias.
- Las sequías e inundaciones podrán ser más frecuentes y prolongadas.
- Se esperan incrementos en los actuales niveles de evaporación y precipitación.

#### **2.3.5. *Tiempo***

Tiempo es el conjunto de fenómenos meteorológicos en un instante y lugar determinado (OMM, Guía de prácticas climatológicas-OMM-N° 100, 2011). Así mismo señala que el tiempo puede tener variaciones a cada momento que pueden ser de las variables climatológicas de la precipitación, temperatura, humedad, viento y otros elementos climatológicos (OMM, Guía de prácticas climatológicas-OMM-N° 100, 2011).

Según (Rodríguez Jiménez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004), la predicción del tiempo que es sinónimo de predicción meteorológico consiste en la determinación anticipada de los valores correspondientes a las variables meteorológicas que afectarán a una determinada región. La predicción meteorológica puede realizarse mediante técnicas estadísticas, pero la forma más habitual, y la que normalmente ofrece mejores resultados, está basada en la resolución de las ecuaciones matemáticas correspondientes a las leyes físicas que describen el comportamiento de la atmósfera.

Para ello se parte del conocimiento del estado inicial de la atmósfera mediante los datos de observación; una vez resueltas estas ecuaciones, con las condiciones iniciales dadas, se obtiene una descripción del estado futuro de la atmósfera y, de este modo, se puede llegar a saber qué tiempo va a hacer después de unas horas o días, es decir, puede elaborarse una predicción meteorológica, como las que habitualmente obtenemos de los medios de comunicación (TV, radio o periódicos).

### ***2.3.6. Serie temporal***

Una serie temporal se define como una colección de observaciones de una variable recogidas secuencialmente en el tiempo. Estas observaciones se suelen recoger en instantes de tiempo equiespaciados. Si los datos se recogen en instantes temporales de forma continua, se debe o bien digitalizar la serie, es decir, recoger sólo los valores en instantes de tiempo equiespaciados, o bien acumular los valores sobre intervalos de tiempo (obtenido de <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/EDescrip/tema7.pdf>)

Representa a un conjunto de datos observados sobre una variable, esto ordenando según transcurre el tiempo, las series temporales permiten poder realizar los análisis de patrones de

comportamiento, para analizar las secuencias de eventos en el tiempo y esto va a permitir estimar su evolución para el futuro cercano (Aguilar Lima, 2017).

Algunos de los objetivos principales del análisis de una serie de tiempo, son clasificados según (Chatfield, 2003) en:

- **Descripción:** El primer paso en el análisis de una serie de tiempo es graficar las observaciones, para obtener medidas simples descriptivas de las características principales de la serie.
- **Explicación** Cuando las observaciones son tomadas en dos o más variables, es posible usar la variación en una serie de tiempo para explicar la variación en otra.
- **Predicción:** Dada una serie de tiempo, es posible que se desee predecir los valores futuros que la serie puede tomar, es decir, la estimación de valores futuros de la variable de interés en función del comportamiento pasado de la serie.
- **Control:** Una serie de tiempo se analiza con el fin de mejorar el control sobre algún sistema físico o económico. En el control de calidad estadístico, las observaciones son representadas en gráficos de control, y el controlador toma acciones como resultado del estudio de los gráficos.

### **2.3.7. Tendencia**

De acuerdo a la Real Academia Española, tendencia es la propensión o inclinación en las personas y en las cosas hacia determinados fines; lo cual se conoce como la preferencia o la corriente que se inclina hacia un fin o fines específicos y que generalmente suelen dejar su marca durante un periodo de tiempo y en un determinado lugar, por lo general, las tendencias se pueden agrupar en tres grandes grupos según su dirección: tendencia alcista, tendencia

bajista y tendencia lateral o sin tendencia; así como, tendencia principal o de largo plazo, tendencia intermedia o de medio plazo y tendencia inmediata o de corto plazo.

Para el interés del presente trabajo, son de vital importancia el término de las tendencias de estadísticas y su significado, que se describe de acuerdo a lo captado de <https://www.scientologycourses.org/es/tools-for-life/conditions/steps/statistic-trends-and-their-meaning.html>: Si conoces el significado de las gráficas de estadísticas, puedes determinar la condición correcta para cualquier actividad. Y si conoces la condición, sabrás qué fórmula aplicar. A partir de ahí, seguir los pasos de cada fórmula e incrementar tus estadísticas es sencillo.

Para comprender las estadísticas debes saber sobre las tendencias, la palabra tendencia significa la forma en que la estadística va generalmente —hacia arriba, a nivel o hacia abajo— a lo largo de un periodo de tiempo, de varias semanas o incluso meses o años. Las tendencias de las estadísticas pueden mostrar cualquier cosa desde una condición de peligro a una condición de poder, dependiendo de la dirección de la gráfica y qué tan pronunciada sea; con solo mirarla, debes hacer un promedio de los puntos altos y los puntos bajos de la estadística y de esta manera verás la dirección general de la gráfica.

#### **2.4 Marco conceptual-Mediciones para el pronóstico de la información**

Para medir los datos registrados de las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura durante el periodo 2001-2021 se han utilizado distribuciones, modelos, grados de asociación y herramientas informáticos de soporte con la finalidad de dar respuesta a los diferentes objetivos e hipótesis planteados, las que se ven en esta sección.

### 2.4.1. *Distribución de Weibull*

La función de distribución de probabilidad de Weibull, desarrollada detalladamente en 1951 por el sueco Waloddi Weibull del que toma su nombre (Weibull, 1951), se usa con éxito para describir las curvas de frecuencias (Odo 2012, Ahmed 2012, Ali 2004).

La distribución de Weibull es de 3 parámetros: forma, escala y ubicación, en el presente trabajo utilizaremos únicamente 2 parámetros: forma y escala, considerando la ubicación como cero.

Una variable aleatoria  $X$  tiene distribución Weibull con parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  si su **función de densidad de probabilidad** (fdp) está dada por:

$$f(x) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k}; x \geq 0, k > 0, c > 0 \quad (1)$$

Donde:

$f(x)$  representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada variable  $x$ .

$k$  es denominado el parámetro de forma, se trata un parámetro adimensional de la distribución de Weibull, representa el rango de variación de la variable  $x$  durante un período de tiempo.

De acuerdo con el valor que tome el parámetro, cambia la forma de las curvas de densidad y la función de la distribución acumulada; si  $\beta < 1$  etapa inicial o rodaje,  $\beta = 1$  operación normal,  $\beta > 1$  etapa de desgaste, incremento de las curvas de densidad.

$c$  es el parámetro de escala y está relacionado con la media de la variable  $x$ , cuyo valor es cercano a la media de la variable  $x$  y cuyas dimensiones dependerán de las variables tomadas en cada caso. Define el intervalo de tiempo donde se espera que la función de la distribución acumulada tenga una probabilidad del 63.2%.

Para  $k = 2$  (caso particular de la distribución de Weibull, conocido como distribución de Rayleigh)

De acuerdo (Gallegos Londoña, García Mora, & Caicedo Benavides, 2022) Las estimaciones de los parámetros de la distribución de Weibull proporcionan información valiosa, el parámetro de forma  $\beta$  nos indica en qué etapa de vida se encuentra un activo, en valores hasta 1 se considera vida infantil, de 1 a 3 es el período normal de utilización caracterizado por una tasa de fallos constante y finalmente con un  $\beta$  superior a 3 es la etapa de envejecimiento. Debido a estos dos parámetros ajustables puede tomar formas muy variadas, lo que le confiere gran versatilidad y capacidad de adaptarse fácilmente a las diferentes formas de los datos. Tiene por tanto una mayor flexibilidad frente a otras distribuciones como pueden ser la exponencial, la normal o Gaussiana, o la Gamma que pueden ser consideradas casos especiales de la distribución de Weibull para valores concretos de los parámetros de esta.

En la Figura 2.7 de (Herrera Novoa) que a continuación se representa, la distribución para un valor del parámetro de escala  $c$  fijo, en este caso se ha representado para  $c = 2$ , y diferentes valores del parámetro de forma  $k$ .

En ella se aprecian la gran diferencia en la forma que toma la distribución en cada caso. En particular, para valores de  $k$  superiores a 4,5 se aproxima a la distribución gaussiana. Además, un valor de  $k$  próximo a 1 corresponde a un régimen de viento altamente variable, cuando se sitúa alrededor de 2 el régimen presenta cambios moderados, mientras que valores superiores a 3 corresponden a vientos más regulares.

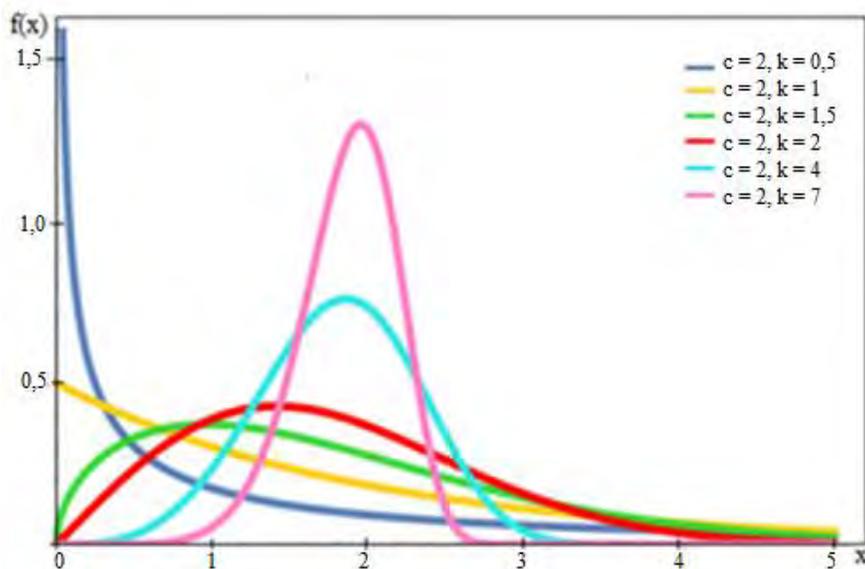
Desde el punto de vista práctico, es deseable conocer la probabilidad de la medición de una variable cuyo valor sea menor o igual a  $x$ , para ello se requiere la **función acumulativa** de Weibull  $F(x)$ , la cual está dada por:

$$F(x) = \int_0^x f(t)dt \quad (2)$$

Usando la ecuación (1), con la substitución  $t \rightarrow x$ , un cálculo directo muestra que la ecuación (2) toma la siguiente forma:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k} \quad (3)$$

**Figura 2.7: Distribucion de Wewibull para diferentes valores de K**



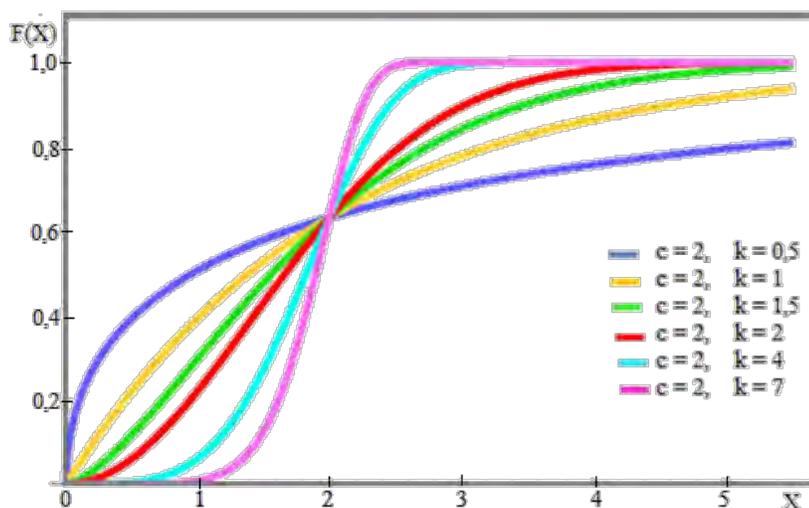
Fuente: (Herrera Novoa)

La función acumulativa de Weibull tiene las propiedades  $F(0) = 0$  y  $F(\infty) = 1$ .

Como ejemplo continuamos a lo indicado anteriormente y en este caso se tiene la siguiente

Figura 2.8.

**Figura 2.8: Distribución acumulativo de Weibull para diferentes valores de k**



Fuente: (Herrera Novoa)

Las funciones  $f(x)$  y  $F(x)$  tienen las siguientes características:

- $f(x)$  es una función continua que cambia rápidamente, alcanza un máximo y vuelve a cero.
- $F(x)$  crece de forma continua tendiendo asintóticamente a uno.

La variable para la cual la función de distribución de Weibull alcanza un máximo se obtiene derivando  $f(x)$  e igualando a cero. Cuyo valor **máximo** es:

$$x_{\max} = c \left( \frac{k-1}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (4)$$

Para determinar el potencial es necesario conocer el valor media o **promedio, la varianza, desviación estándar y el coeficiente de variación de la distribución de Weibull**, usando la ecuación (1) que tiene la forma de la función matemática gamma y operando, respectivamente se tienen:

$$\bar{x} = \int_0^{\infty} x \frac{k}{c} \left( \frac{x}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k} dx = c \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \quad (5)$$

$$\sigma^2 = c^2 \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \right], \quad \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad \text{y} \quad CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (5')$$

El coeficiente de variación, también denominado como coeficiente de variación de Pearson, es una medida estadística que nos informa acerca de la dispersión relativa de un conjunto de datos y según (Martinez Bencardino, 2007) el coeficiente de variación determina la representatividad del promedio en una distribución cualquiera (para nuestro caso Weibull), expresada como:

- $CV \leq 30\%$ , los datos de la muestra son homogéneos. Por lo tanto, la media es representativa.

- $30\% < CV \leq 70\%$ , los datos de la muestra son relativamente homogéneos. Por lo tanto, la media es cuasi representativa.
- $CV > 70\%$ , los datos de la muestra son muy variables o heterogéneos. Por lo tanto, la media no es representativa.

La probabilidad de que la **variable x sea mayor o igual que**  $x_0$

$$P(x \geq x_0) = \int_{x_0}^{\infty} f(x)dx = e^{-\left(\frac{x_0}{c}\right)^k} \quad (6)$$

Probabilidad de que existan **variable entre dos límites** de interés está dado por:

$$P(x_{y_1} < x < v_{y_2}) = e^{-\left(\frac{x_{y_1}}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{x_{y_2}}{c}\right)^k} \quad (7)$$

La función de confiabilidad se define teóricamente como la probabilidad de éxito en la variable  $x$ , que se denota  $R(x)$ . Esta probabilidad se estima a partir de conjuntos de datos anteriores o mediante pruebas de confiabilidad. Para nuestro caso la **función de confiabilidad**  $R(x)$  de Weibull se determina por la siguiente expresión:

$$R(x) = 1 - F(x) = e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k} \quad (8)$$

Existen numerosos métodos diferentes para realizar el **cálculo de los parámetros de forma k y escala c**, de la distribución de Weibull. En general resultan todos ellos equivalentes, variando entre sí su metodología y complejidad. Se escoge uno u otro en función de la comodidad de los cálculos que se precisen en el análisis que se esté llevando a cabo en cada caso.

De acuerdo al artículo de (Palacio Palacio, 2016) se presenta, paso a paso, el método de los Mínimos Cuadrados para calcular los parámetros de forma y escala de la distribución de

Weibull; para el cálculo del parámetro de localización se emplea el complemento Solver de Excel.

Para el presente estudio utilizaremos **Método de regresión lineal**: Partiendo de la función de confiabilidad o distribución acumulativa y tomando el logaritmo dos veces se obtiene la expresión:

$$\ln \{ \ln [R(x)] \} = \ln \{ \ln [1 - F(x)] \} = k \ln(x) - k \ln(c) \quad (9)$$

La ecuación (9) representa una ecuación lineal de la forma

$$y = kx + b; \text{ donde } x = \ln(x) \text{ y } b = -k \ln(c) \quad (10)$$

En este caso  $\ln(x)$  es el logaritmo natural de la variable  $x$  que se ha venido considerado. De la ecuación (10) se concluye que el parámetro de forma,  $k$ , es la pendiente de la recta de regresión y de  $b = -k \ln(c)$  (intercepto con el eje  $X$ ) se halla  $c$ , como se muestra a continuación:

$$b = -k \ln(c) \Rightarrow \ln(c) = -\frac{b}{k} \Rightarrow c = e^{-\frac{b}{k}} \quad (11)$$

Una vez encontrado la recta de regresión, ecuación (10), de acuerdo (Palacio Palacio, 2016) se debe encontrar el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente Tabla 2.1:

**Tabla 2.1: Prueba de bondad de ajuste para recta de regresión**

Pendiente (k)	Intercepto (b)	r	r <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

Una prueba de bondad permite examinar la hipótesis de que una variable aleatoria sigue cierta distribución de probabilidad. En nuestro caso, con estos coeficientes se analiza el comportamiento de la muestra respecto a la función de densidad de Weibull.

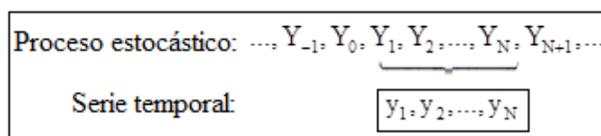
#### 2.4.2. *El modelo ARIMA*

Previamente a describir el modelo ARIMA presentaremos algunas nociones generales y conceptos claves en el análisis de series temporales.

Una serie temporal se define como una secuencia de  $N$  observaciones ordenados y equidistantes cronológicamente sobre una característica o sobre varias características de una unidad observable en diferentes momentos (Mauricio, 2013).

Por otro lado, un proceso estocástico es una secuencia de variables aleatorias, ordenadas y equidistantes cronológicamente, referidas a una o a varias características de una unidad observable en diferentes momentos. (Mauricio, 2013)

$$\dots, Y_{-1}, Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_N, Y_{N+1}, \dots; (Y_t : t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

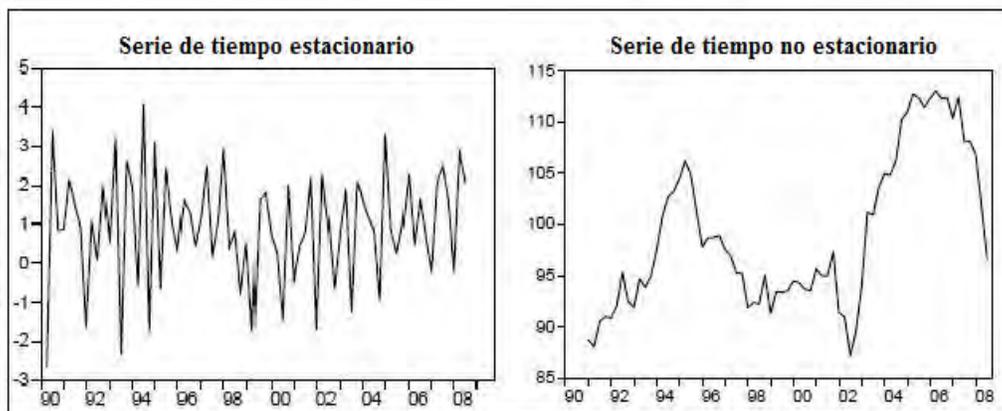


Se dice que un proceso estocástico  $(Y_t)$  es estacionario cuando las propiedades estadísticas de cualquier secuencia finita  $Y_{t_1}, Y_{t_2}, \dots, Y_{t_n}; n \geq 1$  de componentes son semejantes a las de la secuencia  $Y_{t_1+h}, Y_{t_2+h}, \dots, Y_{t_n+h}$  para cualquier número entero  $h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  (Mauricio, 2013)

Las propiedades estadísticas de un proceso estocástico estacionario (sometido al azar y que es objeto de análisis estadístico) son muy diferentes a las de un proceso no estacionario. Se puede distinguir gráficamente que una serie temporal es estacionaria gráficamente cuando

su forma es estrictamente horizontal y con varianza constante y la no estacionaria toma la forma no horizontal, como se muestra en la siguiente Figura 2.9:

**Figura 2.9: Series de tiempo estacionario y no estacionario.**



Fuente: elaboración propia

También, su gráfico temporal y su gráfico ACF serán de gran ayuda para decidir si la serie temporal es estacionaria y, en caso contrario, aplicar una transformación de Box-Cox que estabilice la varianza en torno a la media y tantas diferenciaciones como sean necesarias para convertir la media en constante.

Un modelo para un proceso estocástico es cualquier conjunto de hipótesis bien definidas sobre las propiedades estadísticas de dicho proceso. Un proceso de ruido blanco es una secuencia  $(A_t)$  de variables aleatorias escalares, idéntica e independientemente distribuidas con media cero y varianza  $\sigma_A^2$ , lo cual suele representarse con  $(A_t) \square \text{IID}(0, \sigma_A^2)$ . Un proceso estocástico estacionario  $(Y_t)$  sigue un modelo **AR(1)** (autorregresivo de orden 1), cuando  $Y_t = \mu + \phi_1 Y_{t-1} + A_t$ , para todo  $t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  donde  $\mu + \phi_1$  son parámetros,  $|\phi_1| < 1$  (condición de estacionariedad), y  $(A_t) \square \text{IID}(0, \sigma_A^2)$ . Por otro lado, se dice que un proceso

estocástico sigue un modelo **MA**(1) (media móvil de orden 1) cuando,  $Y_t = \mu + A_t - \theta_1 A_{t-1}$ , para todo  $t=0, \pm 1, \pm 2, \dots$  donde  $\mu + \theta_1$  son parámetros,  $|\theta_1| < 1$  (condición de invertibilidad), y  $(A_t) \square \text{IID}(0, \sigma_A^2)$ . Un proceso estocástico  $(Y_t)$  es integrado de orden  $d$  ( $d \geq 0$  entero) si y solo si  $(Y_t)$  sigue un modelo autorregresivo-integrado-media móvil de orden  $(p, d, q)$  o **ARIMA**( $p, d, q$ ), del tipo  $\phi(B) \bar{V}^d Y_t = \mu + \theta(B) A_t$ , para todo  $t=0, \pm 1, \pm 2, \dots$  donde las raíces de las ecuaciones  $\phi(x) = 0$  y  $\theta(x) = 0$  están fuera del círculo unitario.

De acuerdo (Ortuño Lorente, Ramos Mora, & Senent Núñez, 2017/2018) ARIMA es la abreviatura de “Auto Regressive Integrated Moving Average”, consiste en un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro. Se trata de un modelo dinámico de series temporales, es decir, las estimaciones futuras vienen explicadas por los datos del pasado y no por variables independientes. *AutoRegressive* (**AR**) (auto represivo) se refiere a los “lags” (retrasos) de las series diferenciadas, *Integrated* (**I**) (integrado) es el número de diferencias utilizadas para hacer que las series temporales sean estacionarias, *Moving Average* (**MA**) (promedio medio) se refiere a los “lags” de los errores.

El objetivo al construir un modelo ARIMA es encontrar un modelo que sea lo más adecuado posible para representar el comportamiento general del proceso estocástico del que proviene la serie temporal analizada. Un modelo ideal, según (Uriel Jimenez & Peiro Gimenez, 1995), sería el que cumple las siguientes propiedades:

1. Los residuos del modelo estimado se aproximan al comportamiento de un ruido blanco.
2. El modelo estimado es estacionario e invertible.

Es esencial que los residuos del modelo estimado se comporten como un ruido blanco pues es la hipótesis fundamental de la familia de modelos ARIMA y, en caso contrario estos contendrían información relevante para la predicción.

### **2.4.3. *Análisis de correlación***

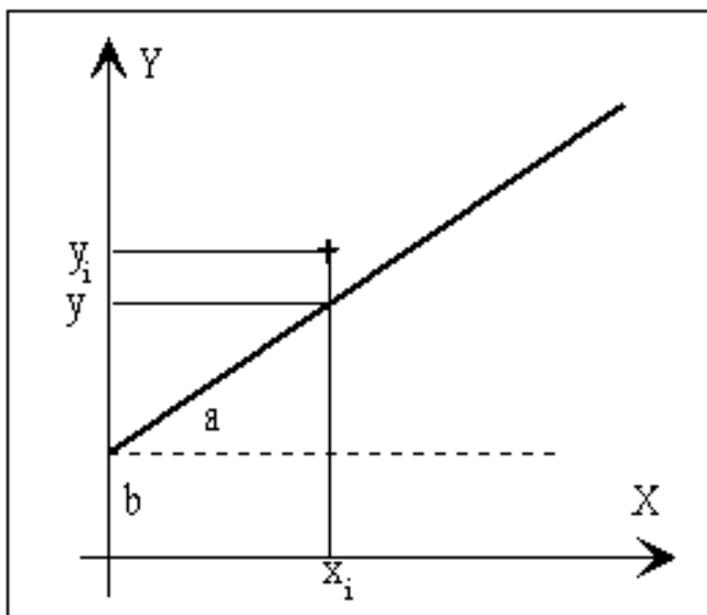
En esta sección se considera lo publicado por (Escobar Baccaro, 2012). El análisis de correlación sirve para medir el grado de asociación que existe entre dos variables meteorológicas, siendo uno de ellos la variable dependiente y la otra la variable independiente. Paralelamente a este análisis, se realizará el análisis de regresión, el cual consiste en ajustar la distribución de los puntos a una función matemática conocida; vale decir, la densidad de los puntos determinados por la variable dependiente e independiente tienen cierta tendencia de la cual nos basamos para relacionar ambas variables.

Vale hacer notar también que en meteorología una variable meteorológica o climatológica, no depende de una sola variable, sino de dos o más variables, como es nuestro caso tres variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura, por lo que los resultados del análisis de regresión lineal simple son aplicables, para el caso de dos variables  $X$  e  $Y$ . El siguiente paso, es la determinación de la dependencia funcional entre las dos variables  $X$  e  $Y$  que mejor ajusta a la distribución bidimensional. Se denomina regresión lineal cuando la función es lineal, es decir, requiere la determinación de dos parámetros: la pendiente y la ordenada en el origen de la recta de regresión,  $Y = aX + b$ .

La regresión nos permite, además, determinar el grado de dependencia de las series de valores  $X$  e  $Y$ , prediciendo el valor  $Y$  estimado que se obtendría para un valor  $X$  que no esté en la distribución.

Vamos a determinar la ecuación de la recta que mejor ajusta a los datos representados en la figura. Se denomina error  $e_i$  a la diferencia  $Y_i - Y$ , entre el valor observado  $Y_i, y_i$ , y el valor ajustado  $Y = aX_i + b$ , tal como se ve en la Figura 2.10 .

**Figura 2.10: Ecuación de la recta de ajuste de dependencia de valores X e Y**



Fuente: Elaboración propia

El criterio de ajuste se toma como aquél en el que la desviación cuadrática media sea mínima, es decir, debe de ser mínima la suma

$$s = \sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - (aX_i + b))^2$$

El extremo de una función: máximo o mínimo se obtiene cuando las derivadas de  $s$  respecto de  $a$  y de  $b$  sean nulas. Lo que da lugar a un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas del que se despeja  $a$  y  $b$ .

$$\frac{\partial s}{\partial a} = 0 \quad \Rightarrow \quad a = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i + \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N X_i \right)^2}$$

$$\frac{\partial s}{\partial b} = 0 \quad \Rightarrow \quad b = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - a \sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

El coeficiente de correlación es otra técnica de estudiar la distribución bidimensional, que nos indica la intensidad o grado de dependencia entre las variables X e Y. El coeficiente de correlación r es un número que se obtiene mediante la fórmula.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{N \sigma_X \sigma_Y}$$

El numerador es el producto de las desviaciones de los valores X e Y respecto de sus valores medios. En el denominador tenemos las desviaciones cuadráticas medias de X y de Y.

El coeficiente de correlación puede valer cualquier número comprendido entre -1 y +1.

- Cuando  $r = 1$ , la correlación lineal es perfecta, directa.
- Cuando  $r = -1$ , la correlación lineal es perfecta, inversa
- Cuando  $r = 0$ , no existe correlación alguna, independencia total de los valores X e Y

Todo el proceso anteriormente descrito, se puede simplificar con el uso del software Excel, con el cual se obtiene en forma rápida los gráficos y los valores de a, b y r.

#### 2.4.4. *Herramientas informáticas de soporte*

Después de haber definido los métodos cuantitativos y análisis de datos para el pronóstico

que se utilizaran en la investigación, es importante dar a conocer los diferentes paquetes informáticos con los que se realizarán el análisis estadístico de los datos, ya que las técnicas a utilizar no son nada sencillas y se necesitara de dichos paquetes para su mejor manejo, análisis, comprensión y menor dificultad en los cálculos.

Microsoft Excel fue originalmente escrito para la Apple Macintosh de 512k en 1984-1985. Excel es una herramienta muy eficaz para obtener información con significado a partir de grandes cantidades de datos y consta de un libro que contiene una o más hojas. También funciona muy bien con cálculos sencillos y para realizar el seguimiento de casi cualquier tipo de información; los datos pueden ser números o texto que pueden introducir fórmulas que calculan valores basados en referencias a otros números del libro.

Esta herramienta para el registro de información y para el análisis de correlación en el presente trabajo.

R es un lenguaje y entorno para computación estadística y gráficos. Es un proyecto GNU (software libre) que es similar al lenguaje y entorno S que fue desarrollado en Bell Laboratories (anteriormente AT&T, ahora Lucent Technologies) por John Chambers y colegas. R proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelado lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series temporales, clasificación, agrupamiento, ...) y técnicas gráficas, y es altamente extensible. R está disponible como Software Libre bajo los términos de la Licencia Pública General GNU de la Free Software Foundation en forma de código fuente. Compila y se ejecuta en una amplia variedad de plataformas UNIX y sistemas similares (incluidos FreeBSD y Linux), Windows y MacOS. R es un conjunto integrado de instalaciones de software para la manipulación de datos, el cálculo y la visualización gráfica. R, está diseñado en torno a un verdadero lenguaje

informático y permite a los usuarios agregar funcionalidad adicional mediante la definición de nuevas funciones. R se puede extender (fácilmente) a través de paquetes. Hay alrededor de ocho paquetes suministrados con la distribución de R y muchos más están disponibles a través de la familia de sitios de Internet CRAN que cubren una amplia gama de estadísticas modernas. (<https://www.r-project.org/about.html>)

En la presente investigación se utilizó principalmente el paquete “Forecast” que proporciona métodos y herramientas para mostrar y analizar pronósticos de series temporales univariadas, incluido el suavizado exponencial a través de modelos de espacio de estado y el modelado ARIMA automático. (Hyndman R, Athanasopoulos G, Bergmeir C, Caceres G, Chhay L, O'Hara-Wild M, Petropoulos F, Razbash S, Wang E, Yasmeeen F (2023). *forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.21*, [https://pkg.robjhyndman.com/forecast/.](https://pkg.robjhyndman.com/forecast/))

## **CAPITULO III: HIPOTESIS GENERAL Y VARIABLES**

### **3.1. Hipótesis General**

La descripción del comportamiento de los resultados tiene tendencias positivas de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

### **3.2. Hipótesis específicas**

1. El comportamiento de las muestras de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) son homogéneas.
2. El comportamiento de las muestras de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) se comportan conforme a la función de densidad de Weibull.
3. Al modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura mediante series temporales en la ciudad del Cusco desde el 2001-

2021 de los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) permite estimar satisfactoriamente valores a futuro, caso 2022 y 2023.

4. El nivel de correlación lineal es positivo entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 de los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

### **3.3. Identificación de variables**

Las variables de la presente investigación son las características y propiedades del comportamiento y las tendencias de los elementos meteorológicas que corresponden a los fenómenos de la temperatura (considerada como temperatura media), la velocidad del viento y la precipitación en la ciudad del Cusco a la relación periodo 2001-2021 lo cual se consideran como variables de estudio:

#### **Variables independientes**

La variable independiente está considerada como meteorología, cuyos indicadores son:

- Precipitación
- Velocidad del viento
- Temperatura (considerada como temperatura media)

#### **Variables dependientes**

En la presente investigación la variable dependiente se considera a la tendencia, cuyo indicador es el análisis básico descriptivo, la distribución de Weibull, series temporales y correlación.

### 3.4. Operacionalización de variables

Esta operacionalización se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 3.1: Operacionalización de variables**

VARIABLES	INDICADORES
<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <p>Meteorología</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Velocidad del viento</li> <li>• Temperatura (considerada como temperatura media)</li> </ul>
<p><b>DEPENDIENTE</b></p> <p>Tendencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis descriptivo</li> <li>• Distribución de Weibull</li> <li>• Series de tiempo</li> <li>• Correlación</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cómo son los comportamientos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, ¿mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cómo es el comportamiento descriptivo de las variables meteorológicas: ¿precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021)?</li> <li>2. ¿Cómo es el comportamiento probabilístico respecto a la función de densidad de Weibull de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021</li> <li>3. ¿Cómo se puede modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales que permita la estimación de valores a futuro?</li> <li>4. ¿Cuáles son los niveles de correlación lineal entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021?</li> </ol>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Describir el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describir mediante análisis básico descriptivo el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021.</li> <li>2. Describir mediante la función de densidad de Weibull el comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021.</li> <li>3. Modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales que permita la estimación de valores a futuro.</li> <li>4. Determinar el nivel de correlación lineal entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021</li> </ol>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> La descripción del comportamiento de los resultados tiene tendencias positivas de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Del análisis básico descriptivo del comportamiento de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), los datos de la muestra son homogéneos.</li> <li>2. El comportamiento de las muestras de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) se comportan conforme a la función de densidad de Weibull.</li> <li>3. Al modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura mediante series temporales en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 de los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) permite estimar satisfactoriamente valores a futuro, caso 2022 y 2023.</li> <li>4. El nivel de correlación lineal es positivo entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 de los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).</li> </ol>	<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <p>Meteorología</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Velocidad del viento</li> <li>• Temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipología de la investigación: No experimental longitudinal</li> <li>• Diseño de investigación: Descriptivo</li> <li>• Población: La atmósfera sobre totalidad de la extensión del territorio de la ciudad del Cusco</li> <li>• Muestra: Conjunto de datos meteorológicos imputados que corresponden a las variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura</li> <li>• Técnicas e instrumentos de investigación:</li> <li>• Distribución de Weibull, modelo de ARIMA, análisis de correlación.</li> <li>• Herramientas informáticas de soporte: Microsoft Excel y Software R</li> </ul>
<p><b>DEPENDIENTE</b></p> <p>Tendencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución de Weibull</li> <li>• Series de tiempo</li> <li>• Correlación</li> </ul>				

## CAPITULO IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo y diseño de investigación.

La presente investigación busca el “qué” del objeto de estudio más que el “por qué”; es decir, busca describir y explicar lo que se investiga, pero no dar las razones por las cuales eso tiene lugar, se trabaja con la misma muestra lo largo del tiempo de 20 años, consiguientemente el **tipo de esta investigación es no experimental longitudinal**. Por otro lado, esta investigación consiste fundamentalmente, en caracterizar los fenómenos meteorológicos: temperatura, velocidad del viento y la precipitación indicando sus fases más peculiares utilizando las distribuciones estadísticas, por tanto, el **diseño de esta investigación es descriptivo**.

### 4.2. Unidad de análisis

La presente investigación se ha realizado en la ciudad del Cusco y se ha ejecutado con las variables meteorológicas que corresponden a los fenómenos de la temperatura, velocidad del viento y la precipitación, la unidad de análisis utilizado en el presente trabajo son los datos climatológicos observados por días durante el periodo 2001-2021 y expresados en promedios mensuales de los registros históricos del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

### 4.3. Población de estudio

Está conformado por la capa de gas del cuerpo celeste y atraídos por la gravedad del cuerpo, denominada atmósfera, sobre la totalidad de la extensión del territorio de la ciudad del Cusco, con

una superficie continental de 116.22 km<sup>2</sup>. Constituido por el conjunto de puntos que representa las ubicaciones susceptibles de realizar medición de variables meteorológicas de interés, encuadrado en las siguientes coordenadas geográficas: latitud: -13.5167, longitud: -71.9789; 13° 30' 45" sur, 71° 58' 33" oeste.

#### **4.4. Selección de la muestra.**

La muestra utilizada en el presente trabajo es el conjunto de datos meteorológicos imputados que corresponden a las variables: la precipitación con 252 datos, velocidad del viento con 252 datos y temperatura con 228 datos, e información obtenida del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) del periodo 2001 al 2021 para las variables: precipitación y velocidad del viento y del periodo 2001 al 2019 para la variable temperatura (por falta de información de los años 2020 y 2021).

#### **4.5. Técnicas de recolección de Datos**

En este trabajo de investigación se desarrolló la técnica de extracción, transformación y carga requerida para la toma de datos en tiempo real del 2001 al 2021 del observatorio meteorológico antes indicado en la sección anterior; además de desarrollar un sistema de prueba y monitoreo de los datos capturados. La elección de los elementos no depende de la probabilidad, si no de las causas relacionadas con las características de la investigación y según la intención de la presente investigación.

Para poder alcanzar los objetivos en la presente investigación, fue necesario contar con la base de datos de promedio medio en forma mensual y anual durante el periodo 2001 a 2021. Considerado únicamente las tres variables meteorológicas de la presente investigación: la precipitación, la velocidad del viento y la temperatura.

Para la medición de las tres variables meteorológicas, se han utilizado instrumentos que cuentan con elemento sensible (parte del instrumento cuyas variaciones permite la medición de elementos meteorológicos a determinar) y una escala que sirve para expresar esa variación en forma numérica; estos instrumentos, en forma general, se clasifican en dos tipos:

- a. De lectura directa o visual: Permiten lectura directa para obtener el valor buscado en el momento de efectuar la observación.
- b. Registradores: Poseen un dispositivo registrador por el cual las variaciones se van plasmando en forma gráfica y continua a través del tiempo en una hoja o banda de papel.

Todos los análisis requieren datos de observación altamente fiables que se reciben de forma periódica en centros de análisis desde una red suficientemente densa u otra fuente de observación. En el caso de los análisis meteorológicos, la exactitud, la resolución temporal y espacial y la oportunidad requerida de estos datos dependen de los siguientes factores: a) las diferentes escalas de los fenómenos meteorológicos que se deseen analizar; y b) la resolución y otras características de las técnicas utilizadas para realizar los análisis y los modelos basados en estos.

Estas condiciones expuestas son las que dispone el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por lo que se obtiene la base de datos de este observatorio, en las que no había ninguna influencia no climática significativa que los afectará en gran medida, solo errores de transcripción que fueron solucionados comparando la base de datos con los registros manuales de la estación climatológica.

#### **4.6. Análisis e interpretación de la información**

Con los datos registrados de las tres variables captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) se efectúa un análisis

básico descriptivo del comportamiento de las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura durante el periodo 2001-2021, se modela el comportamiento de las tres variables meteorológicas, utilizando la distribución Weibull de dos parámetros que tiene una mayor flexibilidad frente a otras distribuciones como pueden ser la exponencial, la normal o Gaussiana, o la Gamma que pueden ser consideradas casos especiales de la distribución de Weibull; utilizando el modelo ARIMA que consiste en un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro de lasere temporal analizada; utilización del análisis de correlación que sirve para medir el grado de asociación que existe entre dos variables meteorológicas; después de haber definido los métodos cuantitativos y análisis de datos para el pronóstico que se utilizaran en la investigación, es importante dar a conocer los diferentes paquetes informáticos como son: Microsoft Excel que es una herramienta muy eficaz para obtener información con significado a partir de grandes cantidades de datos y consta de un libro que contiene una o más hojas., el software R que proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas y técnicas gráficas, y es altamente extensible.

## CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUCIÓN

### 5.1. Análisis e interpretación de resultados

Para el presente análisis e interpretación de resultados de la presente investigación de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura que se presentan en la ciudad de Cusco durante los 20 años desde 2001 hasta el 2021, se han considerado los promedios por día de los datos recolectados en intervalos de tiempo captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), como se muestra en la Tabla 5.1. Asimismo se han observado que han existido datos faltantes, los cuales se han sustituido aplicando el método de imputaciones usando el método de la librería “imputaTS” versión 3.3 en R que haciendo uso de interpolaciones reemplaza valores faltantes (Steffen Moritz, 2022), en nuestro caso utilizamos la interpolación “spline” cúbica (o Hermite), para mayor detalle sobre el algoritmo usado revisar base de este algoritmo propuesto por (Dougherty, Edelman, & Hyman, 1989), para posibilitar el análisis de componentes principales con datos perdidos; estos datos son los que están resaltados en color amarillo. Para la variable temperatura sólo se ha utilizado datos de 2001 al 2019, por no contar con datos para los años 2020 y 2021 en el Observatorio Meteorológico de la UNSAAC. A continuación, se presenta en la Tabla 5.1 los datos del que se hace mención; es decir los promedios por día de las tres variables.

A continuación se presentan los datos registrados de las variables meteorológicas: precipitación, velocidades de vientos y temperatura resultados obtenidos del ensayo de investigación ordenados de la manera como se presenta para obtener el análisis e interpretación de las tres variables de la información del presente trabajo en las siguientes secciones: Análisis e interpretación descriptivo para variables, análisis e interpretación de la Distribución de Weibull

para variables, análisis e interpretación de series temporales para variables y análisis e interpretación de la correlación de las tres variables.

<b>Tabla 5.1: Datos por día de las variables Precipitación (PREC), Velocidad del viento (VELO) y Temperatura (TEM)</b>											
FECH	PREC (mm)	VELO (m/s)	TEM (°C)	FECH	PREC (mm)	VELO (m/s)	TEM (°C)	FECH	PREC (mm)	VELO (m/s)	TEM (°C)
Ene-01	295,30	0,5345	11,18	Ene-02	184,90	0,8309	14,31	Ene-03	216,60	0,6470	12,76
Feb-01	155,40	0,6881	11,39	Feb-02	179,80	0,5690	12,87	Feb-03	156,90	0,5579	12,76
Mar-01	160,90	0,6642	11,63	Mar-02	203,70	0,5590	13,09	Mar-03	153,20	0,5706	12,21
Abr-01	34,20	0,7844	11,52	Abr-02	25,40	0,6700	12,51	Abr-03	95,30	0,6505	12,30
May-01	5,90	0,6573	10,67	Ma-02	6,90	0,5623	11,61	May-03	2,80	0,6250	11,25
Jun-01	0,00	0,6486	9,74	Jun-02	2,20	0,5977	10,73	Jun-03	7,10	0,5486	9,49
Jul-01	22,40	0,6622	9,02	Jul-02	32,50	0,6088	9,32	Jul-03	0,00	0,6308	8,36
Ago-01	11,90	0,8733	8,59	Ago-02	6,00	0,5626	10,89	Ago-03	13,10	0,7188	10,12
Set-01	19,20	1,0017	11,21	Set-02	14,40	0,6277	12,41	Set-03	9,80	0,8125	11,20
Oct-01	69,70	1,0233	13,07	Oct-02	73,80	0,7764	13,62	Oct-03	23,50	1,0023	13,56
Nov-01	73,20	0,9677	13,82	Nov-02	114,70	0,7269	14,14	Nov-03	38,80	1,0012	13,55
Dic-01	102,90	0,9657	12,51	Dic-02	129,30	0,6105	14,68	Dic-03	127,80	0,7674	12,21
Ene-04	203,00	0,6400	11,90	Ene-05	118,80	0,4630	13,50	Ene-06	196,30	0,4051	12,40
Feb-04	149,00	0,7639	11,80	Feb-05	122,40	0,6644	13,40	Feb-06	122,30	0,5150	13,90
Mar-04	89,50	0,6725	13,20	Mar-05	108,50	0,5810	14,10	Mar-06	126,50	0,3600	13,30
Abr-04	30,40	0,5150	12,50	Abr-05	35,70	0,5567	13,00	Abr-06	73,90	0,2882	11,30
May-04	3,40	0,5139	11,40	May-05	1,10	0,5093	12,30	May-06	0,00	0,3183	11,40
Jun-04	20,60	0,5278	10,70	Jun-05	0,00	0,2859	10,70	Jun-06	6,80	0,3044	11,00
Jul-04	9,60	0,5278	10,00	Jul-05	1,00	0,3542	10,60	Jul-06	0,00	0,3229	9,00
Ago-04	10,00	0,5891	10,20	Ago-05	3,10	0,5208	11,10	Ago-06	5,50	0,4907	10,40
Set-04	32,70	0,7870	12,20	Set-05	6,50	0,6678	11,80	Set-06	18,60	0,5567	11,80
Oct-04	34,90	0,7407	13,70	Oct-05	36,90	0,6979	11,00	Oct-06	77,80	0,6736	13,30
Nov-04	51,70	0,7558	14,80	Nov-05	66,60	0,5787	12,90	Nov-06	67,40	0,7141	12,20
Dic-04	94,70	0,3299	12,80	Dic-05	57,80	0,3171	13,20	Dic-06	162,90	0,5266	13,10
Ene-07	139,50	0,5006	14,10	Ene-08	120,10	0,4370	13,93	Ene-09	122,30	0,4508	14,25
Feb-07	86,90	0,5578	13,60	Feb-08	137,90	0,5390	15,05	Feb-09	117,30	0,2734	13,07
Mar-07	113,50	0,4985	11,70	Mar-08	80,70	0,4479	12,25	Mar-09	55,30	0,4528	12,99
Abr-07	68,60	0,3992	12,10	Abr-08	5,30	0,5316	13,89	Abr-09	20,50	0,4439	14,24
May-07	13,00	0,4414	11,50	May-08	6,50	0,2645	12,80	May-09	0,80	0,4262	13,44
Jun-07	0,00	0,2524	10,50	Jun-08	2,50	0,3293	12,53	Jun-09	0,00	0,3258	12,06
Jul-07	4,30	0,3199	9,60	Jul-08	3,10	0,3970	12,26	Jul-09	0,00	0,3327	11,40
Ago-07	0,80	0,4341	11,80	Ago-08	6,70	0,3892	12,89	Ago-09	3,00	0,4847	12,56
Set-07	6,10	0,6317	11,40	Set-08	14,60	0,2910	13,02	Set-09	11,00	0,4923	13,41

Oct-07	74,30	0,6049	11,90	Oct-08	106,50	0,6063	13,97	Oct-09	24,70	0,5581	15,32
Nov-07	103,80	0,6419	13,70	Nov-08	55,70	0,6977	13,71	Nov-09	200,80	0,5467	15,30
Dic-07	77,70	0,5652	11,70	Dic-08	128,80	0,6894	13,96	Dic-09	129,90	0,3091	15,05
Ene-10	339,10	0,3484	15,12	Ene-11	98,70	0,6576	14,91	Ene-12	59,40	0,5605	12,21
Feb-10	213,30	1,2174	14,97	Feb-11	245,20	0,1182	13,70	Feb-12	118,80	0,4909	11,65
Mar-10	166,30	0,9573	14,50	Mar-11	180,70	0,4384	14,35	Mar-12	70,20	0,6211	12,34
Abr-10	25,40	0,9299	13,80	Abr-11	66,70	0,5529	13,75	Abr-12	51,40	0,5843	11,93
May-10	6,60	0,3784	13,67	May-11	0,50	0,4834	11,95	May-12	3,80	0,5733	11,84
Jun-10	0,00	0,2404	12,85	Jun-11	0,40	0,40000	11,60	Jun-12	3,60	0,5849	10,26
Jul-10	45,30	0,5055	13,21	Jul-11	0,60	0,60000	10,62	Jul-12	0,20	0,5822	10,32
Ago-10	10,60	0,0940	14,28	Ago-11	0,58	0,5845	11,75	Ago-12	1,40	0,6635	11,07
Set-10	7,20	0,5877	14,75	Set-11	0,70	0,7000	13,33	Set-12	14,40	0,8177	12,43
Oct-10	84,10	0,5861	14,51	Oct-11	0,75	0,7512	13,94	Oct-12	16,80	0,8358	14,11
Nov-10	49,50	1,0638	15,66	Nov-11	1,00	1,0000	15,30	Nov-12	107,40	0,8392	14,76
Dic-10	244,10	0,4886	14,50	Dic-11	0,43	0,4347	12,18	Dic-12	178,40	0,6032	12,55
Ene-13	160,20	0,5227	12,76	Ene-14	177,40	0,5555	12,03	Ene-15	165,70	0,5599	13,15
Feb-13	181,40	0,5159	12,66	Feb-14	125,10	0,4944	11,28	Feb-15	145,00	0,4600	13,07
Mar-13	112,50	0,4697	13,01	Mar-14	47,00	0,5713	12,17	Mar-15	86,80	0,5207	12,93
Abr-13	29,20	0,5099	12,10	Abr-14	64,10	0,4184	11,64	Abr-15	70,18	0,4333	11,60
May-13	8,10	0,4851	11,65	May-14	19,30	0,4457	10,53	May-15	20,60	0,4317	11,11
Jun-13	12,20	0,4820	9,60	Jun-14	0,00	0,4512	10,60	Jun-15	4,40	0,3582	10,75
Jul-13	2,50	0,5091	9,52	Jul-14	2,60	0,4244	9,73	Jul-15	9,10	0,4324	10,12
Ago-13	17,30	0,5469	10,52	Ago-14	12,80	0,4001	10,22	Ago-15	12,10	0,5207	10,96
Set-13	19,70	0,6808	11,58	Set-14	17,60	0,5791	12,29	Set-15	28,80	0,6464	12,61
Oct-13	120,00	0,6323	12,05	Oct-14	79,00	0,7079	13,34	Oct-15	20,40	0,3007	13,16
Nov-13	94,22	0,6661	13,08	Nov-14	17,60	0,7282	14,78	Nov-15	70,10	0,6534	14,15
Dic-13	199,80	0,5730	12,21	Dic-14	170,90	0,6174	14,12	Dic-15	157,40	0,4415	12,82
Ene-16	100,10	0,5163	14,36	Ene-17	126,20	0,7708	11,95	Ene-18	172,20	1,7938	11,95
Feb-16	182,70	0,4182	13,50	Feb-17	133,80	0,4792	11,53	Feb-18	174,40	1,8167	11,94
Mar-16	59,20	0,5606	13,93	Mar-17	176,00	0,7917	12,33	Mar-18	160,50	1,6719	12,33
Abr-16	45,70	0,4294	12,75	Abr-17	48,50	0,7500	11,74	Abr-18	33,70	0,3510	11,74
Ma-16	11,20	0,4340	11,36	May-17	22,50	0,6667	10,75	May-18	3,00	0,0313	10,75
Jun-16	0,20	0,4147	10,14	Jun-17	5,80	0,8333	10,10	Jun-18	16,30	0,1698	10,10
Jul-16	9,70	0,3415	9,98	Jul-17	1,30	0,7292	10,69	Jul-18	16,30	0,1698	10,69
Ago-16	1,30	0,5423	11,23	Ago-17	11,40	1,0104	11,29	Ago-18	14,60	0,1521	11,29
Set-16	22,60	0,6179	12,34	Set-17	17,60	1,9896	12,48	Set-18	18,20	0,1896	12,48
Oct-16	77,40	0,4957	12,13	Oct-17	60,50	0,8125	13,26	Oct-18	77,60	0,8083	13,26
Nov-16	33,60	0,7024	13,72	Nov-17	67,70	0,7292	12,83	Nov-18	74,20	0,7729	12,83
Dic-16	93,10	0,5461	12,69	Dic-17	125,60	0,8333	13,25	Dic-18	80,30	0,8365	13,25
Ene-19	103,70	1,1000	13,97	Ene-20	168,00	0,4842		Ene-21	119,70	0,4742	
Feb-19	123,50	0,3800	13,24	Feb-20	216,60	0,3807		Feb-21	152,30	0,3993	

Mar-19	134,50	0,3972	12,72	Mar-20	130,90	0,5176		Mar-21	58,80	0,3701	
Abr-19	25,70	0,3627	11,83	Abr-20	8,70	0,4492		Abr-21	71,70	0,3201	
Ma-19	22,90	0,3628	10,96	May-20	17,90	0,3927		May-21	5,60	0,3144	
Jun-19	4,10	0,4149	10,63	Jun-20	0,50	0,3713		Jun-21	0,50	0,3211	
Jul-19	4,20	0,4424	10,60	Jul-20	1,00	0,4174		Jul-21	0,00	0,3595	
Ago-19	0,00	0,5269	11,49	Ago-20	0,80	0,4739		Ago-21	1,70	0,4385	
Set-19	5,60	0,6020	12,14	Set-20	0,60	0,5429		Set-21	10,00	0,5091	
Oct-19	66,20	0,6642	13,09	Oct-20	9,30	0,9186		Oct-21	33,30	0,5061	
Nov-19	137,50	0,5606	12,92	Nov-20	45,40	0,4116		Nov-21	86,10	0,4990	
Dic-19	210,25	0,5397	13,19	Dic-20	185,60	0,4203		Dic-21	82,00	0,4891	

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.1. Análisis e Interpretación Descriptivo para Variables

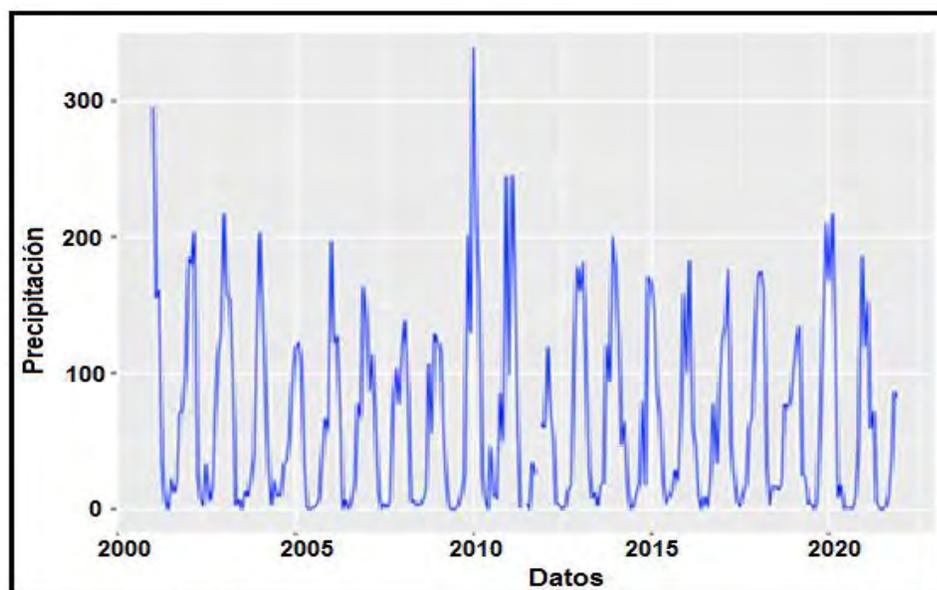
#### a) Para la variable Precipitación del 2001 al 2021

En el caso de la variable precipitación se encontraron dos datos faltantes, correspondientes a los meses junio y noviembre del 2011, los cuales fueron imputados.

year	month	date	lluvia
<dbl>	<dbl>	<dtm>	<dbl>
2011	6	2011-06-01 00:00:00	NA
2011	11	2011-11-01 00:00:00	NA

En la Figura 5.1 se observan espacios en blanco, los cuales se refieren a los datos faltantes que corresponden a los meses junio y noviembre del 2011.

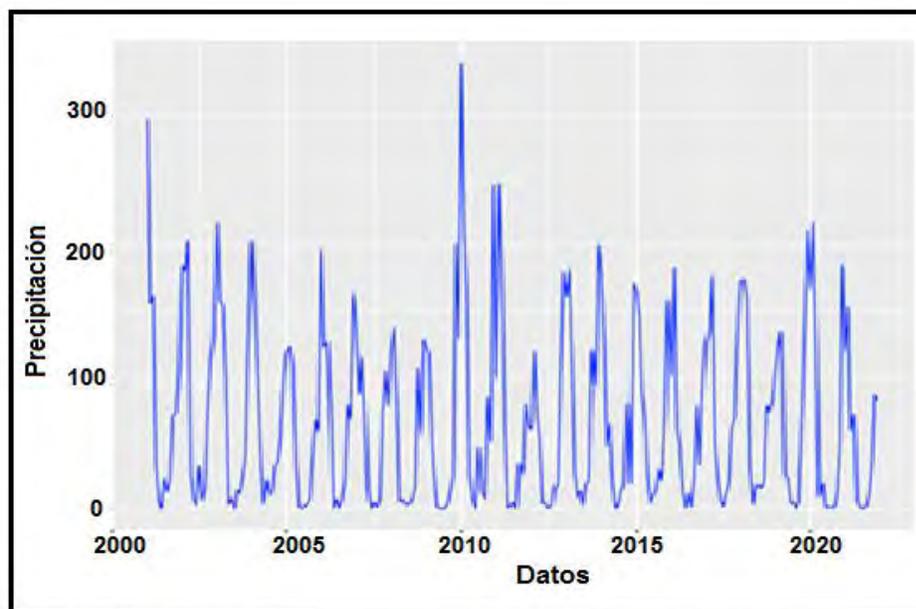
**Figura 5.1: Gráfico de la variable precipitación (datos originales)**



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.2 se presentan los correspondientes datos mensuales de de los años 2001 al 2021, ya con los datos imputados de la variable precipitación y en esta caso ya no se observan espacios en blanco.

**Figura 5.2: Gráfico de la variable precipitación como datos imputados**

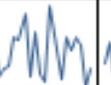
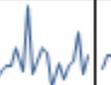


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la Tabla 5.2 que corresponde a la presentación de los datos de la variable precipitación, en las 21 filas se muestran que los indicadores estadísticos mensuales de los años del 2001 al 2021. En las ocho últimas filas siguientes a lo indicado anteriormente se muestran los resultados descriptivos mensuales y en la última final se muestran los correspondientes gráficos de las variaciones anuales en forma mensual.

**Interpretación de la información:** Se realizó un análisis descriptivo mensual en la Tabla 5.2, que permita conocer la distribución de las precipitaciones durante los 20 años en evaluación, se puede apreciar que en los meses junio y noviembre del 2011 hay presencia de datos anómalos (outliers). La mayor precipitación encontrada en los veinte años se halla en el mes de enero del 2010 expresado en 339,10 mm; mientras que no ha existido precipitación se observa en los meses junio del 2006, julio del 2014 y agosto del 2011. Observando la media y mediana de los veinte años se determina que mayor precipitación se ha realizado en los meses de enero (media 161,30 mm) y diciembre (mediana 160,20 mm), mientras que la menor precipitación se ha realizado en los meses mes de junio cuya media es 4,20 mm. El mayor coeficiente de variabilidad se observa en los meses de julio (144,45%) y junio (133,84%), lo que significa mayores desviaciones con respecto a la media y mayor dispersión de los datos entre sí, el menor coeficiente de variabilidad se observa en el mes de febrero 24,52%.

Tabla 5.2: Precipitación e indicadores estadísticos mensuales

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2001	295.30	155.40	160.90	34.20	5.90	0.00	22.40	11.90	19.20	69.70	73.20	102.90
2002	184.90	179.80	203.70	25.40	6.90	2.20	32.50	6.00	14.40	73.80	114.70	129.30
2003	216.60	156.90	153.20	95.30	2.80	7.10	0.00	13.10	9.80	23.50	38.80	127.80
2004	203.00	149.00	89.50	30.40	3.40	20.60	9.60	10.00	32.70	34.90	51.70	94.70
2005	118.80	122.40	108.50	35.70	1.10	0.00	1.00	3.10	6.50	36.90	66.60	57.80
2006	196.30	122.30	126.50	73.90	0.00	6.80	0.00	5.50	18.60	77.80	67.40	162.90
2007	139.50	86.90	113.50	68.60	13.00	0.00	4.30	0.80	6.10	74.30	103.80	77.70
2008	120.10	137.90	80.70	5.30	6.50	2.50	3.10	6.70	14.60	106.50	55.70	128.80
2009	122.30	117.30	55.30	20.50	0.80	0.00	0.00	3.00	11.00	24.70	200.80	129.90
2010	339.10	213.30	166.30	25.40	6.60	0.00	45.30	10.60	7.20	84.10	49.50	244.10
2011	98.70	245.20	180.70	66.70	0.50	1.30	4.50	0.00	34.50	25.80	78.40	62.80
2012	59.40	118.80	70.20	51.40	3.80	3.60	0.20	1.40	14.40	16.80	107.40	178.40
2013	160.20	181.40	112.50	29.20	8.10	12.20	2.50	17.30	19.70	120.00	94.22	199.80
2014	177.40	125.10	47.00	64.10	19.30	0.00	2.60	12.80	17.60	79.00	17.60	170.90
2015	165.70	145.00	86.80	70.18	20.60	4.40	9.10	12.10	28.80	20.40	70.10	157.40
2016	100.10	182.70	59.20	45.70	11.20	0.20	9.70	1.30	22.60	77.40	33.60	93.10
2017	126.20	133.80	176.00	48.50	22.50	5.80	1.30	11.40	17.60	60.50	67.70	125.60
2018	172.20	174.40	160.50	33.70	3.00	16.30	16.30	14.60	18.20	77.60	74.20	80.30
2019	103.70	123.50	134.50	25.70	22.90	4.10	4.20	0.00	5.60	66.20	137.50	210.25
2020	168.00	216.60	130.90	8.70	17.90	0.50	1.00	0.80	0.60	9.30	45.40	185.60
2021	119.70	152.30	58.80	71.70	5.60	0.50	0.00	1.70	10.00	33.30	86.10	82.00
<b>MÍNIMO</b>	<b>59.40</b>	<b>86.90</b>	<b>47.00</b>	<b>5.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.60</b>	<b>9.30</b>	<b>17.60</b>	<b>57.80</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>339.10</b>	<b>245.20</b>	<b>203.70</b>	<b>95.30</b>	<b>22.90</b>	<b>20.60</b>	<b>45.30</b>	<b>17.30</b>	<b>34.50</b>	<b>120.00</b>	<b>200.80</b>	<b>244.10</b>
<b>PERCENTIL 25</b>	<b>119.25</b>	<b>122.95</b>	<b>75.45</b>	<b>25.55</b>	<b>2.90</b>	<b>0.00</b>	<b>0.60</b>	<b>1.35</b>	<b>8.50</b>	<b>25.25</b>	<b>50.60</b>	<b>87.55</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>160.20</b>	<b>149.00</b>	<b>113.50</b>	<b>35.70</b>	<b>6.50</b>	<b>2.20</b>	<b>3.10</b>	<b>6.00</b>	<b>14.60</b>	<b>66.20</b>	<b>70.10</b>	<b>128.80</b>
<b>PERCENTIL 75</b>	<b>190.60</b>	<b>180.60</b>	<b>160.70</b>	<b>67.65</b>	<b>15.45</b>	<b>6.30</b>	<b>9.65</b>	<b>12.00</b>	<b>19.45</b>	<b>77.70</b>	<b>99.01</b>	<b>174.65</b>
<b>MEDIA</b>	<b>161.30</b>	<b>154.29</b>	<b>117.87</b>	<b>44.30</b>	<b>8.69</b>	<b>4.20</b>	<b>8.08</b>	<b>6.86</b>	<b>15.70</b>	<b>56.79</b>	<b>77.83</b>	<b>133.43</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>64.15</b>	<b>37.83</b>	<b>45.72</b>	<b>23.48</b>	<b>7.46</b>	<b>5.61</b>	<b>11.67</b>	<b>5.46</b>	<b>8.69</b>	<b>30.53</b>	<b>39.34</b>	<b>50.54</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD</b>	<b>39.77%</b>	<b>24.52%</b>	<b>38.79%</b>	<b>53.00%</b>	<b>85.87%</b>	<b>133.84%</b>	<b>144.45%</b>	<b>79.63%</b>	<b>55.33%</b>	<b>53.76%</b>	<b>50.54%</b>	<b>37.87%</b>
<b>GRÁFICAS</b>												

Fuente: Elaboración propia

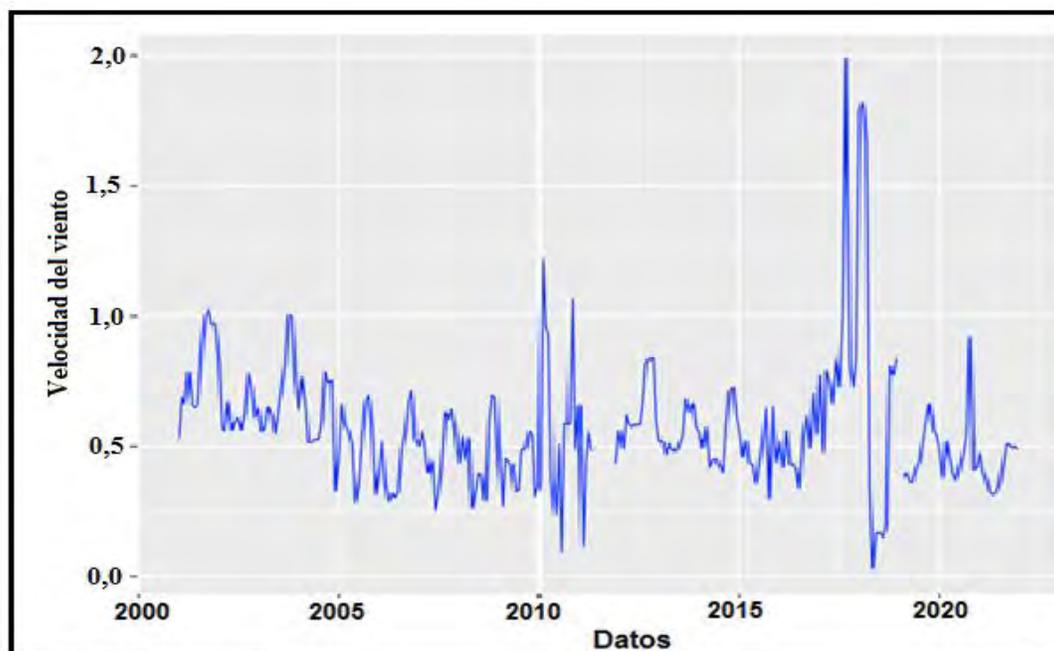
**b) Para la variable Velocidad del Viento del 2001 al 2021**

En el caso de la variable velocidad del viento se encontraron cinco datos faltantes, correspondientes a los meses junio, julio, setiembre del 2011 y noviembre del 2019

year	month	date	viento
<dbl>	<dbl>	<dtm>	<dbl>
2011	6	2011-06-01 00:00:00	NA
2011	7	2011-07-01 00:00:00	NA
2011	9	2011-09-01 00:00:00	NA
2011	11	2011-11-01 00:00:00	NA
2019	1	2019-01-01 00:00:00	NA

En la Figura 5.3 se observan espacios en blanco, los cuales se refieren a los datos faltantes que corresponden a los meses junio, julio y setiembre del 2011 y de noviembre del 2011.

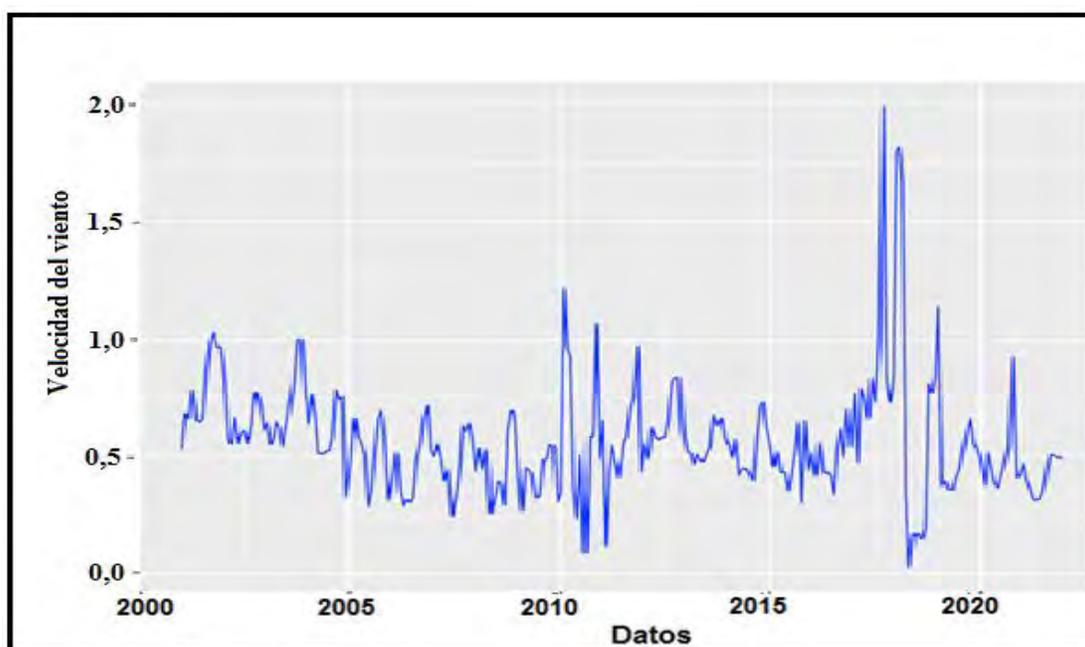
**Figura 5.3: Gráfico de la variable del viento (datos originales)**



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.4 se presentan los correspondientes datos mensuales de de los años 2001 al 2021, ya con los datos imputados de la variable precipitación y en este caso ya no se observan espacios en blanco.

**Figura 5.4: Gráfico de la variable velocidad del viento con datos imputados**



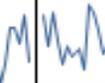
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la Tabla 5.3 que corresponde a la presentación de los datos de la variable velocidad del viento, en las 21 filas se muestran que los indicadores estadísticos mensuales de los años del 2001 al 2021. En las ocho últimas filas siguientes a lo indicado anteriormente se muestran los resultados descriptivos mensuales y en la última final se muestran los correspondientes gráficos de las variaciones anuales en forma mensual.

**Interpretación de la información:** Se realizó un análisis descriptivo mensual en la Tabla 5.3, que permita conocer la distribución de las velocidades del viento durante los 20 años en evaluación, se puede apreciar que en los meses de junio, julio, septiembre y noviembre correspondiente al año 2011 y enero del 2019 hay presencia de datos anómalos (outliers). La

mayor velocidad del viento encontrada en los veinte años se halla en el mes de setiembre del 2017 expresado en 1,99 m/s; mientras que la menor velocidad del viento se realizó en mayo del 2018 con 0,03 m/s y agosto del 2010 con 0,09 m/s. Observando la media y mediana de los veinte años se determina que mayor velocidad del viento se ha realizado en los meses de noviembre (media 0,73 m/s y mediana 0,71 m/s). La mayor desviación estándar se observa en los meses de febrero y setiembre (0,34 m/s), la menor desviación estándar en los meses de mayo y julio (0,14 m/s). El mayor coeficiente de variabilidad se observa en los meses de febrero (58,73%) lo que significa mayores desviaciones con respecto a la media y mayor dispersión de los datos entre sí, el menor coeficiente de variabilidad se observa en los meses de noviembre (23,04%).

Tabla 5.3: Velocidad del viento e indicadores estadísticos mensuales

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2001	0.53	0.69	0.66	0.78	0.66	0.65	0.66	0.87	1.00	1.02	0.97	0.97
2002	0.83	0.57	0.56	0.67	0.56	0.60	0.61	0.56	0.63	0.78	0.73	0.61
2003	0.65	0.56	0.57	0.65	0.63	0.55	0.63	0.72	0.81	1.00	1.00	0.77
2004	0.64	0.76	0.67	0.52	0.51	0.53	0.53	0.59	0.79	0.74	0.76	0.33
2005	0.46	0.66	0.58	0.56	0.51	0.29	0.35	0.52	0.67	0.70	0.58	0.32
2006	0.41	0.52	0.36	0.29	0.32	0.30	0.32	0.49	0.56	0.67	0.71	0.53
2007	0.50	0.56	0.50	0.40	0.44	0.25	0.32	0.43	0.63	0.60	0.64	0.57
2008	0.44	0.54	0.45	0.53	0.26	0.33	0.40	0.39	0.29	0.61	0.70	0.69
2009	0.45	0.27	0.45	0.44	0.43	0.33	0.33	0.48	0.49	0.56	0.55	0.31
2010	0.35	1.22	0.96	0.93	0.38	0.24	0.51	0.09	0.59	0.59	1.06	0.49
2011	0.66	0.12	0.44	0.55	0.48	0.40	0.60	0.58	0.70	0.75	1.00	0.43
2012	0.56	0.49	0.62	0.58	0.57	0.58	0.58	0.66	0.82	0.84	0.84	0.60
2013	0.52	0.52	0.47	0.51	0.49	0.48	0.51	0.55	0.68	0.63	0.67	0.57
2014	0.56	0.49	0.57	0.42	0.45	0.45	0.42	0.40	0.58	0.71	0.73	0.62
2015	0.56	0.46	0.52	0.43	0.43	0.36	0.43	0.52	0.65	0.30	0.65	0.44
2016	0.52	0.42	0.56	0.43	0.43	0.41	0.34	0.54	0.62	0.50	0.70	0.55
2017	0.77	0.48	0.79	0.75	0.67	0.83	0.73	1.01	1.99	0.81	0.73	0.83
2018	1.79	1.82	1.67	0.35	0.03	0.17	0.17	0.15	0.19	0.81	0.77	0.84
2019	1.10	0.38	0.40	0.36	0.36	0.41	0.44	0.53	0.60	0.66	0.56	0.54
2020	0.48	0.38	0.52	0.45	0.39	0.37	0.42	0.47	0.54	0.92	0.41	0.42
2021	0.47	0.40	0.37	0.32	0.31	0.32	0.36	0.44	0.51	0.51	0.50	0.49
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.35</b>	<b>0.12</b>	<b>0.36</b>	<b>0.29</b>	<b>0.03</b>	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>	<b>0.09</b>	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	<b>0.41</b>	<b>0.31</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>1.79</b>	<b>1.82</b>	<b>1.67</b>	<b>0.93</b>	<b>0.67</b>	<b>0.83</b>	<b>0.73</b>	<b>1.01</b>	<b>1.99</b>	<b>1.02</b>	<b>1.06</b>	<b>0.97</b>
<b>PERCENTIL 25</b>	<b>0.47</b>	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.41</b>	<b>0.37</b>	<b>0.31</b>	<b>0.35</b>	<b>0.44</b>	<b>0.55</b>	<b>0.60</b>	<b>0.61</b>	<b>0.44</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.56</b>	<b>0.51</b>	<b>0.44</b>	<b>0.40</b>	<b>0.43</b>	<b>0.52</b>	<b>0.63</b>	<b>0.70</b>	<b>0.71</b>	<b>0.55</b>
<b>PERCENTIL 75</b>	<b>0.65</b>	<b>0.62</b>	<b>0.64</b>	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	<b>0.74</b>	<b>0.81</b>	<b>0.81</b>	<b>0.65</b>
<b>MEDIA</b>	<b>0.63</b>	<b>0.59</b>	<b>0.60</b>	<b>0.52</b>	<b>0.44</b>	<b>0.42</b>	<b>0.46</b>	<b>0.52</b>	<b>0.68</b>	<b>0.70</b>	<b>0.73</b>	<b>0.57</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>0.31</b>	<b>0.34</b>	<b>0.28</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>	<b>0.20</b>	<b>0.34</b>	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD</b>	<b>48.59%</b>	<b>58.73%</b>	<b>45.53%</b>	<b>30.68%</b>	<b>31.88%</b>	<b>36.66%</b>	<b>29.62%</b>	<b>37.29%</b>	<b>49.45%</b>	<b>24.00%</b>	<b>23.04%</b>	<b>30.27%</b>
<b>GRÁFICAS</b>												

Fuente: Elaboración propia.

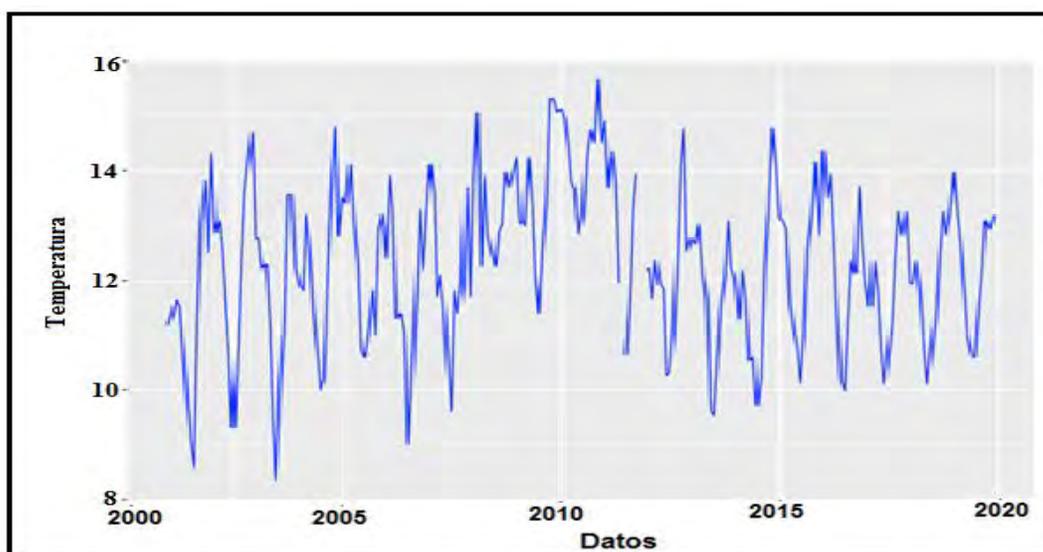
c) Para la variable Temperatura del 2001 al 2021

En el caso de la variable temperatura se encontraron dos datos faltantes, correspondientes a los meses junio y noviembre del 2011

year	month	date	clima
<dbl>	<dbl>	<dtm>	<dbl>
2011	6	2011-06-01 00:00:00	NA
2011	11	2011-11-01 00:00:00	NA

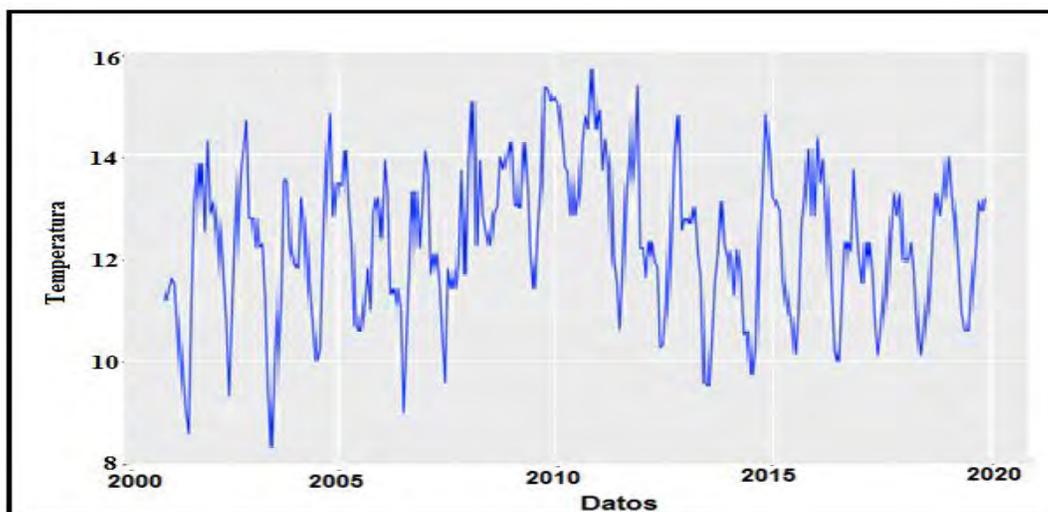
Nótese los espacios en blanco en la Figura 5.5 y en la Figura 5.6 se puede ver la imputación de datos correspondientes, como en los casos anteriores.

**Figura 5.5: Gráfico de la variable temperatura (datos originales)**



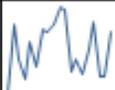
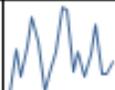
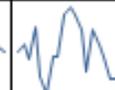
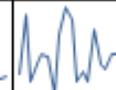
Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.6: Gráfico de la variable temperatura con datos originales imputados**



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4: Temperaturas e indicadores estadísticos mensuales

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2001	11.18	11.39	11.63	11.52	10.67	9.74	9.02	8.59	11.21	13.07	13.82	12.51
2002	14.31	12.87	13.09	12.51	11.61	10.73	9.32	10.89	12.41	13.62	14.14	14.68
2003	12.76	12.76	12.21	12.30	11.25	9.49	8.36	10.12	11.20	13.56	13.55	12.21
2004	11.90	11.80	13.20	12.50	11.40	10.70	10.00	10.20	12.20	13.70	14.80	12.80
2005	13.50	13.40	14.10	13.00	12.30	10.70	10.60	11.10	11.80	11.00	12.90	13.20
2006	12.40	13.90	13.30	11.30	11.40	11.00	9.00	10.40	11.80	13.30	12.20	13.10
2007	14.10	13.60	11.70	12.10	11.50	10.50	9.60	11.80	11.40	11.90	13.70	11.70
2008	13.93	15.05	12.25	13.89	12.80	12.53	12.26	12.89	13.02	13.97	13.71	13.96
2009	14.25	13.07	12.99	14.24	13.44	12.06	11.40	12.56	13.41	15.32	15.30	15.05
2010	15.12	14.97	14.50	13.80	13.67	12.85	13.21	14.28	14.75	14.51	15.66	14.50
2011	14.91	13.70	14.35	13.75	11.95	11.60	10.62	11.73	13.33	13.94	15.30	12.18
2012	12.21	11.65	12.34	11.93	11.84	10.26	10.32	11.07	12.43	14.11	14.76	12.55
2013	12.76	12.66	13.01	12.10	11.65	9.60	9.52	10.52	11.58	12.05	13.08	12.21
2014	12.03	11.28	12.17	11.64	10.53	10.60	9.73	10.22	12.29	13.34	14.78	14.12
2015	13.15	13.07	12.93	11.60	11.11	10.75	10.12	10.96	12.61	13.16	14.15	12.82
2016	14.36	13.50	13.93	12.75	11.36	10.14	9.98	11.23	12.34	12.13	13.72	12.69
2017	11.95	11.53	12.33	11.74	10.75	10.10	10.69	11.29	12.48	13.26	12.83	13.25
2018	11.95	11.94	12.33	11.74	10.75	10.10	10.69	11.29	12.48	13.26	12.83	13.25
2019	13.97	13.24	12.72	11.83	10.96	10.63	10.60	11.49	12.14	13.09	12.92	13.19
<b>MÍNIMO</b>	<b>11.18</b>	<b>11.28</b>	<b>11.63</b>	<b>11.30</b>	<b>10.53</b>	<b>9.49</b>	<b>8.36</b>	<b>8.59</b>	<b>11.20</b>	<b>11.00</b>	<b>12.20</b>	<b>11.70</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>15.12</b>	<b>15.05</b>	<b>14.50</b>	<b>14.24</b>	<b>13.67</b>	<b>12.85</b>	<b>13.21</b>	<b>14.28</b>	<b>14.75</b>	<b>15.32</b>	<b>15.66</b>	<b>15.05</b>
<b>PERCENTIL 25</b>	<b>12.03</b>	<b>11.80</b>	<b>12.25</b>	<b>11.74</b>	<b>10.96</b>	<b>10.10</b>	<b>9.52</b>	<b>10.40</b>	<b>11.80</b>	<b>13.07</b>	<b>12.92</b>	<b>12.51</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>13.15</b>	<b>13.07</b>	<b>12.93</b>	<b>12.10</b>	<b>11.40</b>	<b>10.63</b>	<b>10.12</b>	<b>11.10</b>	<b>12.34</b>	<b>13.30</b>	<b>13.72</b>	<b>13.10</b>
<b>PERCENTIL 75</b>	<b>14.25</b>	<b>13.60</b>	<b>13.30</b>	<b>13.00</b>	<b>11.95</b>	<b>11.00</b>	<b>10.69</b>	<b>11.73</b>	<b>12.61</b>	<b>13.94</b>	<b>14.78</b>	<b>13.96</b>
<b>MEDIA</b>	<b>13.20</b>	<b>12.91</b>	<b>12.90</b>	<b>12.43</b>	<b>11.63</b>	<b>10.74</b>	<b>10.26</b>	<b>11.19</b>	<b>12.36</b>	<b>13.28</b>	<b>13.90</b>	<b>13.16</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>1.14</b>	<b>1.08</b>	<b>0.83</b>	<b>0.88</b>	<b>0.86</b>	<b>0.90</b>	<b>1.12</b>	<b>1.17</b>	<b>0.83</b>	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	<b>0.90</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD</b>	<b>8.63%</b>	<b>8.40%</b>	<b>6.40%</b>	<b>7.06%</b>	<b>7.42%</b>	<b>8.42%</b>	<b>10.90%</b>	<b>10.49%</b>	<b>6.74%</b>	<b>7.26%</b>	<b>6.90%</b>	<b>6.85%</b>
<b>GRÁFICAS</b>												

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5.4 que corresponde a la presentación de los datos de la variable temperatura, en las 21 filas se muestran que los indicadores estadísticos mensuales de los años del 2001 al 2021. En las ocho últimas filas siguientes a lo indicado anteriormente se muestran los resultados descriptivos mensuales y en la última final se muestran los correspondientes gráficos de las variaciones anuales en forma mensual.

**Interpretación de la información:** Se realizó un análisis descriptivo mensual, en la Tabla 5.4, que permita conocer la distribución de las precipitaciones durante los 19 años en evaluación, se puede apreciar que en los meses junio y noviembre del 2011 hay presencia de datos anómalos (outliers).

Asimismo, la mayor temperatura encontrada en los dieciocho años se halla en el mes de noviembre del 2010 expresado en  $15,66^{\circ}\text{C}$ ; mientras que la menor temperatura se observa en el mes de julio del 2003 con  $8,36^{\circ}\text{C}$ . Observando la media y mediana de los dieciocho años se determina que mayor temperatura se ha realizado en los meses de noviembre (media  $13,90^{\circ}\text{C}$ ) y (mediana  $13,72^{\circ}\text{C}$ ), mientras que la menor temperatura se ha realizado en los meses mes de junio cuya media es  $10,26^{\circ}\text{C}$  y mediana  $10,12^{\circ}\text{C}$ . La mayor desviación estándar se observa en los meses de agosto ( $1,17^{\circ}\text{C}$ ), lo que significa mayor dispersión de los datos con respecto a la media de la distribución en los meses indicados, la menor desviación estándar en los meses de marzo y setiembre ( $0,83^{\circ}\text{C}$ ). El mayor coeficiente de variabilidad se observa en los meses de julio ( $10,90\%$ ), lo que significa mayores desviaciones con respecto a la media y mayor dispersión de los datos entre sí, el menor coeficiente de variabilidad se observa en los meses de marzo  $6,40\%$ .

### 5.1.2. Análisis e Interpretación de la Distribución de Weibull para Variables

Conforme lo manifestado en la sección 4.7.3 inciso c) para determinar la función de distribución de Weibull, utilizaremos método de regresión lineal, para ello utilizaremos la variable aleatoria  $X$  que serán las variables meteorológicas de estudio: precipitación, velocidad del viento y temperatura, luego se construye los siguientes casos:

- i) Construcción la tabla de la función de distribución, considerando datos de la variable  $X$ , las frecuencias  $f(X)$ , luego determinando las frecuencias acumuladas o distribución acumulativa  $F(X)$  y luego tomando logaritmo natural dos veces, conforme a la siguiente ecuación (notaciones y ecuaciones de la sección antes indicada):

$$\ln\{\ln[1-F(X)]\} = k \ln(X) - k \ln(c) \quad (9)$$

- ii) Determinación del gráfico de la función de distribución y la acumulada de Weibull.
- iii) Obtener por mínimos cuadrados la ecuación de Weibull, su dispersión y sus parámetros, observemos que la ecuación (9) representa una ecuación lineal de la forma:

$$y = kx - b; \text{ donde } x = \ln(X) \text{ y } b = -k \ln(c) \quad (10)$$

$$\text{Como } b = -k \ln(c) \Rightarrow \ln(c) = -\frac{b}{k} \Rightarrow c = e^{-\frac{b}{k}} \quad (11)$$

Luego, para el cálculo de media o promedio y la desviación estándar de la distribución de Weibull se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$\bar{x} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right), \quad \sigma^2 = c^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right], \quad \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad \text{y} \quad CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

- iv) Una vez encontrado la recta de regresión, ecuación (10), se debe encontrar el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión.

Para el correspondiente análisis e interpretación, se seguirá estos pasos para las tres variables:

**a) Para la variable Precipitación del 2001 al 2021**

i) La variable  $X = P$ , precipitación

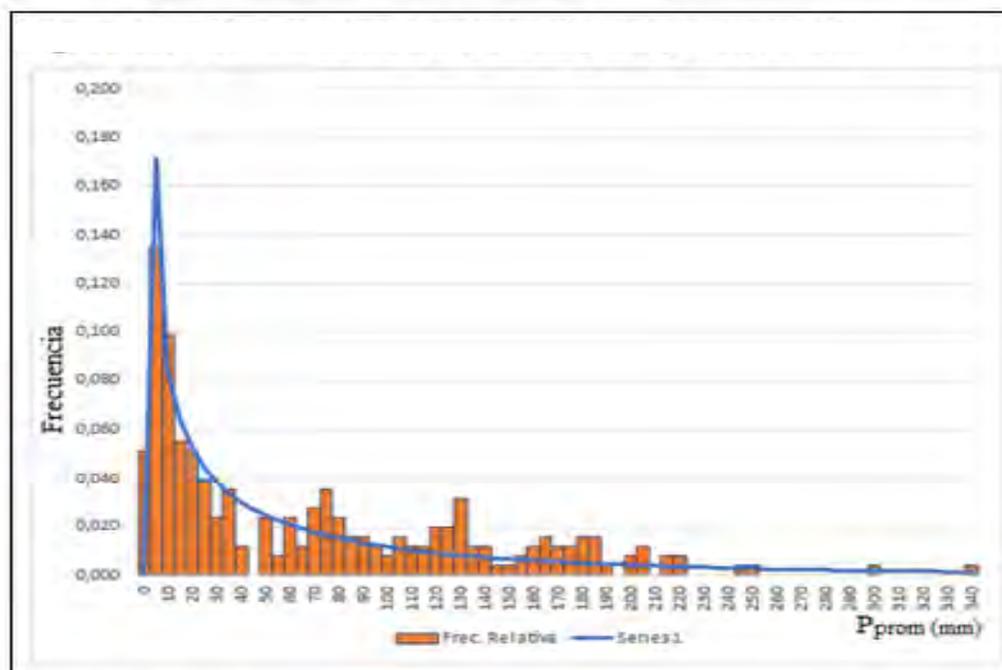
<b>Tabla 5.5: Distribución de Weibull de la variable precipitación del 2001 al 2021</b>							
P	Frec f(P)	Frec. Relativa F(P)	Frec. Relat. Acum.	$\ln(-\ln(1-F(P)))$	$\ln(P)$	WEIBULL	WEIBULL (Acum)
0	13	0,052	0,052			0,00000	0,00000
5	34	0,135	0,187	-1,57785	1,60944	0,17173	0,17173
10	25	0,099	0,286	-1,08924	2,30259	0,25613	0,08440
15	14	0,056	0,341	-0,87361	2,70805	0,31974	0,06361
20	13	0,052	0,393	-0,69517	2,99573	0,37164	0,05190
25	10	0,040	0,433	-0,56813	3,21888	0,41568	0,04404
30	6	0,024	0,456	-0,49520	3,40120	0,45394	0,03826
35	9	0,036	0,492	-0,38950	3,55535	0,48773	0,03379
40	3	0,012	0,504	-0,35508	3,68888	0,51793	0,03020
45	0	0,000	0,504	-0,35508	3,80666	0,54517	0,02724
50	6	0,024	0,528	-0,28727	3,91202	0,56991	0,02475
55	2	0,008	0,536	-0,26494	4,00733	0,59253	0,02262
60	6	0,024	0,560	-0,19857	4,09434	0,61330	0,02077
65	3	0,012	0,571	-0,16570	4,17439	0,63247	0,01916
70	7	0,028	0,599	-0,08959	4,24850	0,65021	0,01774
75	9	0,036	0,635	0,00761	4,31749	0,66669	0,01648
80	6	0,024	0,659	0,07240	4,38203	0,68204	0,01535
85	4	0,016	0,675	0,11575	4,44265	0,69638	0,01434
90	4	0,016	0,690	0,15933	4,49981	0,70980	0,01342
95	3	0,012	0,702	0,19222	4,55388	0,72238	0,01258
100	2	0,008	0,710	0,21428	4,60517	0,73420	0,01182
105	4	0,016	0,726	0,25876	4,65396	0,74533	0,01113
110	3	0,012	0,738	0,29250	4,70048	0,75582	0,01049
115	3	0,012	0,750	0,32663	4,74493	0,76572	0,00990
120	5	0,020	0,770	0,38457	4,78749	0,77508	0,00936
125	5	0,020	0,790	0,44413	4,82831	0,78394	0,00886
130	8	0,032	0,821	0,54393	4,86753	0,79234	0,00840
135	3	0,012	0,833	0,58320	4,90527	0,80030	0,00796
140	3	0,012	0,845	0,62373	4,94164	0,80786	0,00756

145	1	0,004	0,849	0,63755	4,97673	0,81505	0,00719
150	1	0,004	0,853	0,65155	5,01064	0,82189	0,00684
155	2	0,008	0,861	0,68010	5,04343	0,82840	0,00651
160	3	0,012	0,873	0,72450	5,07517	0,83460	0,00620
165	4	0,016	0,889	0,78720	5,10595	0,84051	0,00591
170	3	0,012	0,901	0,83749	5,13580	0,84616	0,00564
175	3	0,012	0,913	0,89134	5,16479	0,85155	0,00539
180	4	0,016	0,929	0,97042	5,19296	0,85670	0,00515
185	4	0,016	0,944	1,06139	5,22036	0,86162	0,00492
190	1	0,004	0,948	1,08670	5,24702	0,86634	0,00471
195	0	0,000	0,948	1,08670	5,27300	0,87085	0,00451
200	2	0,008	0,956	1,14152	5,29832	0,87517	0,00432
205	3	0,012	0,968	1,23837	5,32301	0,87930	0,00414
210	0	0,000	0,968	1,23837	5,34711	0,88327	0,00397
215	2	0,008	0,976	1,31846	5,37064	0,88708	0,00381
220	2	0,008	0,984	1,42145	5,39363	0,89073	0,00365
225	0	0,000	0,984	1,42145	5,41610	0,89424	0,00351
230	0	0,000	0,984	1,42145	5,43808	0,89761	0,00337
235	0	0,000	0,984	1,42145	5,45959	0,90085	0,00324
240	0	0,000	0,984	1,42145	5,48064	0,90396	0,00311
245	1	0,004	0,988	1,48858	5,50126	0,90696	0,00299
250	1	0,004	0,992	1,57615	5,52146	0,90984	0,00288
255	0	0,000	0,992	1,57615	5,54126	0,91261	0,00277
260	0	0,000	0,992	1,57615	5,56068	0,91528	0,00267
265	0	0,000	0,992	1,57615	5,57973	0,91785	0,00257
270	0	0,000	0,992	1,57615	5,59842	0,92032	0,00248
275	0	0,000	0,992	1,57615	5,61677	0,92271	0,00239
280	0	0,000	0,992	1,57615	5,63479	0,92501	0,00230
285	0	0,000	0,992	1,57615	5,65249	0,92723	0,00222
290	0	0,000	0,992	1,57615	5,66988	0,92937	0,00214
295	0	0,000	0,992	1,57615	5,68698	0,93143	0,00206
300	1	0,004	0,996	1,71008	5,70378	0,93342	0,00199
305	0	0,000	0,996	1,71008	5,72031	0,93535	0,00192
310	0	0,000	0,996	1,71008	5,73657	0,93721	0,00186
315	0	0,000	0,996	1,71008	5,75257	0,93900	0,00179
320	0	0,000	0,996	1,71008	5,76832	0,94073	0,00173
325	0	0,000	0,996	1,71008	5,78383	0,94241	0,00168
330	0	0,000	0,996	1,71008	5,79909	0,94403	0,00162
335	0	0,000	0,996	1,71008	5,81413	0,94559	0,00157
340	1	0,004	1,000		5,82895	0,94711	0,00151

Fuente: Elaboración propia

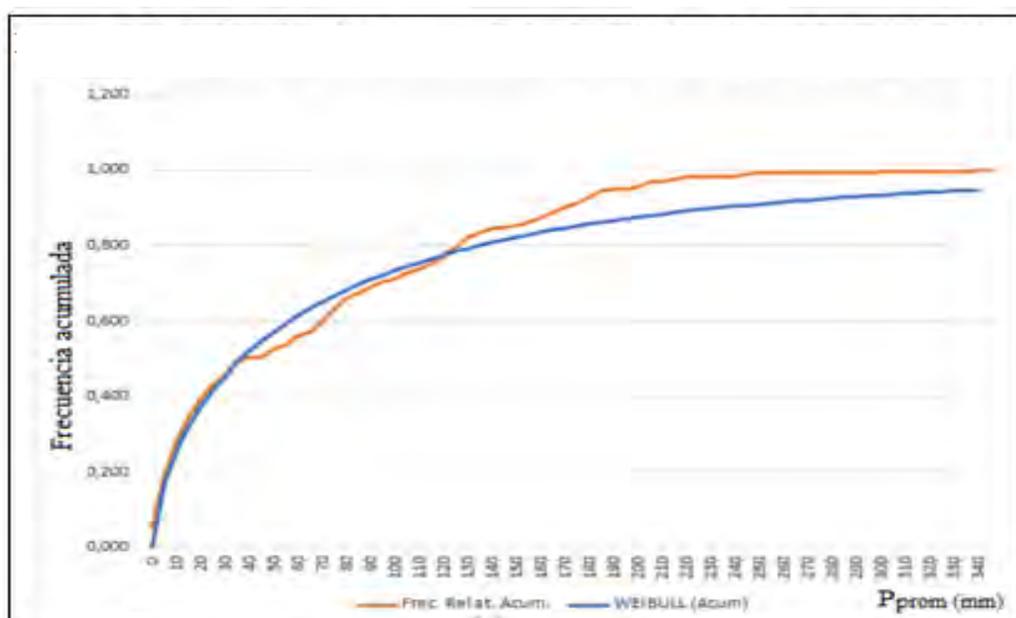
ii) De la Tabla 5.5 se tienen los siguientes gráficos:

**Figura 5.7: Distribución de Weibull para precipitación**



Fuente: Elaboración propia

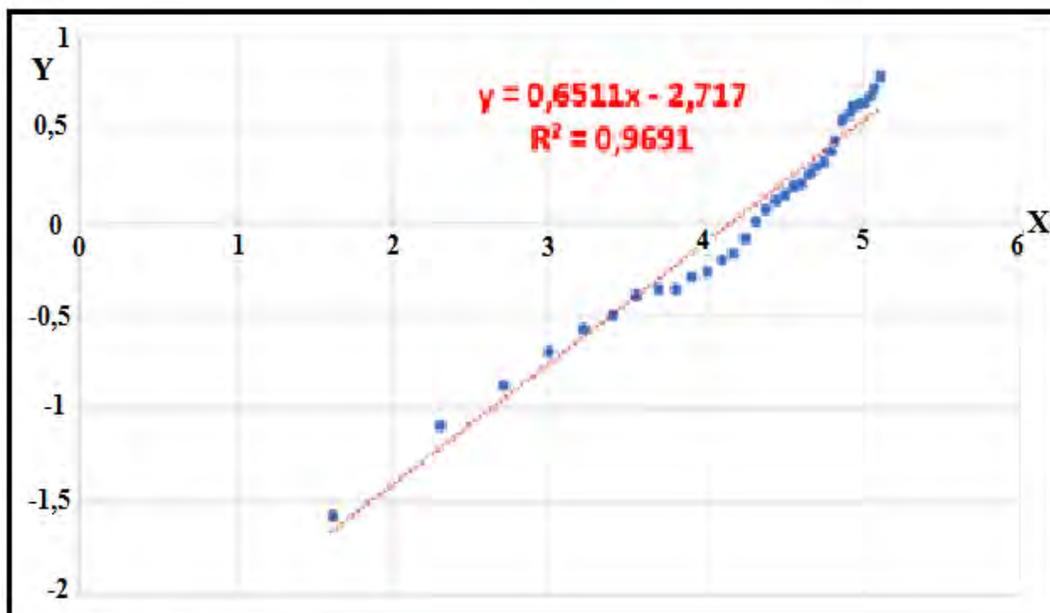
**Figura 5.8: Distribución acumulada de Weibull para precipitación**



Fuente: Elaboración propia

- iii) Por mínimos cuadrados la ecuación de Weibull, su dispersión y sus parámetros son los siguientes:

**Figura 5.9: Mínimos cuadrado para la estimación del parámetro Weibull para precipitación.**



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico:  $X = \ln(P)$ ,  $Y = \ln\{-\ln[1-F(P)]\}$  y P es presipitación.

**Interpretación de la información:** La ecuación que se obtiene del ajuste la recta de regresión lineal que es:

$$y = 0,6511x - 2,717$$

de donde  $k = 0,651100$  que es el parámetro de forma para precipitaciones y  $b = -2,717$

que es el punto de corte con el eje Y. Como  $c = e^{-\frac{b}{k}}$  y operando se obtiene  $c = 64,905872$

que es el parámetro de escala para precipitaciones. Asimismo, media o promedio, la varianza, la desviación estándar y coeficiente de variación de la distribución de Weibull, respectivamente son:

$$\bar{P} = 88,513172, \sigma^2 = 19845,14729, \sigma = 140,8728 \text{ y } CV = 159,15\%$$

El factor de forma de la distribución de Weibull ( $k$ ) es 0,651100. Es un valor menor a 2 lo que indica que la gráfica de la distribución de Weibull es asimétrica, el factor de escala ( $c = 64,905872$ ) tiene un valor casi cercano al promedio de la distribución de Weibull ( $\bar{P} = 88,513172$ ).

Como el coeficiente de variación es 159,15% muy alto y mayor que 70%, los datos de la muestra son muy variables o heterogéneos, consiguientemente para nuestro caso, la media no es representativa.

Como el coeficiente de determinación es  $R^2 = 0,9691$ , en nuestra notación adaptada para el presente trabajo es  $r^2 = 0,9691$  esta constituye una prueba de bondad de ajuste para la recta de recta de regresión.

De la recta de regresión, ecuación (10), se debe encontrar el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente Tabla 5.6:

**Tabla 5.6: Prueba de bondad para ajuste de relación de precipitación**

Pendiente ( $k$ )	Intercepto ( $b$ )	$r$	$r^2$
0,651100	-2,717	0,9844	0,9691

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación,  $r$ , indica que hay una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, ya que su valor está muy próximo a uno. El coeficiente de determinación,  $r^2$ , indica que el 96.91% de los datos están relacionados linealmente. Por tanto estos valores

para la variable precipitación indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

**b) Para la variable Velocidad del Viento del 2001 al 2021**

i) La variable  $X = V$ , velocidad del viento

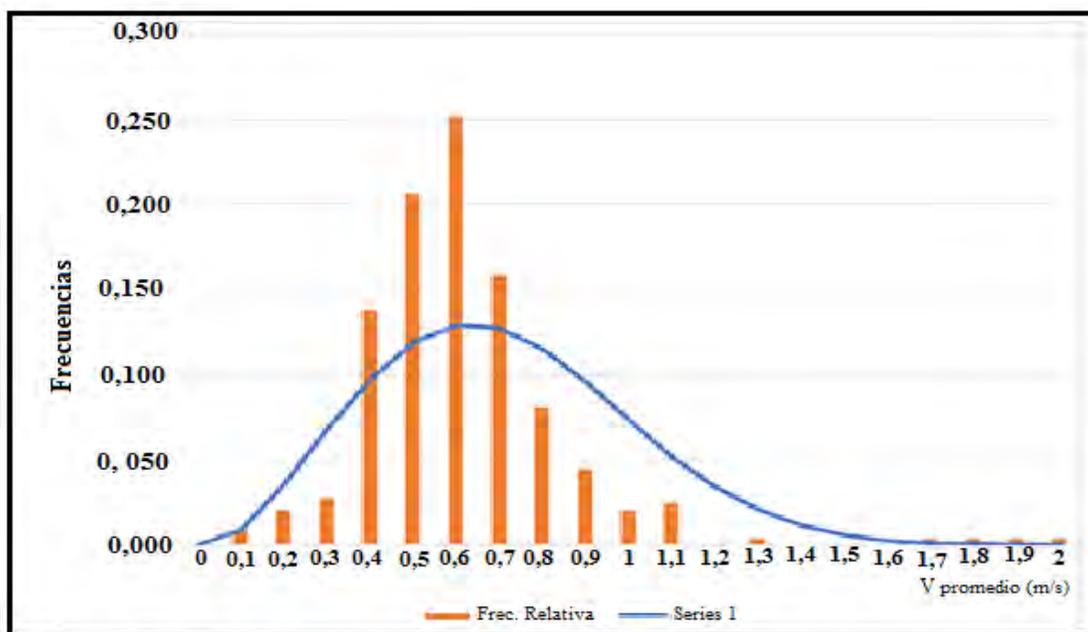
**Tabla 5.7: Distribución de Weibull de la variable velocidad del viento del 2001 al 2021**

V	Frec f(V)	Frec. Relativa F(V)	Frec. Relat. Acum.	$\ln(-\ln(1-F(V)))$	$\ln(V)$	WEIBULL	WEIBULL (Acum)
0	0	0,000	0,000			0,00000	0,00000
0,1	2	0,008	0,008	-4,81218	-2,30259	0,00904	0,00904
0,2	5	0,020	0,028	-3,54914	-1,60944	0,04535	0,03631
0,3	7	0,028	0,057	-2,84130	-1,20397	0,11351	0,06817
0,4	34	0,138	0,194	-1,53209	-0,91629	0,21109	0,09757
0,5	51	0,206	0,401	-0,66909	-0,69315	0,33024	0,11915
0,6	62	0,251	0,652	0,05358	-0,51083	0,45967	0,12943
0,7	39	0,158	0,810	0,50636	-0,35667	0,58717	0,12750
0,8	20	0,081	0,891	0,79460	-0,22314	0,70219	0,11503
0,9	11	0,045	0,935	1,00679	-0,10536	0,79773	0,09554
1	5	0,020	0,955	1,13510	0,00000	0,87098	0,07325
1,1	6	0,024	0,980	1,36096	0,09531	0,92290	0,05192
1,2	0	0,000	0,980	1,36096	0,18232	0,95693	0,03403
1,3	1	0,004	0,984	1,41660	0,26236	0,97755	0,02063
1,4	0	0,000	0,984	1,41660	0,33647	0,98911	0,01156
1,5	0	0,000	0,984	1,41660	0,40547	0,99509	0,00598
1,6	0	0,000	0,984	1,41660	0,47000	0,99795	0,00286
1,7	1	0,004	0,988	1,48405	0,53063	0,99921	0,00126
1,8	1	0,004	0,992	1,57199	0,58779	0,99972	0,00051
1,9	1	0,004	0,996	1,70645	0,64185	0,99991	0,00019
2	1	0,004	1,000	1,48858	0,69315	0,99997	0,00007

Fuente: Elaboración propia

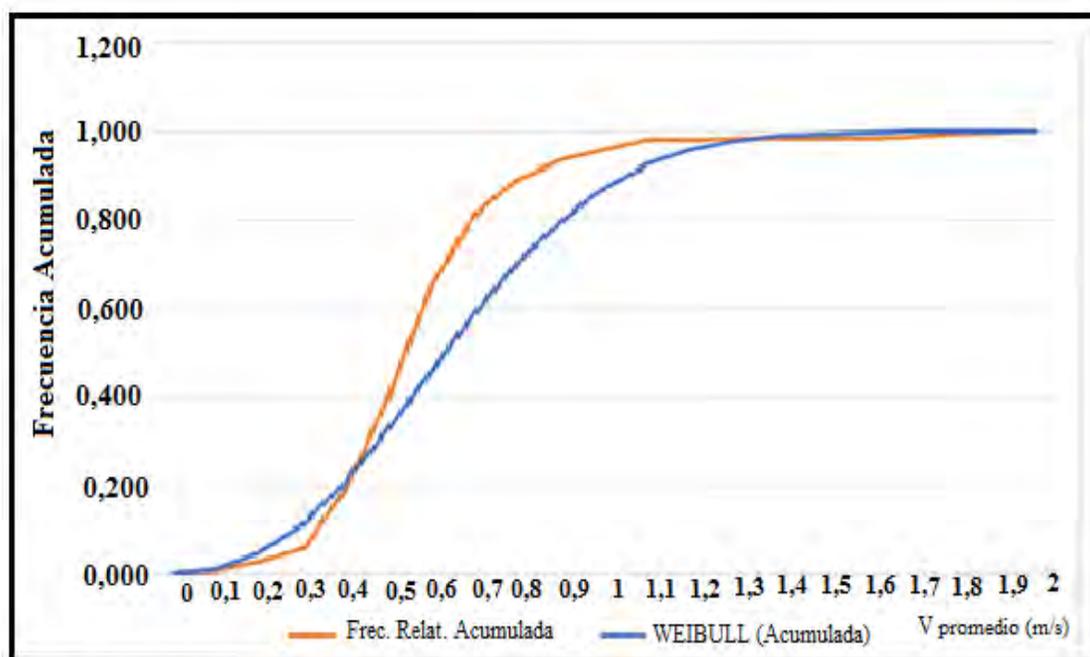
- ii) De la tabla 5.7 se tienen los siguientes gráficos expresadas por las figuras 5.10 y 5.11 de distribución y la acumulada de Weibull.

**Figura 5.10: Distribución de Weibull para velocidad del viento**



Fuente: Elaboración propia

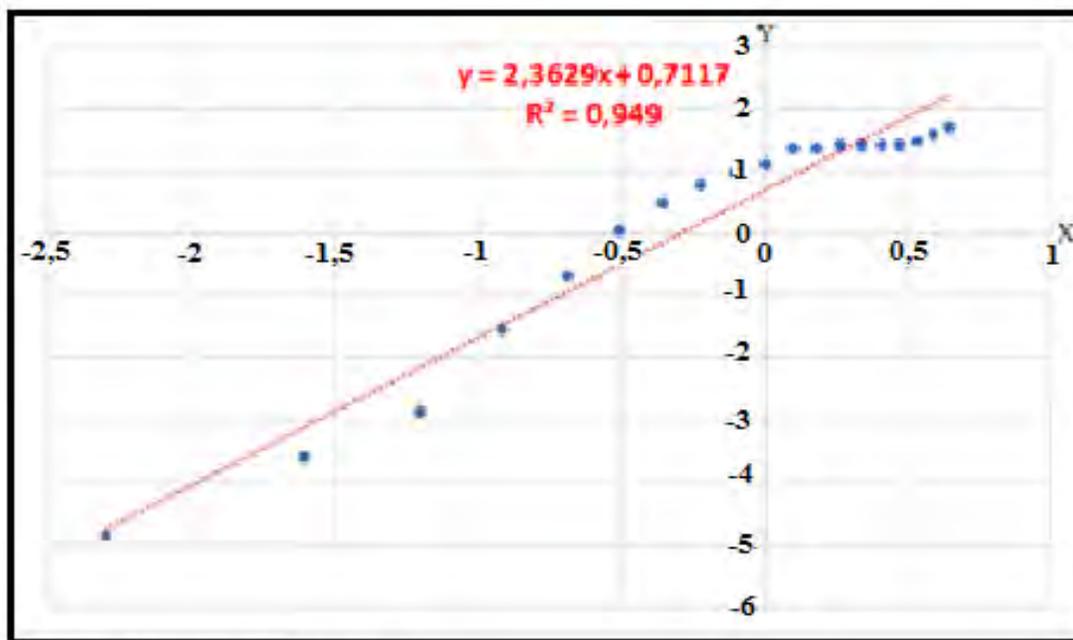
**Figura 5.11: Distribución acumulada de Weibull para velocidad del viento**



Fuente: Elaboración propia

- iii) Por mínimos cuadrados la ecuación de Weibull, su dispersión y sus parámetros son las siguientes:

**Figura 5.12: Mínimos cuadrado para la estimación del parámetro Weibull para velocidad del viento.**



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico:  $X = \ln(V)$ ,  $Y = \ln\{-\ln[1-F(V)]\}$  y  $V$  es velocidad del viento.

**Interpretación de la información:** La ecuación que se obtiene del ajuste la recta de regresión lineal que es:

$$y = 2,3629x + 0,7117$$

de donde  $k = 2,3629$  que es el parámetro de forma para precipitaciones y  $b = 0,7117$  que es el punto de corte con el eje Y. Como  $c = e^{-\frac{b}{k}}$  y operando se obtiene  $c = 0,7399$  que es el parámetro de escala para precipitaciones.

Asimismo, media o promedio, la varianza, la desviación estándar y coeficiente de variación de la distribución de Weibull, respectivamente, son:

$$\bar{V} = 0,655759, \sigma^2 = 0,087107, \sigma = 0,295139 \text{ y } CV = 45,01\%$$

El factor de forma de la distribución de Weibull ( $k$ ) es 2,3629. Es un valor mayor a 2 y menor que 3 lo que indica que la gráfica de la distribución de Weibull es simétrica, el factor de escala ( $c = 0,7399$ ) tiene un valor cercano al promedio de la distribución de Weibull ( $\bar{V} = 0,655759$ ).

Como el coeficiente de variación es 45,01% mayor que 30% y menor que 70%, los datos de la muestra son relativamente homogéneas, consiguientemente para nuestro caso, la media es cuasi representativa.

Como el coeficiente de determinación es  $R^2 = 0,949$ , en nuestra notación adaptada para el presente trabajo es  $r^2 = 0,949$  esta constituye una prueba de bondad de ajuste para la recta de recta de regresión.

De la recta de regresión, ecuación (10), se debe encontrar el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente Tabla 5.8:

**Tabla 5.8: Prueba de bondad para ajuste de relación de velocidad del viento**

Pendiente ( $k$ )	Intercepto ( $b$ )	$r$	$r^2$
0,651100	0,7117	0,97417	0,949

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación,  $r$ , indica que hay una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, ya que su valor está muy próximo a uno. El coeficiente de determinación,  $r^2$ , indica que el 94.9% de los datos están relacionados linealmente. Por consiguiente, estos valores de la variable velocidad del viento indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

**c) Para la variable Temperatura del 2001 al 2021**

i) La variable  $X = T$ , temperatura

Máxima temperatura= 15,16 °C

Mínima temperatura = 8,36°C

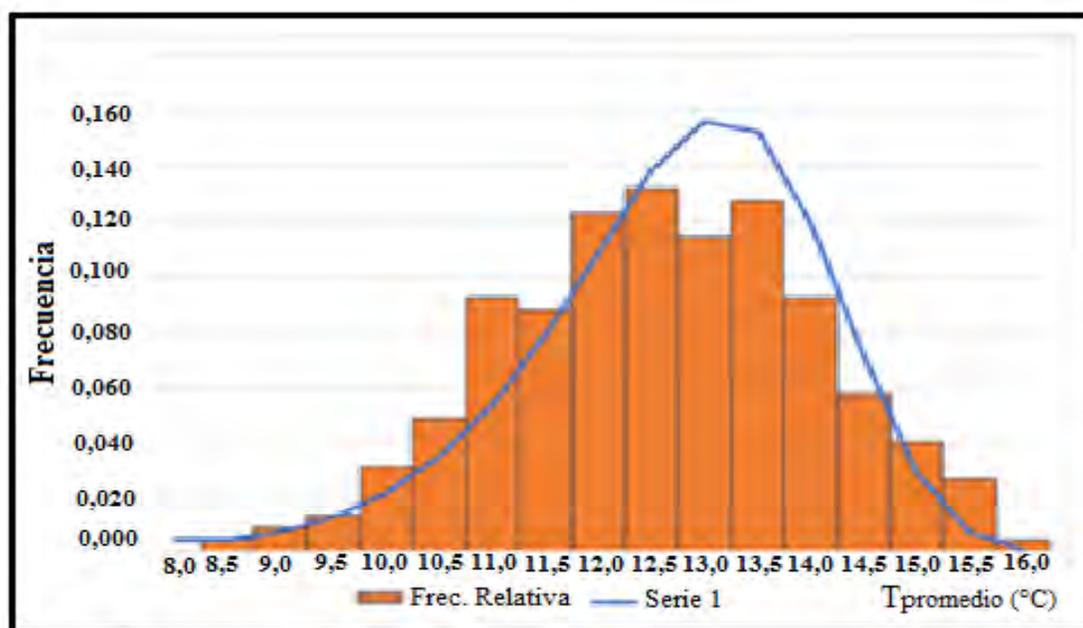
**Tabla 5.9: Distribución de Weibull de la variable temperatura del 2001 al 2021**

T	Frec f(T)	Frec. Relativa F(T)	Frec. Relat. Acum.	$\ln(-\ln(1-F(T)))$	$\ln(T)$	WEIBULL	WEIBULL (Acum)
8,0	0	0,000	0,000			0,00413	0,00413
8,5	1	0,004	0,004	-5,42715	2,14007	0,00814	0,00401
9,0	2	0,009	0,013	-4,32412	2,19722	0,01542	0,00727
9,5	3	0,013	0,026	-3,62428	2,25129	0,02811	0,01270
10,0	7	0,031	0,057	-2,83519	2,30259	0,04947	0,02136
10,5	11	0,048	0,105	-2,19619	2,35138	0,08403	0,03456
11,0	21	0,092	0,197	-1,51477	2,39790	0,13758	0,05355
11,5	20	0,088	0,285	-1,09185	2,44235	0,21641	0,07883
12,0	28	0,123	0,408	-0,64613	2,48491	0,32521	0,10880
12,5	30	0,132	0,539	-0,25440	2,52573	0,46324	0,13803
13,0	26	0,114	0,654	0,05817	2,56495	0,61964	0,15640
13,5	29	0,127	0,781	0,41695	2,60269	0,77168	0,15204
14,0	21	0,092	0,873	0,72370	2,63906	0,89164	0,11996
14,5	13	0,057	0,930	0,97711	2,67415	0,96297	0,07133
15,0	9	0,039	0,969	1,24802	2,70805	0,99196	0,02899
15,5	6	0,026	0,996	1,69182	2,74084	0,99906	0,00710
16,0	1	0,004	1,000	3,60378	2,77259	0,99995	0,00089

Fuente: Elaboración propia

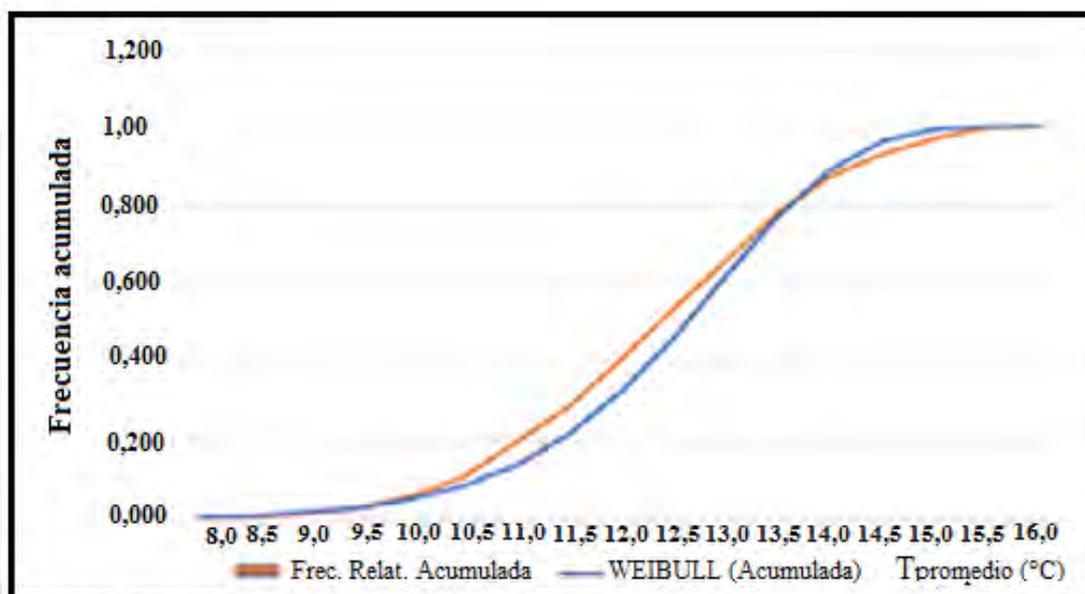
De la tabla 5.9 se tienen los siguientes gráficos expresadas por las figuras 5.13 y 5.14 de distribución y la acumulada de Weibull.

Figura 5.13: Distribución de Weibull para temperatura



Fuente: Elaboración propia

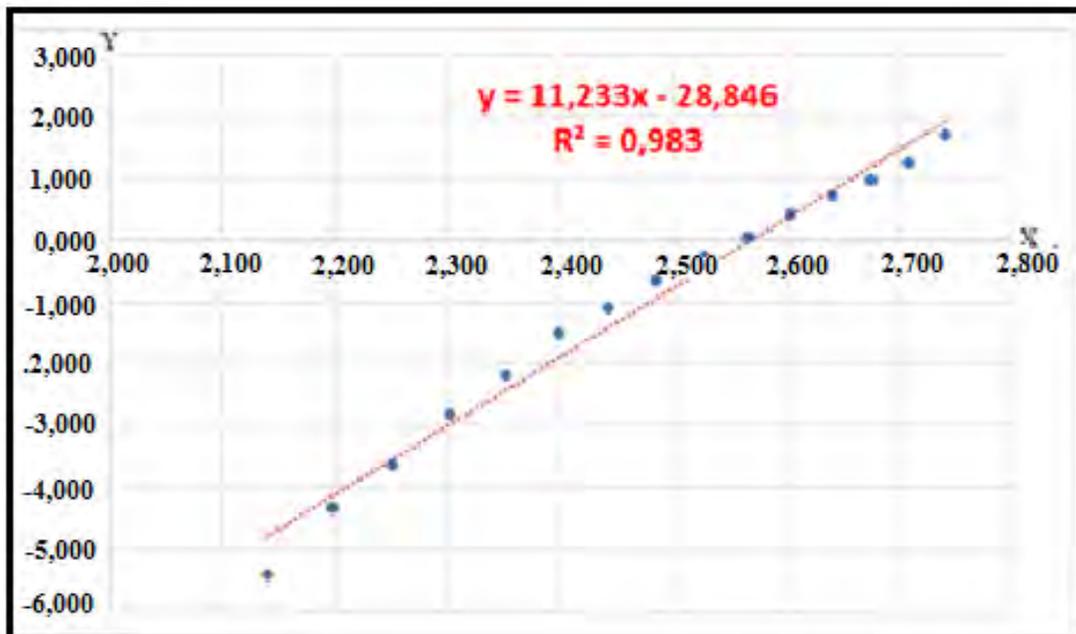
Figura 5.14: Distribución acumulada de Weibull para temperatura



Fuente: Elaboración propia

- ii) Por mínimos cuadrados la ecuación de Weibull, su dispersión y sus parámetro son las siguientes:

**Figura 5.15: Mínimos cuadrado para la estimación del parámetro Weibull para temperatura.**



Fuente: Elaboración propia.

En este gráfico:  $X = \ln(T)$ ,  $Y = \ln\{-\ln[1-F(T)]\}$  y T es temperatura.

**Interpretación de la información:** La ecuación que se obtiene del ajuste la recta de regresión lineal que es:

$$y = 11,233x - 28,846$$

de donde  $k = 11,233$  que es el parámetro de forma para precipitaciones y

$b = -28,846$  que es el punto de corte con el eje Y. Como  $c = e^{-\frac{b}{k}}$  y operando se obtiene  $c = 13,0392$  que es el parámetro de escala para precipitaciones.

Asimismo, media o promedio, la varianza, la desviación estándar y coeficiente de variación de la distribución de Weibull, respectivamente, son:

$$\bar{V} = 12,463883, \sigma^2 = 1,804344, \sigma = 1,343259 \text{ y } CV = 10.78\%$$

El factor de forma de la distribución de Weibull ( $k$ ) es 12,463883. Es un valor mayor a 3 lo que indica que la gráfica de la distribución de Weibull es asimétrica, el factor de escala ( $c = 13,0392$ ) tiene un valor cercano al promedio de la distribución de Weibull ( $\bar{V} = 12,463883$ ).

Como el coeficiente de variación es 10,78% menor que 30%, los datos de la muestra son homogéneas, consiguientemente para nuestro caso, la media es representativa.

Como el coeficiente de determinación es  $R^2 = 0,983$ , en nuestra notación adaptada para el presente trabajo es  $r^2 = 0,983$  esta constituye una prueba de bondad de ajuste para la recta de recta de regresión.

De la recta de regresión, ecuación (10), se debe encontrar el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente Tabla 5.10:

**Tabla 5.10: Prueba de bondad para ajuste de relación de temperatura**

Pendiente ( $k$ )	Intercepto ( $b$ )	$r$	$r^2$
11,233	-28,846	0,99146	0,983

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación,  $r$ , indica que hay una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, ya que su valor está muy próximo a uno. El coeficiente de determinación,  $r^2$ , indica que el 98.30% de los datos están relacionados linealmente. Por lo tanto, estos valores indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

**Conclusión de Análisis e Interpretación de la Distribución de Weibull** para las tres variables: precipitación ( $r = 0,9844$ ), velocidad del viento ( $r = 0,97417$ ) y temperatura ( $r = 0,99146$ ) indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull, ya que en los tres casos se concluyen a este mismo resultado.

### ***5.1.3. Análisis e Interpretación de Series Temporales para Variables***

El presente trabajo comprende dos partes: la descripción de los datos a utilizar y la metodología ARIMA de Box y Jenkins (1976) para la aplicación del modelo ARIMA para las diferentes mediciones climatológicas en la ciudad del Cusco. Para el análisis econométrico y la aplicación del modelamiento ARIMA se empleó el software R y su librería “forecast” que proporciona métodos y herramientas para mostrar y analizar pronósticos de series temporales univariadas, incluido el suavizado exponencial a través de modelos de espacio de estado y el modelado automático ARIMA (Hyndman, 2023)

Para la estimación del modelo y las correspondientes proyecciones se hizo uso de la función “auto.arima” que tiene la capacidad de devolver el mejor modelo ARIMA según el valor de la calidad relativa de un modelo estadístico para un conjunto de datos AIC, y su correspondiente ajuste para tamaños de muestra finita AICc; realizando una búsqueda del mejor modelo posible dentro de las restricciones de orden proporcionadas.

Como paso previo al análisis de series temporales se realizó una imputación de datos faltantes, para esto se hizo uso de la librería “imputaTS” versión 3.3 en R que haciendo uso de interpolaciones reemplaza valores faltantes (Steffen Moritz, 2022), en nuestro caso utilizamos la interpolación “spline” cúbica (o Hermite), para mayor detalle sobre el algoritmo usado revisar base de este algoritmo propuesto por (Dougherty, Edelman, & Hyman, 1989).

Conforme lo manifestado en la sección 4.7.3 inciso d) para determinar la información e interpretación descriptiva para las tres variables se procederá a realizar al análisis de series temporales ARIMA, para ello utilizaremos la variable aleatoria  $X$  que serán las variables meteorológicas de estudio: precipitación, velocidad del viento y temperatura, luego se construye los siguientes casos:

- i) Análisis de series temporales ARIMA, en las distintas Figuras se podrán observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$ , donde  $Y_t$  es la serie observada (*observed*) que viene a ser el gráfico temporal,  $S_t$  es el componente estacional (*seasonal*) que se caracteriza por las fluctuaciones periódicas de longitud constante causadas por factores tales como estación del año, etc.,  $T_t$  es la tendencia (*trend*) que representa los cambios de largo plazo en el nivel de la serie de tiempo y  $E_t$  es el término aleatorio (*random*) que vendrían a ser precipitación que no son explicadas ni por la tendencia ni la estacionalidad (Morales-Oñate, 2022)
- ii) Con la finalidad de evaluar las autocorrelaciones, que describe la presencia o ausencia de correlación en la serie temporal; es decir, cuando los valores que toman una variable en el tiempo no son independientes entre sí, sino que un valor determinado depende de los valores anteriores, graficaremos las funciones de autocorrelaciones (ACF) y autocorrelaciones parciales (PACF). La función de autocorrelación (ACF), mide la correlación entre dos variables separadas por  $k$  periodos, así como el grado de asociación lineal que existe entre dos variables del mismo proceso estocástico; mientras que la función de autocorrelación parcial (PACF), mide la correlación entre dos variables separadas por  $k$  periodos cuando no se considera la dependencia creada por los retardos intermedios existentes entre ambas, así mismo la autocorrelación que

existe entre dos variables separadas  $k$  períodos descontando los posibles efectos debidos a variables intermedias. La función ACF es usada para identificar el proceso de media móvil (MA) en un modelo ARIMA; mientras que la función PACF se usa para identificar los valores de la parte del proceso autoregresivo (AR). Los gráficos generados a partir de estas funciones se denominan correlogramas, los cuales contienen bandas con un intervalo de confianza del 95% (Marulanda L, s.f.)

- iii) Considerando que la función de “auto.arima” de la librería “forecast” selecciona entre varios posibles modelos el que mejor predice y además realiza transformaciones de la variable; en caso de que no sea estacionaria, adicionalmente realiza una detección de estacionalidad en la serie, además construye modelos ARIMA. También arroja criterios de predictibilidad, los cuales ayudan a evaluar la capacidad predictiva de los modelos incluyendo los criterios de la información AIC, AICC, BIC. (Arellano Alvarez, Cardenas Rodriguez, & Gonzales Jimenez).

Para los datos de las variables  $X$ , nos muestran que el mejor resultado es un ARIMA no diferenciado ( $d = 0$ ) y distintos coeficientes AR y MA, considerando estacionalidad (12 meses) e incluyó términos estacionales  $P$ ,  $D$  y  $Q$  en cada variable  $X$ . Tomado en consideración el estadístico MAPE (Mean absolute percentage error), podemos ver que los porcentajes de error del modelo es el menor posible en la submuestra train.

- iv) Considerando este último modelo se obtienen el pronóstico para los próximos doce meses de los años 2022 y 2023 para las variables precipitación y velocidad del viento, mientras que para la variable temperatura el pronóstico será para los años 2021 y 2022. Estos resultados se exponen en el acápite 5.3.3 de la sección 5.3 denominada presentación de resultados.

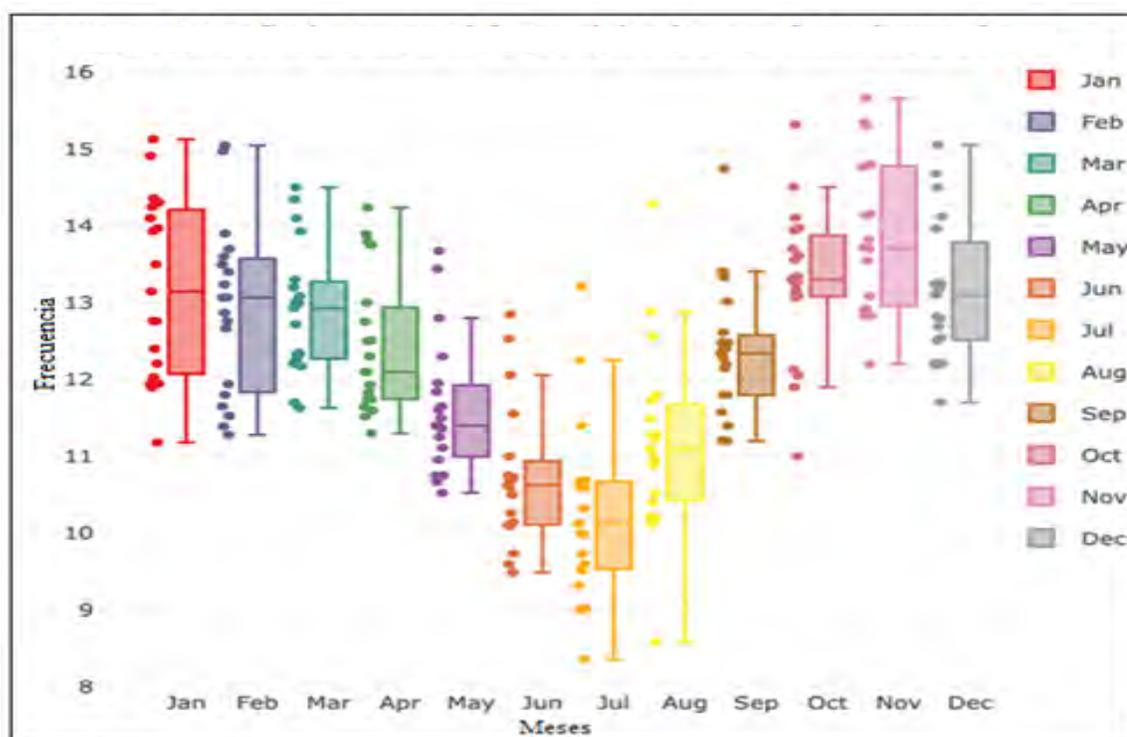
A continuación, el desarrollo de las correspondientes series temporales para las tres series (precipitación, velocidad de viento y temperatura)

**a) Para la variable precipitación del 2001 al 2021**

i) La variable  $X = T$  precipitación

Con la información e interpretación descriptiva para la variable precipitación se procedió a realizar al análisis de series temporales ARIMA, en la Figura 5.16 se puede observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$ .

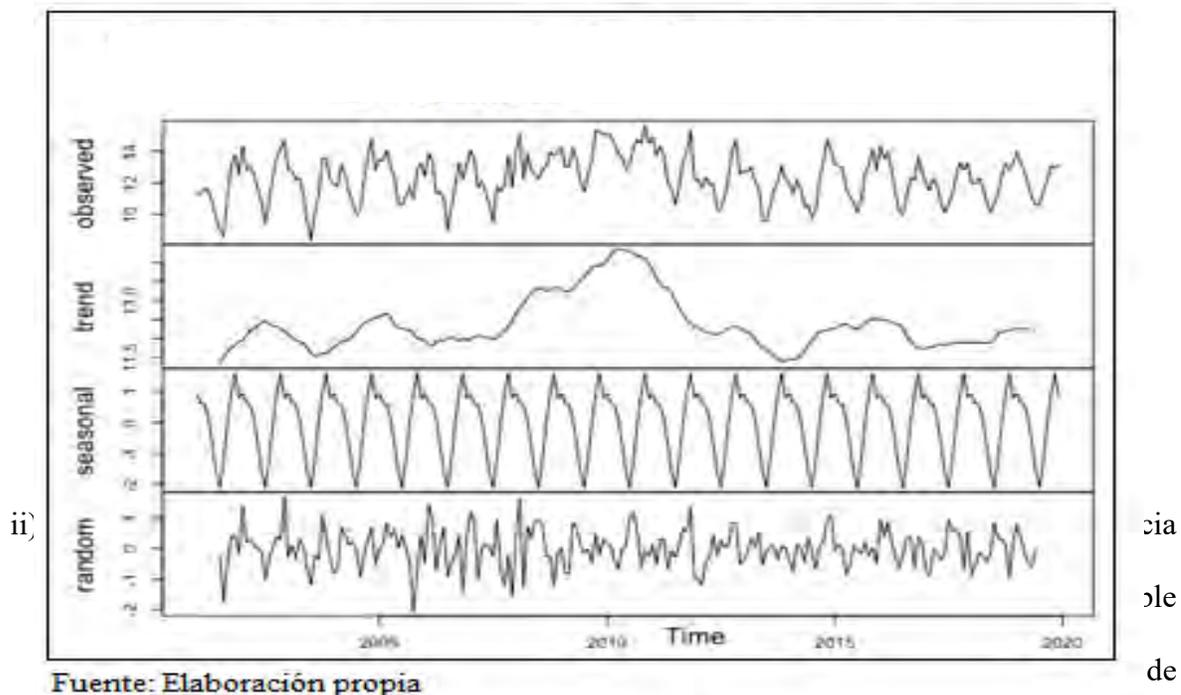
**Figura 5.16: Serie temporal de precipitación con datos imputados.**



C Fuente: Elaboración propia

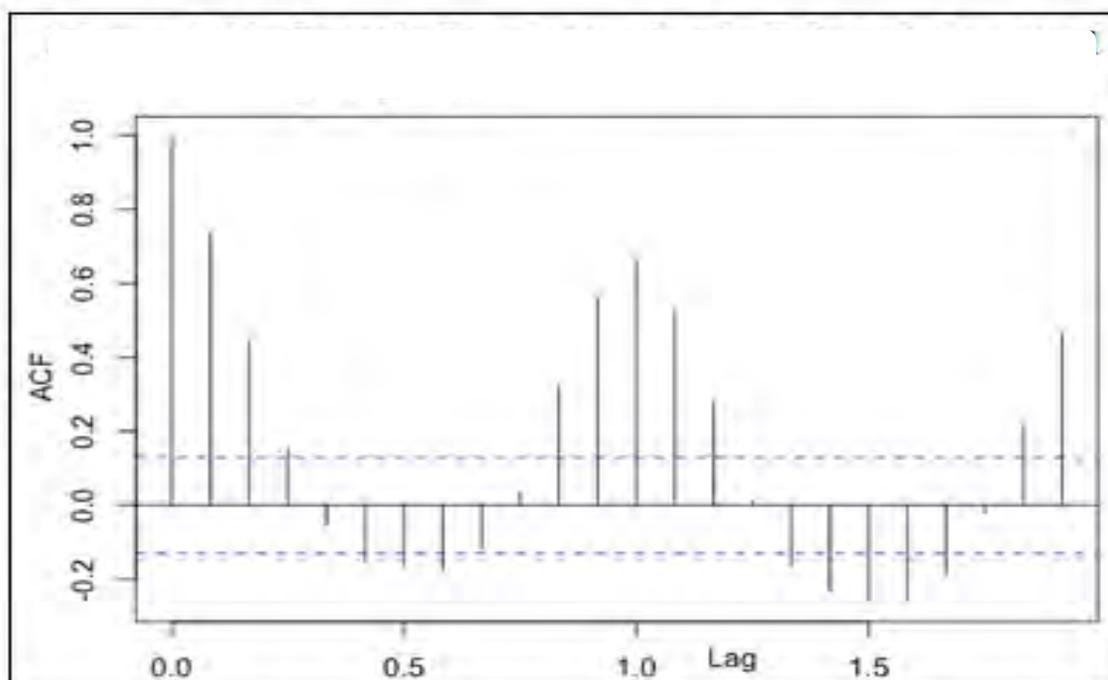
Figura 5.17 se puede observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$ , que viene a ser el gráfico temporal de la precipitación, y  $E_t$  es el término aleatorio (*random*) que vendrían a ser precipitación que no son explicadas ni por la tendencia ni la estacionalidad.

**Figura 5.17: Descomposición aditiva de la serie temporal precipitación.**

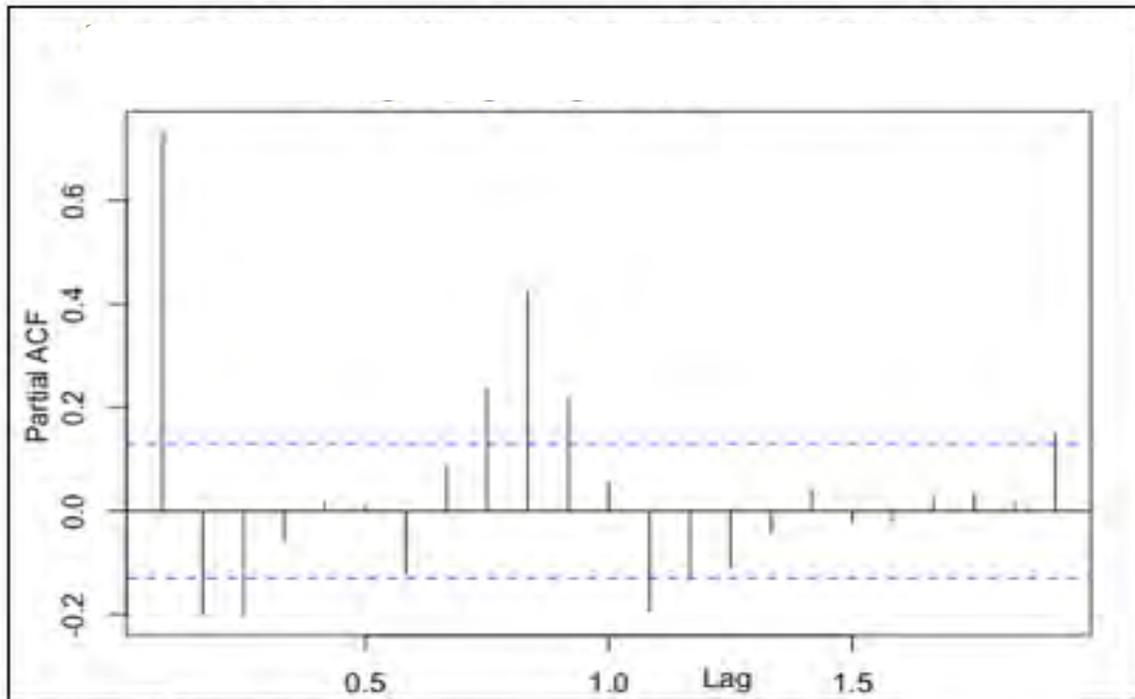


los valores anteriores, graficaremos las funciones de autocorrelaciones (ACF) Figura 5.18 y autocorrelaciones parciales (PACF) Figura 5.19.

**Figura 5.18: Función de autocorrelación de la serie temporal precipitación**



**Figura 5.19: Función de autocorrelación parcial de la serie temporal precipitación**



Fuente: Elaboración propia

- iii) Para los datos de la variable precipitación, nos muestra que el mejor resultado es un ARIMA no diferenciado ( $d = 0$ ) y coeficientes  $AR = 1$  y  $MA = 1$ , consideró estacionalidad (12 meses) e incluyó términos estacionales  $P = 0$ ,  $D = 1$ ,  $Q = 2$ , cuyo modelo  $ARIMA(1,0,1)(0,1,2)[12]$  se muestra en el resultado adjunto.

```
ARIMA(1,0,1)(0,1,2)[12]
```

```
Coefficients:
```

	ar1	ma1	sma1	sma2
	0.7057	-0.5402	-0.9565	0.0787
s.e.	0.1398	0.1616	0.0723	0.0698

```
sigma^2 = 1235: log likelihood = -1202.09
```

```
AIC=2414.19 AICc=2414.45 BIC=2431.59
```

```
Training set error measures:
```

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Training set	-2.394122	34.00358	22.16824	NaN	Inf	0.7139377	-0.07746847

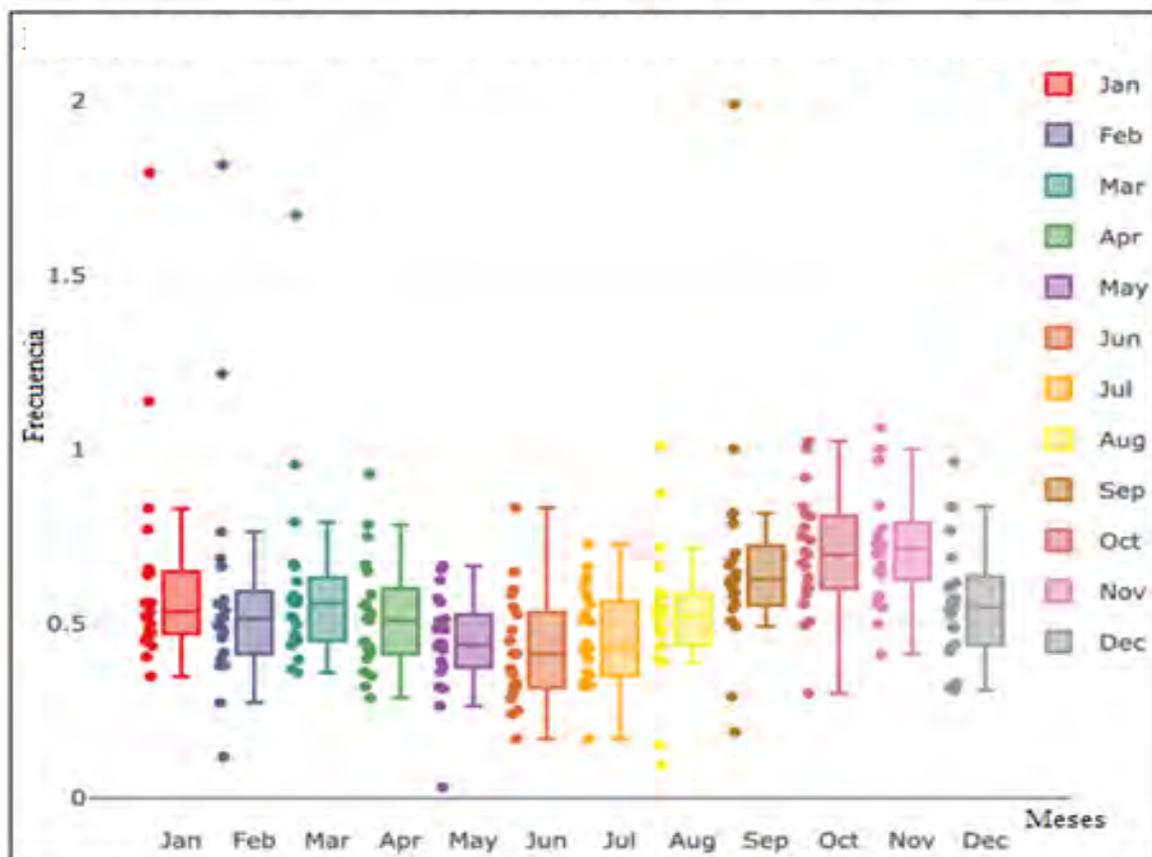
Tomado en consideración el estadístico MAPE (Mean absolute porcentaje error), podemos ver que el porcentaje de error del modelo es el menor posible (Inf) en la submuestra train.

**b) Para la variable Velocidad del viento del 2001 al 2021**

i) La variable  $X = V$ , velocidad del viento

Con la información e interpretación descriptiva para la variable velocidad del viento se procedió a realizar al análisis de series temporales ARIMA, en la Figura 5.20 se puede observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$ .

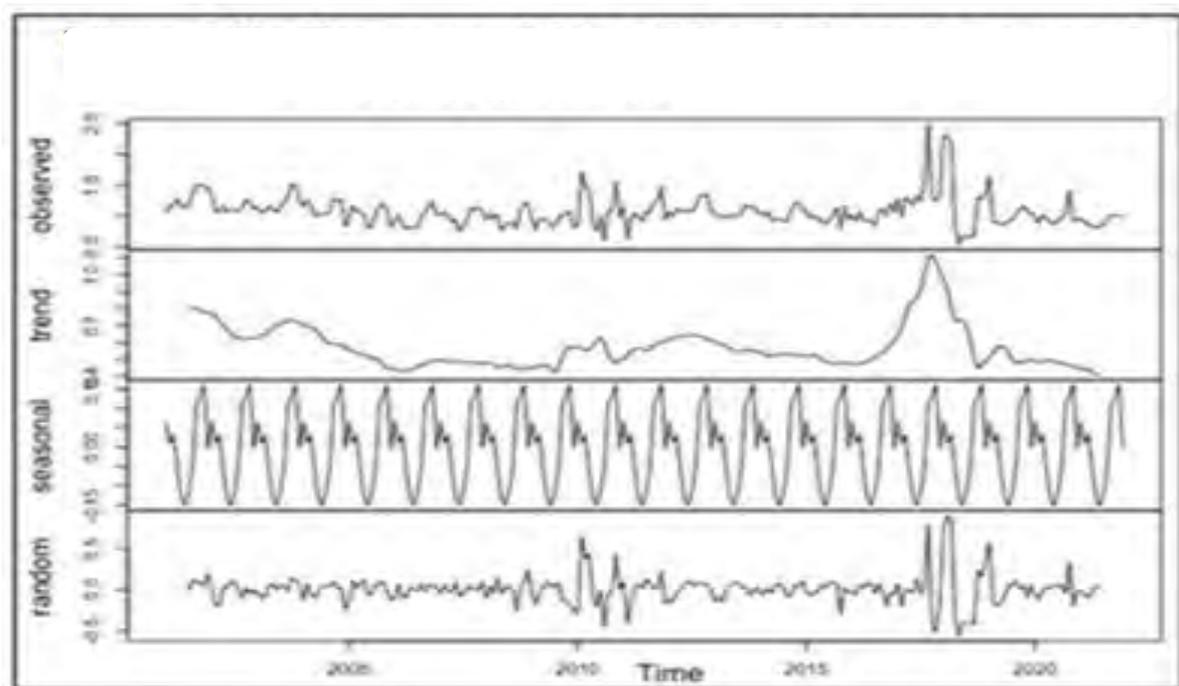
**Figura 5.20: Serie temporal de velocidad de viento con datos imputados.**



Fuente: Elaboración propia

Con esta información se procedió a realizar al análisis de series temporales ARIMA, en la Figura 5.21 se puede observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$ . que viene a ser el gráfico temporal de la velocidad del viento y  $E_t$  es el término aleatorio (*random*) que vendrían a ser la velocidad del viento que no son explicadas ni por la tendencia ni la estacionalidad.

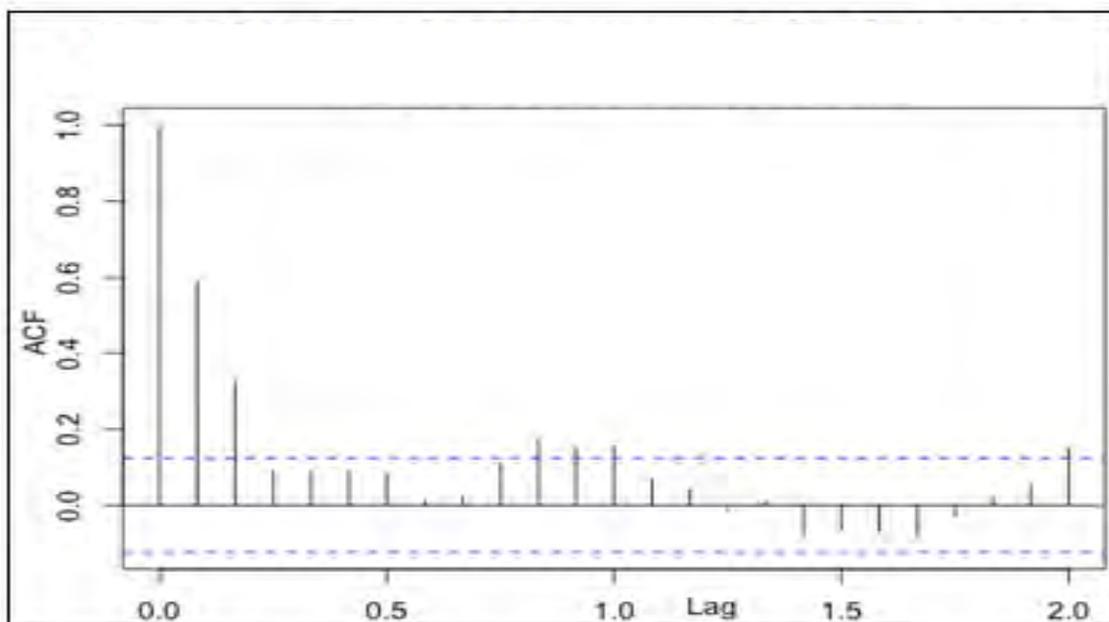
**Figura 5.21: Descomposición aditiva de la serie temporal velocidad viento.**



Fuente: Elaboración propia

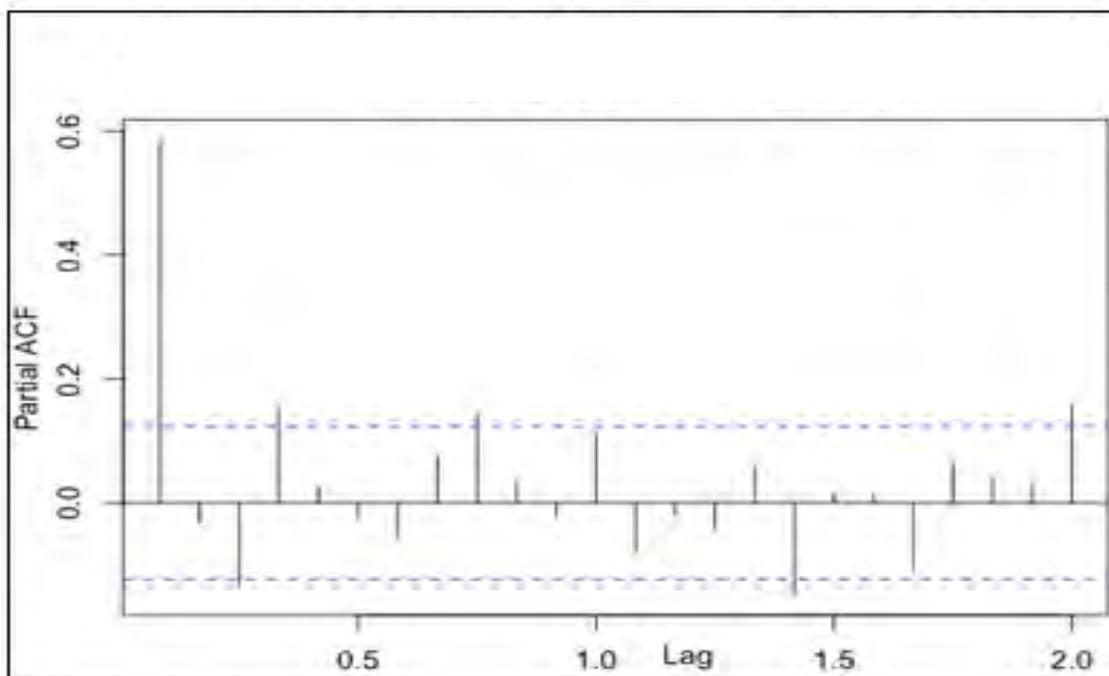
- ii) Con la finalidad de evaluar las autocorrelaciones, que describe la presencia o ausencia de correlación en la serie temporal, es decir, cuando los valores que toman una variable en el tiempo no son independientes entre sí, sino que un valor determinado depende de los valores anteriores, graficaremos las funciones de autocorrelaciones (ACF) Figura 5.22 y autocorrelaciones parciales (PACF) Figura 5.23.

Figura 5.22: Función de autocorrelación de la serie temporal velocidad del viento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.23: Función de autocorrelación de la serie temporal velocidad viento.



Fuente: Elaboración propia

- iii) Para los datos de la variable velocidad del viento, nos muestra que el mejor resultado es un ARIMA no diferenciado ( $d = 0$ ) y coeficientes  $AR = 1$  y  $MA = 1$ , consideró estacionalidad (12 meses) e incluyó términos estacionales  $P = 0$ ,  $D = 1$ ,  $Q = 2$ , cuyo modelo  $ARIMA(0,0,2)(0,0,2)[12]$  se muestra en el resultado adjunto.

```

ARIMA(0,0,2)(0,0,2)[12] with non-zero mean

Coefficients:
      ma1      ma2      sma1      sma2      mean
      0.6108  0.3804  0.1055  0.1866  0.5721
s.e.  0.0588  0.0530  0.0610  0.0615  0.0304

sigma^2 = 0.03727: log likelihood = 58.7
AIC=-105.39  AICc=-105.05  BIC=-84.22

Training set error measures:
              ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE      ACF1
Training set -0.001085293  0.1911321  0.1219575 -15.32939  29.59533  0.6484097  0.02683161

```

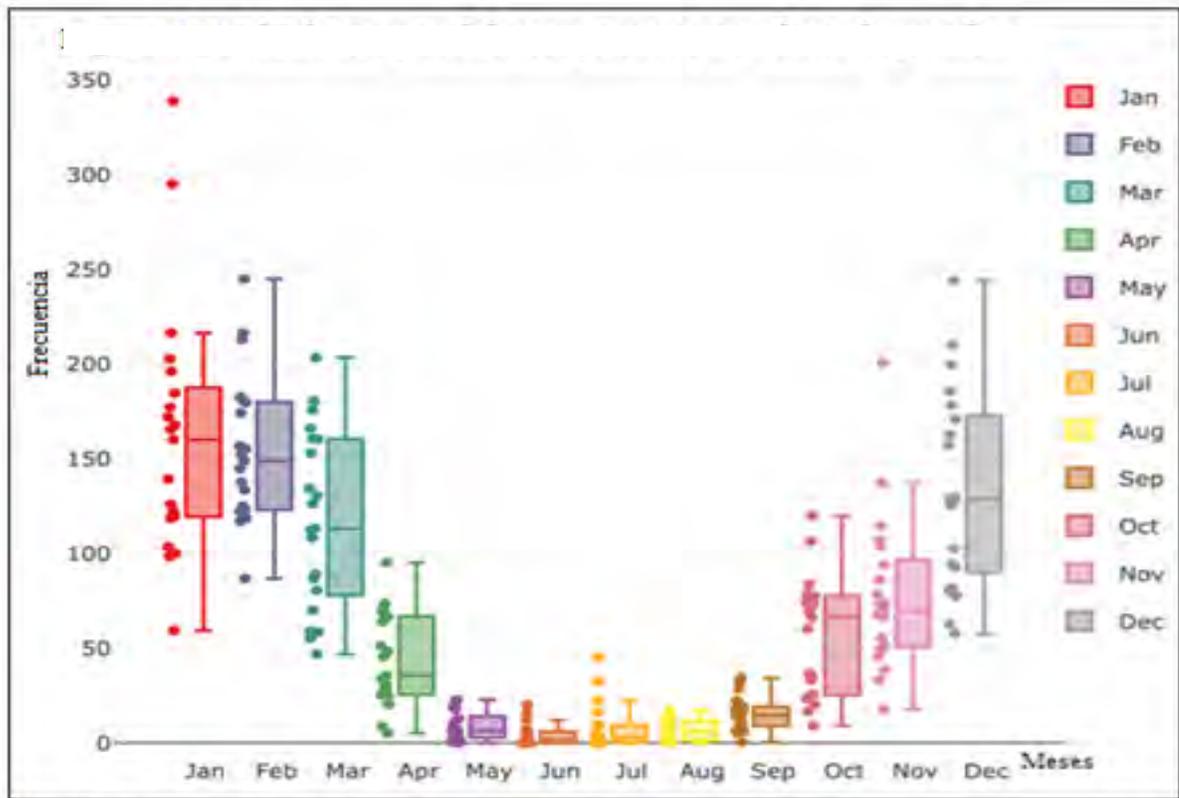
Tomado en consideración el estadístico MAPE (Mean absolute percentage error), podemos ver que el porcentaje de error del modelo es 29,59533% en la submuestra train.

**c) Para la variable Temperatura del 2001 al 2019**

- i) La variable  $X = V$ , velocidad del viento

Con la información e interpretación descriptiva para la variable velocidad del viento se procedió a realizar al análisis de series temporales ARIMA, en la Figura 5.24 se puede observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$ .

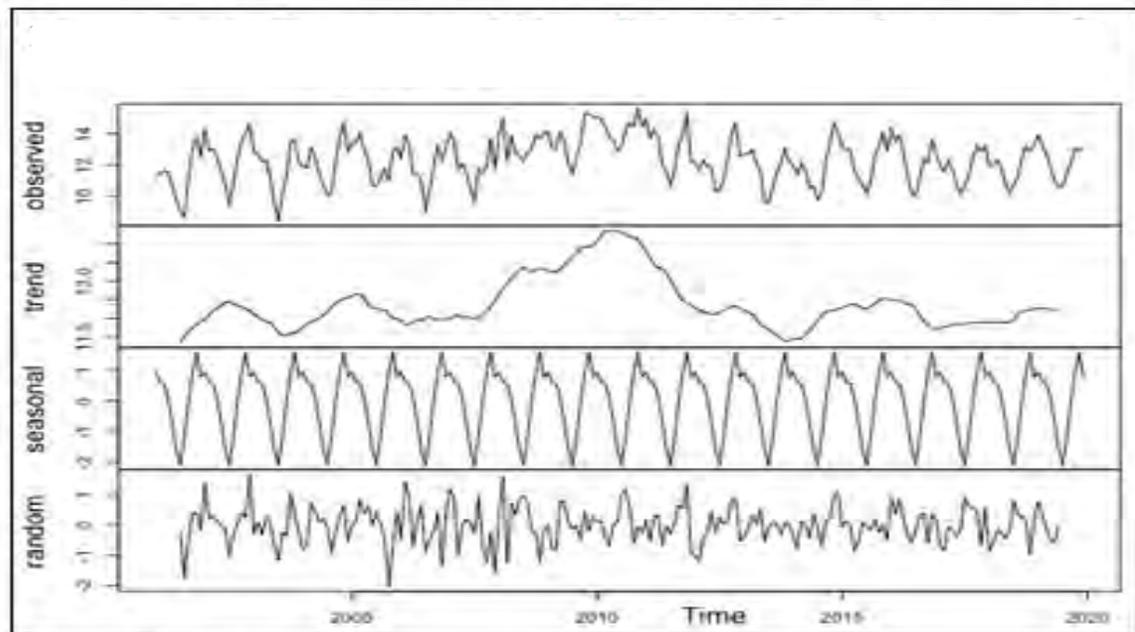
Figura 5.24: Serie temporal de temperatura con datos imputados.



Fuente: Elaboración propia

Con esta información se procedió a realizar al análisis de series temporales ARIMA, en la Figura 5.25 se puede observar la descomposición aditiva de la serie temporal:  $Y_t = S_t + T_t + E_t$  que viene a ser el gráfico temporal de la temperatura y  $E_t$  es el término aleatorio (*random*) que vendrían a ser la temperatura que no son explicadas ni por la tendencia ni la estacionalidad.

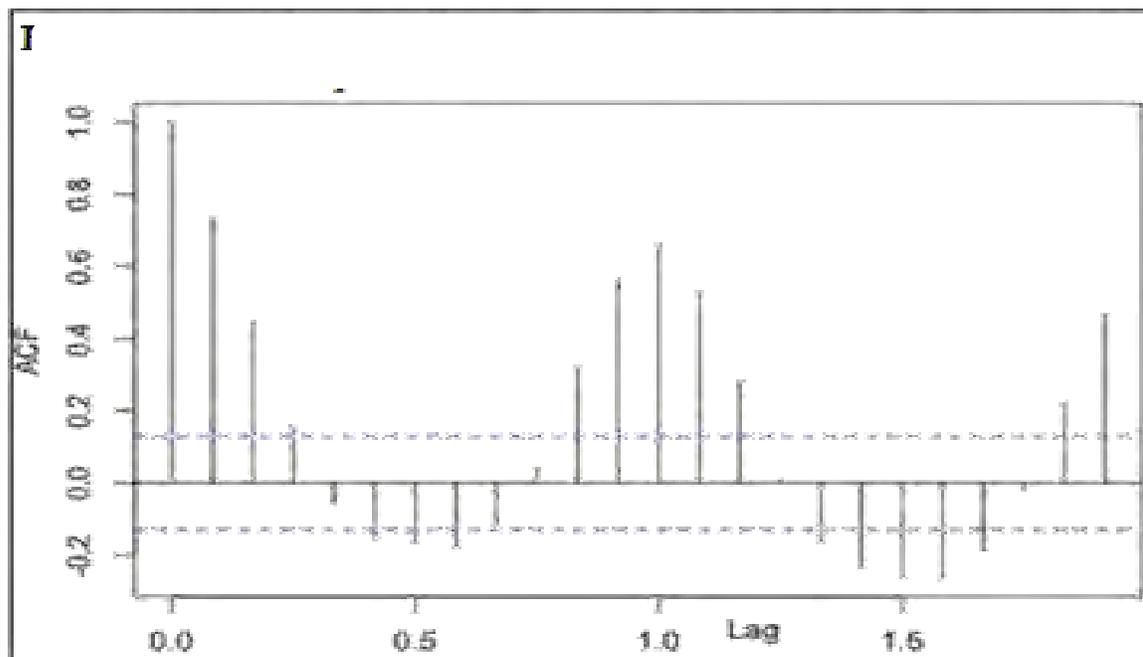
**Figura 5.25: Descomposición aditiva de la serie temporal temperatura.**



**Fuente: Elaboración propia**

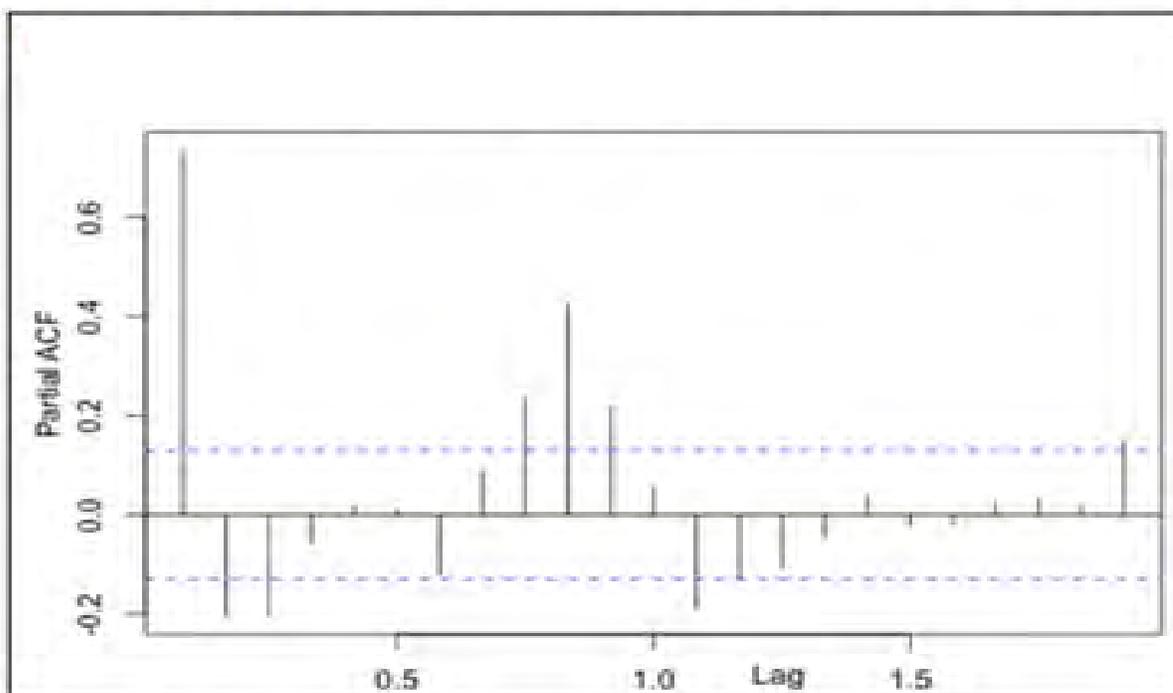
- ii) Con la finalidad de evaluar las autocorrelaciones, que describe la presencia o ausencia de correlación en la serie temporal, es decir, cuando los valores que toman una variable en el tiempo no son independientes entre sí, sino que un valor determinado depende de los valores anteriores, graficaremos las funciones de autocorrelaciones (ACF) Figura 5.26 y autocorrelaciones parciales (PACF) Figura 5.27.

Figura 5.26: Función de autocorrelación de la serie temporal temperatura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.27: Función de autocorrelación parcial de la serie temporal temperatura.



Fuente: Elaboración propia

- iii) Para los datos de la variable Temperatura, nos muestra que el mejor resultado es un ARIMA no diferenciado ( $d = 0$ ) y coeficientes  $AR = 1$  y  $MA = 2$ , consideró estacionalidad (12 meses) e incluyó términos estacionales  $P = 0$ ,  $D = 1$ ,  $Q = 1$ , cuyo modelo  $ARIMA(1,0,2)(0,1,1)[12]$  se muestra en el resultado adjunto.

```

ARIMA(1,0,2)(0,1,1)[12]

Coefficients:
      ar1      ma1      ma2      sma1
      0.9467 -0.4917 -0.1126 -0.8700
s.e.  0.0347  0.0764  0.0758  0.0817

sigma^2 = 0.5571: log likelihood = -249.64
AIC=509.28  AICc=509.56  BIC=526.15

Training set error measures:
              ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE      ACF1
Training set 0.03918357 0.7196976 0.5292669 0.1317059 4.272877 0.6014108 -0.009451274

```

Tomado en consideración el estadístico MAPE (Mean absolute percentage error), podemos ver que el porcentaje de error del modelo es 4,27% en la submuestra train.

#### 5.1.4. *Análisis e Interpretación de Correlación para Variables*

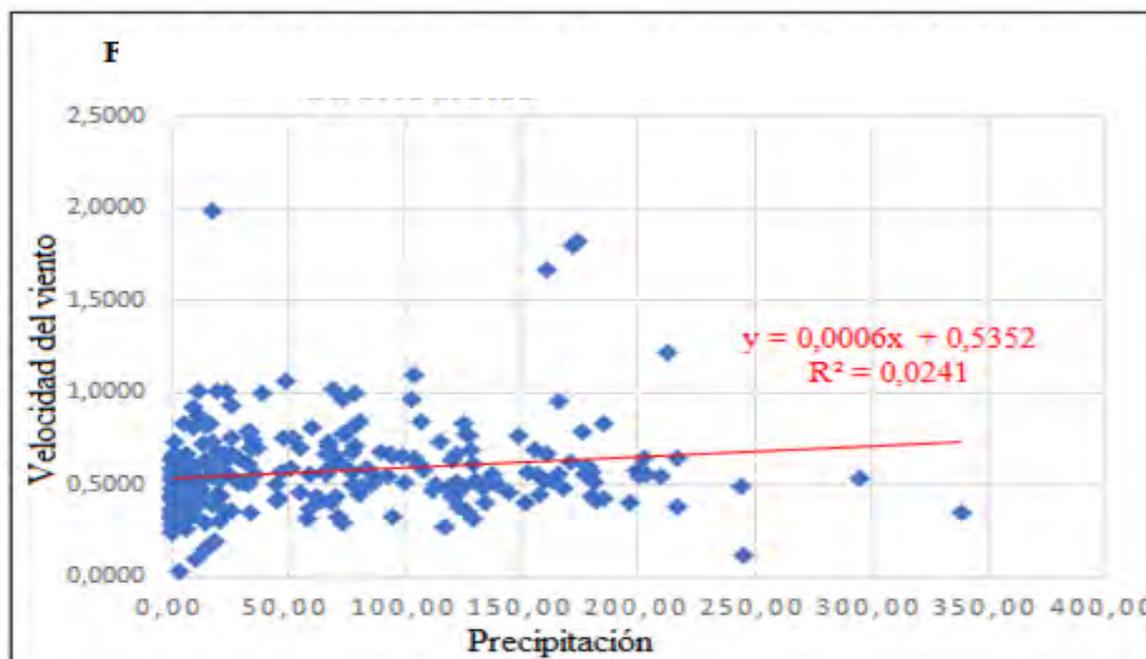
Para el análisis e interpretación para las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura, mediremos el grado de asociación existentes entre las variables indicadas, consideraremos en forma binaria sustentados en el acápite b) de la sección 4.7.1. El coeficiente de correlación utilizado para el presente proyecto es el de Pearson, que es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente del mismo número de datos, sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1.

Para este objetivo del análisis e interpretación de correlación de variables se utiliza el programa de software Microsoft Excel y se presentan los respectivos gráficos, a fin de que nos permitan demostrar la relación existente entre dos clases de datos y así cuantificar la intensidad de dicha relación. Por otro lado, se examinará correlación del 2001 al 2021 sólo para el caso de precipitación entre velocidad del viento y para el caso del 2001 al 2019 para el caso de precipitación entre velocidad del viento entre temperatura y precipitación entre temperatura, porque la variable temperatura carece de información en los años 2020 y 2021.

**a) Correlación entre Precipitación y Velocidad del viento del 2001 al 2021**

Coeficiente de correlación: 0,1553.

**Figura 5.28: Correlación entre Precipitación y Velocidad del viento del 2001 al 2021**



Fuente: Elaboración propia

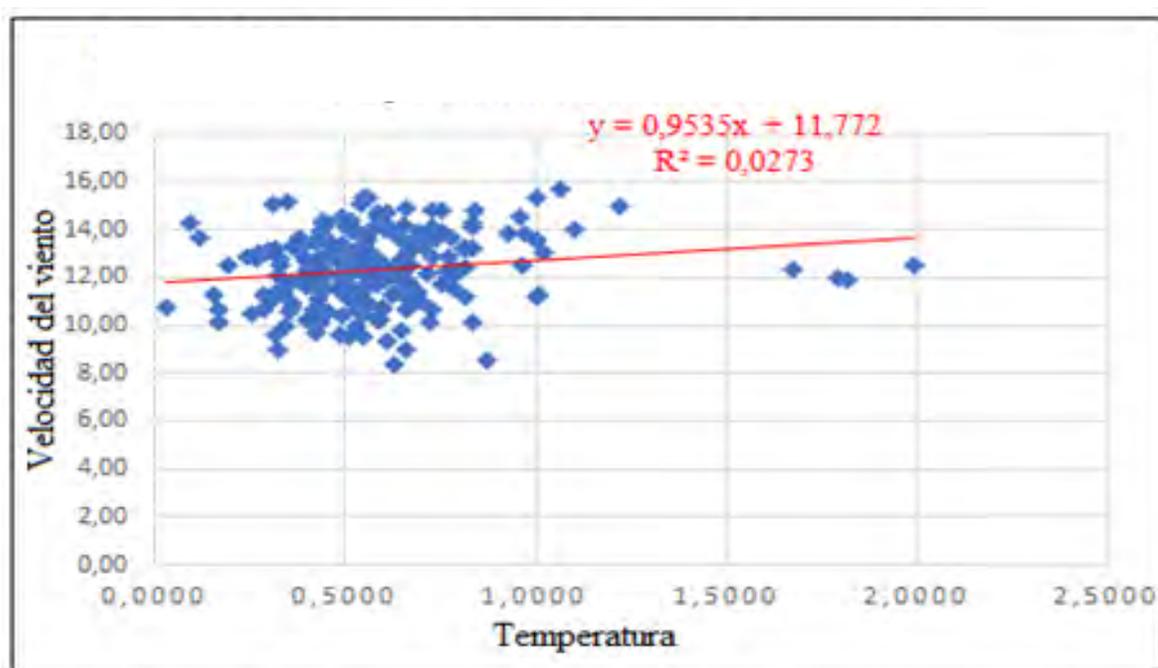
**Interpretación de la información:** Puesto que el coeficiente de correlación es

0,1553 es positivo y muy alejado de 1 y el coeficiente de determinación es  $R^2 = r^2 = 0,0241 = 2,41\%$  y que constituye una prueba de bondad de ajuste de muy débil porcentaje, por lo que se induce a que **existe muy poca correlación** de estas dos variables: precipitación y velocidad del viento.

**b) Correlación entre Velocidad del viento y Temperatura del 2001 al 2019**

Coeficiente de correlación: 0,1651

**Figura 5.29: Correlación entre Velocidad del viento y temperatura del 2001 al 2019**



Fuente: Elaboración propia

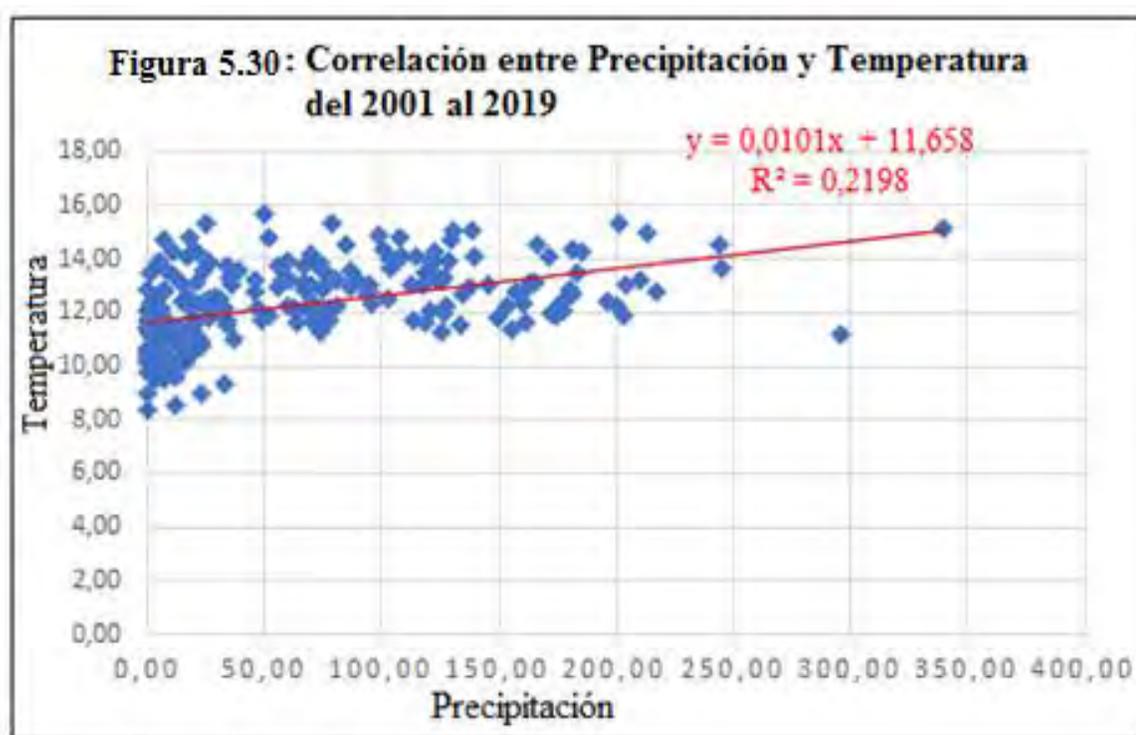
**Interpretación de la información:** Puesto que el coeficiente de correlación es 0,1651 es positivo y muy alejado de 1 y el coeficiente de determinación es  $R^2 = r^2 = 0,0273 = 2,73\%$

y que constituye una prueba de bondad de ajuste de bajo porcentaje, por lo que se induce a que **existe muy poca correlación** de estas dos variables: velocidad del viento y temperatura.

c) **Correlación entre Precipitación y Temperatura del 2001 al 2019**

Coefficiente de correlación = 0,4689

**Figura 5.30: Correlación entre precipitación y temperatura del 2001 al 2019**



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación de la información:** Puesto que el coeficiente de correlación es 0,4689 es positivo y alejado a 1 y el coeficiente de determinación es  $R^2 = r^2 = 0,2198 = 21,98\%$  y que constituye una prueba de bondad de ajuste de regular porcentaje, por lo que se induce a que **existe baja correlación** de estas dos variables: precipitación y temperatura.

**En general de los tres casos vistos** del análisis e interpretación de correlación, se concluye que existe muy poca correlación alejada de 1 (en promedio el coeficiente de determinación es de 9,04%)

## **5.2. Pruebas Hipótesis**

### ***5.2.1. Hipótesis General***

La descripción del comportamiento de los resultados tiene tendencias positivas de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

### ***5.2.2. Hipótesis Específicas***

1. Los coeficientes de variación respecto a la dispersión representativa de la media de los datos a lo largo de los años del 2001 al 2021 para la variable precipitación, es relativamente homogénea o cuasi representativa, para la velocidad del viento es relativamente homogénea o cuasi representativa y para la temperatura es homogénea. Por tanto, el comportamiento de las muestras de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del tiempo y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) son homogéneas.
2. De la conclusión del Análisis e Interpretación de la Distribución de Weibull para las tres variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura indican que la muestra

se comporta conforme a la función de densidad de Weibull, ya que en los tres casos se concluye a este mismo resultado. Por tanto, se cumple la segunda hipótesis específica.

3. Después de analizar e interpretar de las series temporales para los tres casos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura mediante series temporales en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 se llegó a obtener el pronóstico para precipitación, velocidad del viento para los años 2022 y 2023 y para temperatura para los años 2021 2022, usando el modelo ARIMA. Por tanto, se cumple la tercera hipótesis específica.
4. El nivel de correlación lineal es positivo y de muy poca correlación entre las tres variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 2021 de los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) y de muy poca correlación; por consiguiente, no existe correlación entre las tres variables de estudio.

### **5.3. Presentación de resultados**

La muestra utilizada en el presente trabajo es el conjunto de datos meteorológicos imputados que corresponden a las variables: la precipitación con 252 datos, velocidad del viento con 252 datos y temperatura con 228 datos, e información obtenida del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) del periodo 2001 al 2021 para las variables: precipitación y velocidad del viento y del periodo 2001 al 2019 para la variable temperatura.

De acuerdo a los objetivos específicos planteados, la presentación de resultados es el siguiente:

### 5.3.1. *Mediante análisis básico descriptivo de variables*

Para la presentación de resultados de la presente sección de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura que se presentan en la ciudad de Cusco durante los años estimados, se han considerado los promedios por día de los datos recolectados en intervalos de tiempo captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), como se muestra en la Tabla 5.1: Datos por día de las tres variables.

#### a) **Para la variable precipitación del 2001 al 2021**

De acuerdo a la clasificación efectuada por (Martinez Bencardino, 2007) sobre los coeficientes de variación respecto a la dispersión representativa del promedio de la media de los datos a lo largo de los años del 2001 al 2021 para la variable precipitación, se presenta en siguiente cuadro que muestra el resultado de representatividad de datos de la media.

<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	<b>Meses</b>	<b>Datos de la media</b>	<b>Significado</b>
$CV \leq 30\%$	Febrero	Homogéneo	La media es representativa
$30\% < CV \leq 70\%$	Enero, marzo, abril, setiembre, octubre, noviembre y diciembre	Relativamente homogéneo	La media es cuasi representativa
$CV > 70\%$	Mayo, junio, julio y agosto	Heterogéneo	La media no es representativa

Fuente: Elaboración propia

Como resultado para esta variable, expresión de 7 meses son relativamente homogéneo, un mes por homogeneidad y 4 meses por heterogeneidad, la representatividad de datos de la media es relativamente homogénea o cuasi representativa

**b) Para la variable velocidad del viento del 2001 al 2021**

De acuerdo a la clasificación efectuada por (Martinez Bencardino, 2007) sobre los coeficientes de variación respecto a la dispersión representativa del promedio de la media de los datos a lo largo de los años del 2001 al 2021 para la variable velocidad del viento, se presenta en siguiente cuadro que muestra el resultado de representatividad de datos de la media.

<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	<b>Meses</b>	<b>Datos de la media</b>	<b>Significado</b>
$CV \leq 30\%$	Julio, octubre y noviembre	Homogéneo	La media es representativa
$30\% < CV \leq 70\%$	Enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, agosto, setiembre y diciembre	Relativamente homogéneo	La media es cuasi representativa
$CV > 70\%$	Ninguno	Heterogéneo	La media no es representativa

Fuente: Elaboración propia

Como resultado para esta variable, expresión de 9 meses por relativamente homogéneo y 3 meses a favor de homogéneo, la representatividad de datos de la media es relativamente homogénea o cuasi representativa.

**c) Para la variable temperatura del 2001 al 2019**

De acuerdo a la clasificación efectuada por (Martinez Bencardino, 2007) sobre los coeficientes de variación respecto a la dispersión representativa del promedio de la media de los datos a lo largo de los años del 2001 al 2021 para la variable temperatura, se presenta en siguiente cuadro que muestra el resultado de representatividad de datos de la media.

<b>Coeficiente de variación (CV)</b>	<b>Meses</b>	<b>Datos de la media</b>	<b>Significado</b>
$CV \leq 30\%$	Enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre	Homogéneo	La media es representativa
$30\% < CV \leq 70\%$	Ninguno	Relativamente homogéneo	La media es cuasi representativa
$CV > 70\%$	Ninguno	Heterogéneo	La media no es representativa

Fuente: Elaboración propia

Como resultado para la variable precipitación, expresión de todos los 12 meses son homogéneo, la representatividad de datos de la media es homogénea.

### **5.3.2. Mediante análisis de la Distribución de Weibull de variables**

Conforme lo analizado y mostrado en la sección 5.1.2 para determinar la función de distribución de Weibull, utilizaremos método de regresión lineal, para ello utilizaremos las tres variables que serán las variables meteorológicas de estudio: precipitación, velocidad del viento y temperatura, luego se construye los siguientes casos:

#### **a) Para la variable precipitación del 2001 al 2021**

La ecuación que se obtiene del ajuste la recta de regresión lineal que es:

$$y = 0,6511x - 2,717$$

de donde  $k = 0,651100$  que es el parámetro de forma para precipitaciones y  $b = -2,717$  que es el punto de corte con el eje Y. Como  $c = e^{\frac{b}{k}}$  y operando se obtiene  $c = 64,905872$  que es el parámetro de escala para precipitaciones.

Asimismo, media o promedio, la varianza, la desviación estándar y coeficiente de variación de la distribución de Weibull, respectivamente son:

$$\bar{P} = 88,513172, \sigma^2 = 19845,14729, \sigma = 140,8728 \text{ y } CV = 159,15\%$$

De la recta de regresión, se han encontrado el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente tabla:

Pendiente (k)	Intercepto (b)	r	r <sup>2</sup>
0,651100	-2,717	0,9844	0,9691

**b) Para la variable velocidad del viento del 2001 al 2021**

La ecuación que se obtiene del ajuste la recta de regresión lineal que es:

$$y = 2,3629x + 0,7117$$

de donde  $k = 2,3629$  que es el parámetro de forma para precipitaciones y  $b = 0,7117$  que es el punto de corte con el eje Y. Como  $c = e^{\frac{b}{k}}$  y operando se obtiene  $c = 0,7399$  que es el parámetro de escala para precipitaciones.

Asimismo, media o promedio, la varianza, la desviación estándar y coeficiente de variación de la distribución de Weibull, respectivamente, son:

$$\bar{V} = 0,655759, \sigma^2 = 0,087107, \sigma = 0,295139 \text{ y } CV = 45,01\%$$

De la recta de regresión, se encontró el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente tabla:

Pendiente (k)	Intercepto (b)	r	$r^2$
0,651100	0,7117	0,97417	0,949

c) Para la variable Temperatura del 2001 al 2021

La ecuación que se obtiene del ajuste la recta de regresión lineal que es:

$$y = 11,233x - 28,846$$

de donde  $k = 11,233$  que es el parámetro de forma para precipitaciones y  $b = -28,846$  que es el punto de corte con el eje Y. Como  $c = e^{-\frac{b}{k}}$  y operando se obtiene  $c = 13,0392$  que es el parámetro de escala para precipitaciones.

Asimismo, media o promedio, la varianza, la desviación estándar y coeficiente de variación de la distribución de Weibull, respectivamente, son:

$$\bar{V} = 12,463883, \sigma^2 = 1,804344, \sigma = 1,343259 \text{ y } CV = 10.78\%$$

De la recta de regresión, se encontró el coeficiente de coincidencia,  $r$ , y el coeficiente de determinación,  $r^2$ , que constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión, con la información expresada en la siguiente tabla:

Pendiente (k)	Intercepto (b)	r	$r^2$
11,233	-28,846	0,99146	0,983

### 5.3.3. Mediante análisis de Series Temporales para variables

Como corolario de la sección 5.1.3 considerando modelo Arima se obtiene el pronóstico para los próximos doce meses de los años 2022 y 2023, para las tres variables.

#### a) Para la variable precipitación del 2001 al 2021

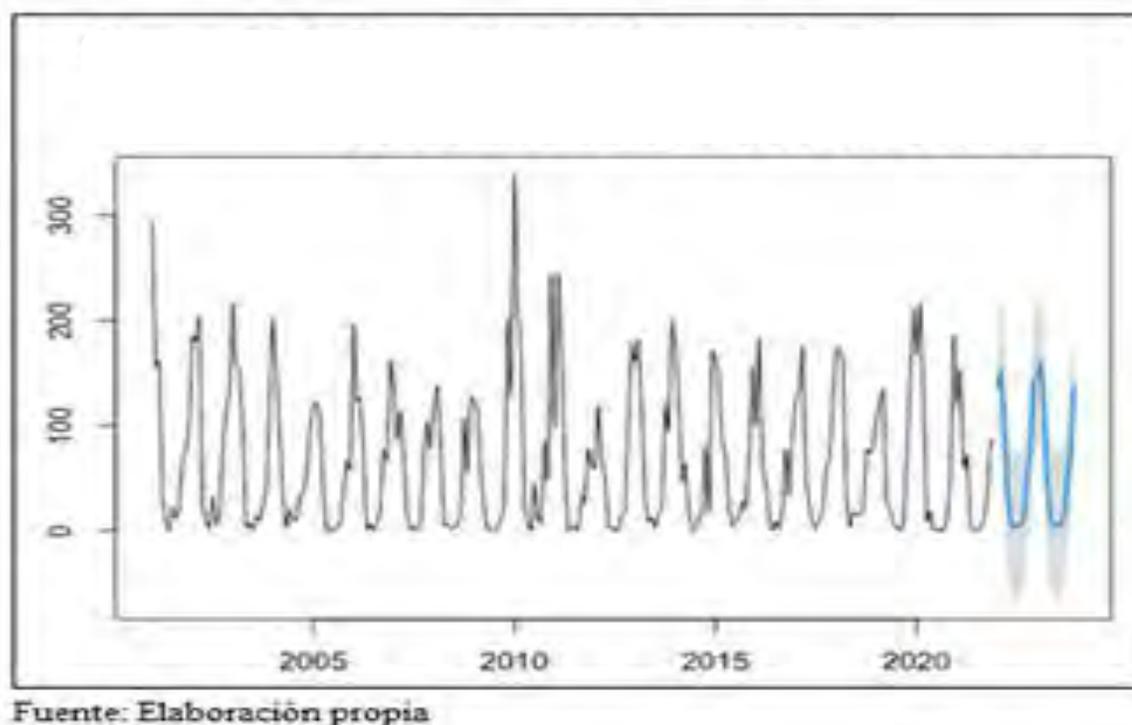
La Tabla 5.8, corroborada al observar la Figura 5.20, ofrece la predicción o el pronóstico de la variable precipitación para los años 2022 y 2023 que aporta el modelo, en la columna “Forecast” se ofrece el pronóstico del tiempo de los dos años seleccionando de 12 meses, junto a esta información, se encuentran los límites inferiores (Lo 80 , Lo 95) y los límites superiores (Hi 80 y Hi 95) de confianza al 80% y 95%, respectivamente de cada predicción:

**Tabla 5.11: Pronostico de la precipitación para los años 2022 al 2023**

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Jan 2022	137.860880	92.816364	182.90540	68.971237	206.75052
Feb 2022	151.822012	106.164973	197.47905	81.995596	221.64843
Mar 2022	112.939401	66.980333	158.89847	42.651072	183.22773
Apr 2022	36.723481	-9.385278	82.83224	-33.793781	107.24074
May 2022	9.345598	-36.837536	55.52873	-61.285410	79.97661
Jun 2022	2.576429	-43.643702	48.79656	-68.111161	73.26402
Jul 2022	5.448984	-40.789560	51.68753	-65.266767	76.16474
Aug 2022	5.656061	-40.591647	51.90377	-65.073705	76.38583
Sep 2022	14.075911	-32.176352	60.32817	-56.660821	84.81264
Oct 2022	54.966312	8.711799	101.22083	-15.773862	125.70649
Nov 2022	76.215947	29.960348	122.47155	5.474113	146.95778
Dec 2022	143.462889	97.206823	189.71896	72.720340	214.20544
Jan 2023	145.899905	99.597578	192.20223	75.086606	216.71320
Feb 2023	158.917497	112.613061	205.22193	88.100974	229.73402
Mar 2023	113.268442	66.962957	159.57393	42.450313	184.08657
Apr 2023	42.676217	-3.629792	88.98223	-28.142712	113.49515
May 2023	11.424862	-34.881407	57.73113	-59.394464	82.24419
Jun 2023	4.025369	-42.281027	50.33177	-66.794153	74.84489
Jul 2023	6.118488	-40.187971	52.42495	-64.701130	76.93811
Aug 2023	6.103404	-40.203082	52.40989	-64.716255	76.92306
Sep 2023	14.206896	-32.099596	60.51339	-56.612772	85.02657
Oct 2023	53.247891	6.941410	99.55437	-17.571760	124.06754
Nov 2023	77.128898	30.822453	123.43534	6.309301	147.94849
Dec 2023	138.944709	92.638341	185.25108	68.125231	209.776419

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.31: Pronóstico de la precipitación para los años 2022 y 2023 (Pronóstico de ARIMA (1, 0, 1) (0, 1, 2) [12])**



**Interpretación de la información:** La Tabla 5.8 ofrece la predicción o el pronóstico de la variable precipitación para los años 2022 y 2023 que aporta el modelo, en la columna “Forecast” se ofrece el pronóstico del tiempo de los dos años seleccionando de 12 meses, junto a esta información, se encuentran los límites inferiores (Lo 80 , Lo 95) y los límites superiores (Hi 80 y Hi 95) de confianza al 80% y 95%, respectivamente de cada predicción. En el año 2022 se ha predicho que la mayor precipitación se debió efectuar en el mes de febrero con un promedio de 151,822012 mm y la menor precipitación se debió efectuar en el mes de junio con un promedio de 2,576429 mm; mientras que para el año 2023 se ha predicho que la mayor precipitación se debió efectuar en el mes de febrero con un promedio de 158,917497 mm y la menor precipitación se debió efectuar en el mes de junio con un promedio de 4,025369 mm.

En los años 2022 y 2023 se predijo que los meses de mayor precipitación en la ciudad del Cusco debió ser en enero, febrero y debe ser en diciembre; mientras que los meses de menor precipitación debió ser en junio, julio y agosto.

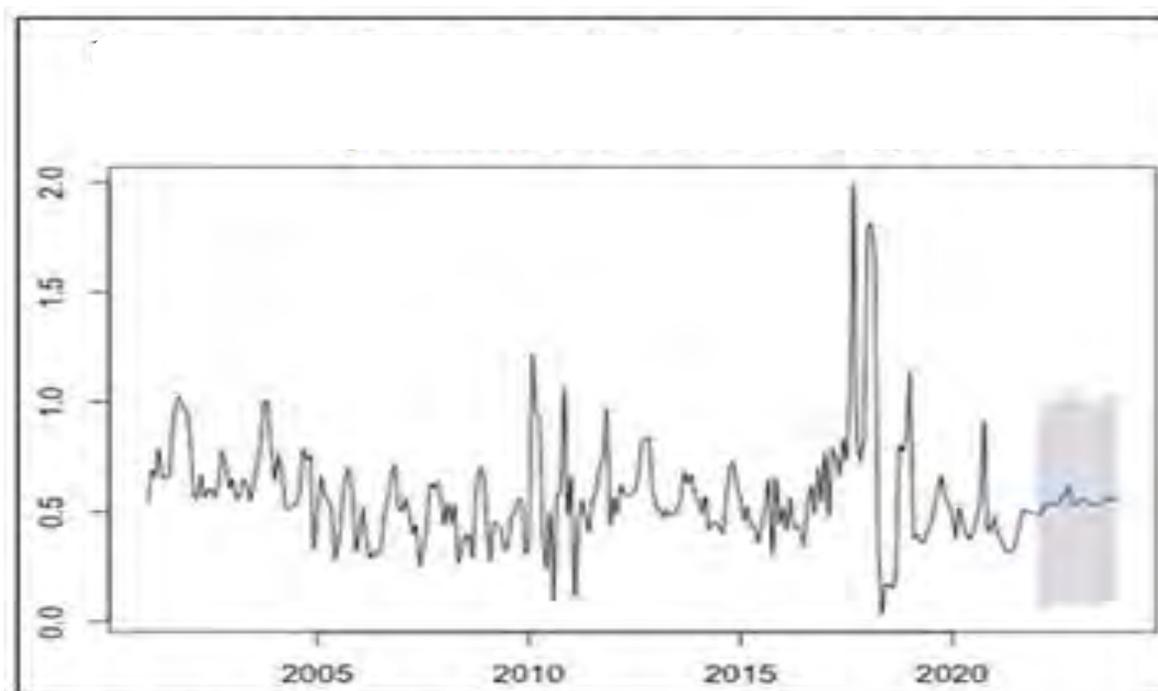
- Información corroborada al observar la Figura 5.31

b) Para la variable Velocidad del viento del 2001 al 2021

La Tabla 5.9, corroborada al observar la Figura 5.25, ofrece la predicción o el pronóstico de la variable velocidad del viento para los años 2022 y 2023 que aporta el modelo, en la columna “Forecast” de los dos años seleccionando de 12 meses, junto a esta información, se encuentran los límites inferiores (Lo 80 , Lo 95) y los límites superiores (Hi 80 y Hi 95) de confianza al 80% y 95%, respectivamente de cada predicción:

**Figura 5.32: Pronóstico de la velocidad del viento para los años 2022 y 2023**

**(Pronóstico de ARIMA (0, 0, 2) (0, 0, 2) [12])**



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.12.: Pronóstico de la velocidad del viento para los años 2022 y 2023

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Jan 2022	0.4874662	0.2400538	0.7348787	0.10908152	0.8658509
Feb 2022	0.4856722	0.1957546	0.7755899	0.04228143	0.9290630
Mar 2022	0.5186033	0.2137930	0.8234137	0.05243610	0.9847705
Apr 2022	0.5398829	0.2350726	0.8446933	0.07371573	1.0060502
May 2022	0.5377020	0.2328917	0.8425124	0.07153480	1.0038692
Jun 2022	0.5304671	0.2256567	0.8352775	0.06429989	0.9966343
Jul 2022	0.5400260	0.2352157	0.8448364	0.07385883	1.0061933
Aug 2022	0.5591015	0.2542911	0.8639118	0.09293425	1.0252687
Sep 2022	0.5846526	0.2798422	0.8894629	0.11848536	1.0508198
Oct 2022	0.6183525	0.3135422	0.9231629	0.15218530	1.0845197
Nov 2022	0.5328071	0.2279967	0.8376174	0.06663984	0.9989743
Dec 2022	0.5331972	0.2283868	0.8380075	0.06702995	0.9993644
Jan 2023	0.5464693	0.2405432	0.8523953	0.07859570	1.0143428
Feb 2023	0.5581459	0.2518046	0.8644872	0.08963730	1.0266545
Mar 2023	0.5502918	0.2437896	0.8567940	0.08153718	1.0190465
Apr 2023	0.5340551	0.2275529	0.8405573	0.06530043	1.0028098
May 2023	0.5313689	0.2248667	0.8378711	0.06261422	1.0001236
Jun 2023	0.5333095	0.2268073	0.8398117	0.06455485	1.0020642
Jul 2023	0.5381833	0.2316811	0.8446855	0.06942865	1.0069380
Aug 2023	0.5499533	0.2434511	0.8564555	0.08119867	1.0187080
Sep 2023	0.5646669	0.2581647	0.8711691	0.09591219	1.0334215
Oct 2023	0.5533330	0.2468308	0.8598352	0.08457837	1.0220877
Nov 2023	0.5640284	0.2575262	0.8705306	0.09527373	1.0327831
Dec 2023	0.5641293	0.2576271	0.8706315	0.09537466	1.0328840

Fuente: Elaboración propia

**Interpretación de la información:** La tabla 5.9 ofrece la predicción o el pronóstico de la variable velocidad del viento para los años 2022 y 2023 que aporta el modelo, en la columna “Forecast” se ofrece el pronóstico del tiempo de los dos años seleccionando de 12 meses, junto a esta información, se encuentran los límites inferiores ( Lo 80 , Lo 95) y los límites superiores (Hi 80 y Hi 95) de confianza al 80% y 95%, respectivamente de cada predicción. En el año 2022 la mayor predicción debió efectuarse en el mes de octubre con un promedio de 0,6183525 m/s y la menor predicción se debió efectuar en el mes de febrero con un

promedio de 0,4856722 m/s; mientras que en el año 2023 la mayor predicción se debió efectuar en el mes de setiembre con un promedio de 0,5646669 m/s y la menor predicción se debió efectuar en el mes de mayo con un promedio de 0,5313689 m/s. En el año 2022 se predijo que los meses de mayor velocidad del viento en la ciudad del Cusco debió ser en agosto, setiembre y octubre; mientras que los meses de menor velocidad del viento debió ser en enero, febrero y marzo; en el año 2023 se predijo que los meses de mayor velocidad del viento en la ciudad del Cusco debió ser en setiembre, noviembre y debe ser en diciembre; mientras que los meses de menor velocidad del viento debeieron ser en abril, mayo y junio. Información corroborada al observar la Figura 5.32.

c) Para la variable Temperatura del 2001 al 2019

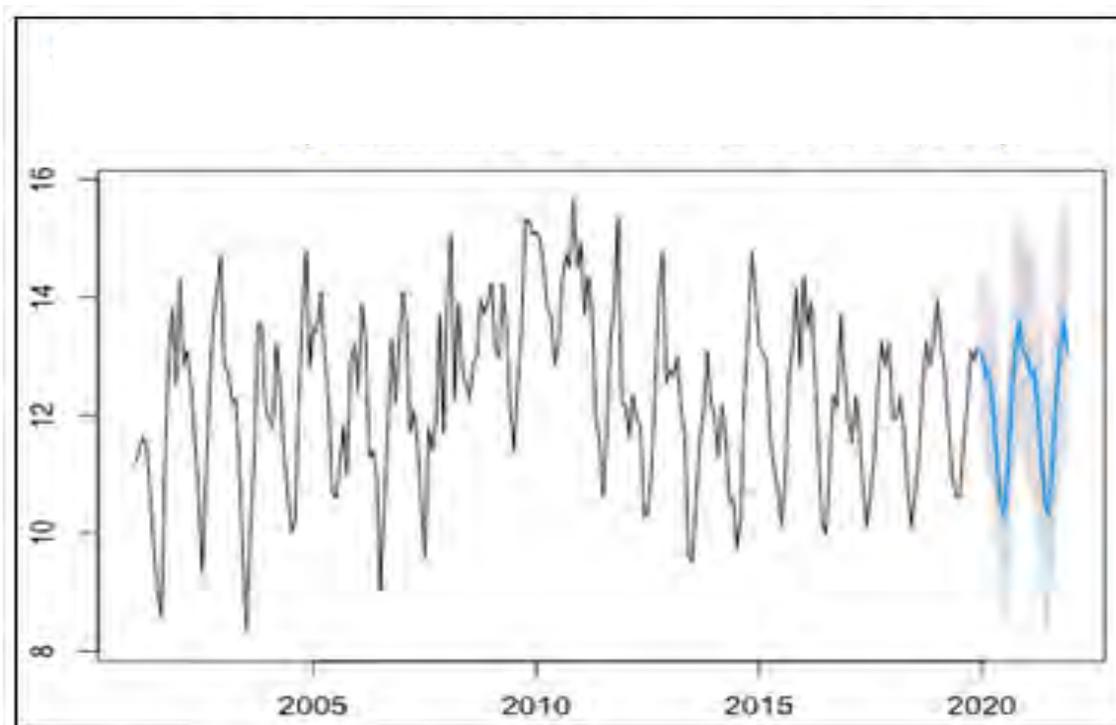
La Tabla 5.10, corroborada al observar la Figura 5.30, ofrece la predicción o el pronóstico de la variable temperatura para los años 2022 y 2023 que aporta el modelo, en la columna “Forecast” de los dos años seleccionando de 12 meses, junto a esta información, se encuentran los límites inferiores (Lo 80, Lo 95) y los límites superiores (Hi 80 y Hi 95) de confianza al 80% y 95%.

Tabla 5.13.: Pronóstico de la temperatura para los años 2020 y 2021

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Jan 2020	13.05861	12.101482	14.01574	11.594810	14.52241
Feb 2020	12.62628	11.574785	13.67777	11.018158	14.23440
Mar 2020	12.72373	11.629047	13.81841	11.049558	14.39790
Apr 2020	12.12047	10.988485	13.25246	10.389248	13.85169
May 2020	11.27033	10.105932	12.43474	9.489534	13.05114
Jun 2020	10.48660	9.293897	11.67931	8.662516	12.31069
Jul 2020	10.26739	9.049878	11.48490	8.405367	12.12941
Aug 2020	11.14988	9.910563	12.38919	9.254509	13.04525
Sep 2020	12.30210	11.043568	13.56063	10.377341	14.22686
Oct 2020	13.09838	11.822874	14.37388	11.147663	15.04909
Nov 2020	13.60767	12.317153	14.89819	11.633994	15.58135
Dec 2020	13.02901	11.725199	14.33283	11.035003	15.02302
Jan 2021	13.04876	11.710625	14.38689	11.002261	15.09525
Feb 2021	12.66736	11.310665	14.02405	10.592475	14.74224
Mar 2021	12.76262	11.391611	14.13362	10.665845	14.85939
Apr 2021	12.15729	10.773583	13.54100	10.041093	14.27349
May 2021	11.30519	9.910204	12.70018	9.171742	13.43864
Jun 2021	10.51960	9.114584	11.92462	8.370811	12.66839
Jul 2021	10.29863	8.884684	11.71258	8.136187	12.46107
Aug 2021	11.17946	9.757561	12.60135	9.004856	13.35406
Sep 2021	12.33010	10.901126	13.75908	10.144672	14.51553
Oct 2021	13.12489	11.689600	14.56018	10.929805	15.31997
Nov 2021	13.63277	12.191855	15.07369	11.429081	15.83646
Dec 2021	13.05277	11.606851	14.49870	10.841425	15.26412

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.33.: Pronóstico de la temperatura para los años 2020 y 2021 (Pronóstico de ARIMA (0, 0, 2) (0, 0, 2) [12])**



**Fuente:** Elaboración propia

**Interpretación de la información:** La tabla 5.10 ofrece la predicción o el pronóstico de la variable temperatura para los años 2020 y 2021 que aporta el modelo, en la columna “Forecast” se ofrece el pronóstico del tiempo de los dos años seleccionando de 12 meses, junto a esta información, se encuentran los límites inferiores ( Lo 80 , Lo 95) y los límites superiores (Hi 80 y Hi 95) de confianza al 80% y 95%, respectivamente de cada predicción. En el año 2020 la mayor predicción se debió efectuar en el mes de noviembre con un promedio de 13,09838°C y la menor predicción se debió efectuar en el mes de julio con un promedio de 10,26739°C; mientras que en el año 2021 la mayor predicción se debió efectuar en el mes de noviembre con un promedio de 13,63277°C y la menor predicción se debió efectuar en el mes de julio con un promedio de 10,29863°C.

En el año 2020 se predice que los meses de mayor temperatura en la ciudad del Cusco debieron ser en enero, octubre y noviembre; mientras que los meses de menor temperatura debieron ser en mayo, junio y julio; en el año 2023 se predijo que los meses de mayor temperatura en la ciudad del Cusco debieron ser en octubre, noviembre y debe ser en diciembre; mientras que los meses de menor temperatura debieron ser en junio, julio y agosto. Información corroborada al observar la Figura 5.33.

#### **5.3.4. *Mediante análisis de correlación para variables***

El coeficiente de correlación utilizado para el presente proyecto es el de Pearson, que es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente del mismo número de datos, sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Para este objetivo se examina correlación del 2001 al 2021 sólo para el caso de precipitación entre velocidad del viento y para el caso del 2001 al 2019 para el caso de precipitación entre velocidad del viento entre temperatura y precipitación entre temperatura, porque temperatura carece de información de los años 2020 y 2021.

##### **a. *Correlación entre Precipitación y Velocidad del viento del 2001 al 2021***

Puesto que el coeficiente de correlación es 0,1553 es positivo y muy alejado de 1 y el coeficiente de determinación es  $R^2 = r^2 = 0,0241 = 2,41\%$  y que constituye una prueba de bondad de ajuste de bajo porcentaje, por lo que se induce a que existe muy poca correlación de estas dos variables: precipitación y velocidad del viento.

**b. Correlación entre velocidad del viento y temperatura del 2001 al 2019**

Puesto que el coeficiente de correlación es 0,1651 es positivo y muy alejado de 1 y el coeficiente de determinación es  $R^2 = r^2 = 0,0273 = 2,73\%$  y que constituye una prueba de bondad de ajuste de bajo porcentaje, por lo que se induce a que existe muy poca correlación de estas dos variables: velocidad del viento y temperatura.

**c. Correlación entre precipitación y temperatura del 2001 al 2019**

Puesto que el coeficiente de correlación es 0,4689 es positivo e intermedio a 1 y el coeficiente de determinación es  $R^2 = r^2 = 0,2198 = 21,98\%$  y que constituye una prueba de bondad de ajuste de regular porcentaje, por lo que se induce a que existe regular correlación de estas dos variables: precipitación y temperatura.

## CONCLUSIONES

- 1.- Mediante la descripción del análisis básico descriptivo la media aritmética de los veinte años de estudio del 2001 al 2021, de las variables de estudio del conjunto de datos proporcionado por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco son:
  - Mayor precipitación en el mes de enero con media 161,30 mm y menor precipitación en el mes junio con media 4,20 mm
  - Mayor velocidad del viento en el mes de noviembre con media 0,73 m/s y menor velocidad del viento en el mes junio con media 0,42 m/s.
  - Mayor temperatura en el mes de noviembre con media 13, 90° C y menor temperatura en el mes junio con media 10,26°C.
- 2.- De la evaluación del análisis e interpretación mediante la función de distribución de la densidad de Weibull para las tres variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), se concluye que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.
- 3.- De la evaluación del análisis e interpretación mediante la función de distribución de la densidad de Weibull para las tres variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad de Cusco durante el periodo 2001-2021, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), se concluye que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

- 4.- Luego de modelar los registros históricos de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 mediante series temporales usan el modelo ARIMA se llegó a obtener el pronóstico para precipitación, velocidad del viento para los años 2022 y 2023 y para temperatura para los años 2021 y 2022, mediante los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).
- 5.- El nivel de correlación lineal es positivo y de muy poca correlación entre las tres variables de estudio en la ciudad del Cusco desde 2001 al 2019; es decir, caso de precipitación vs velocidad del viento, para la correlación entre precipitación vs temperatura y velocidad del viento vs temperatura es positiva y de muy poca correlación.
- 6.- Los coeficientes de variación (CV) respecto a la dispersión representativa de promedio de la media de los datos a lo largo de los años del 2001 al 2021 para la variables de estudio son:
  - El coeficiente de variación (CV) de precipitación es relativamente homogénea o cuasi representativa.
  - El coeficiente de variación (CV) de velocidad del viento es relativamente homogénea o cuasi representativa.
  - El coeficiente de variación (CV) de temperatura es homogénea o representativa.
- 7.- De los datos proporcionado por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco referente a la mayor o menor incidencia pronosticada para las tres variables de estudio, para los años 2022 y 2023 en la ciudad del Cusco son:
  - Mayor precipitación en los años 2022 y 2023, en los meses de enero, febrero y diciembre, y menor precipitación en los años 2022 y 2023 y meses junio, julio y agosto.
  - Mayor velocidad del viento en el año 2022, en los meses agosto, setiembre y octubre y en el año 2023, en los meses setiembre, noviembre y diciembre, y menor velocidad del viento

en el año 2022 en los meses enero, febrero y marzo, en el año 2023 en los meses abril, mayo y junio.

- Mayor temperatura en el año 2020 en los meses enero, octubre y noviembre, en el año 2023 en los meses octubre, noviembre y diciembre. Menos temperatura en el año 2020 en los meses mayo, junio y julio; en el año 2023 en los meses junio, julio y agosto.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Los resultados obtenidos en la presente investigación, son una base para futuras investigaciones que puedan realizar en la ciudad del Cusco, tomando en cuenta que estos cambios de comportamiento y patrones para una posible predicción pueden cambiar significativamente dependiendo del lugar y los puntos de obtención de los datos.
- 2.- Se recomienda realizar similares estudios, con datos meteorológicos de estaciones ubicadas en otras áreas geográficas propiciadas por instituciones públicas, privadas y sectores involucrados en el manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos a cambio climático, para tener una idea más amplia del cambio climático en la ciudad del Cusco.
- 3.- Se recomienda, tener en cuenta para futuros investigaciones en este campo de la meteorología y monitoreo ambiental se realice otros trabajos similares utilizando la distribución de Weibull, que es el modelo estadístico ampliamente utilizado en muchas aplicaciones desde el pronóstico del tiempo hasta análisis de ingeniería con tamaños de muestras muy pequeños.
- 4.- Para los registros históricos y datos climatológicos captados por el Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) se sugiere registrar los datos con mayor exactitud en las mediciones realizadas y realizar mantenimientos preventivos para que la información este actualizada y brinde apoyo a distintos tipos de proyecto, grupos de investigación, consultores ambientales y en general personas o entidades que necesiten información actual o registros históricos.
- 5.- Se recomienda a las Autoridades de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, trasladar las instalaciones del Observatorio Meteorológico a un lugar muy aparente fuera de la ciudad universitaria de Perayoc, por cuanto este local está dentro de edificaciones altas debido al crecimiento urbano, lo que dificulta información captación real de los datos meteorológicos. Asimismo, dotar de mayor presupuesto a fin de modernizar el mobiliario con equipos meteorológicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albitres Infantes, J. J., Salinas Flores, L. E., Herrera Vega, H. A., Bazan Bautista, R. E., & Agüero Flores, J. A. (s.f.). Actitud hacia el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza en docentes universitarios en el contexto de la COVID-19. *revista Innova Educación* , 3(2). doi: <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.02.009>
- Agudelo Yopez, D. C., & Barraza Coronell, W. D. (2014). *Diseño de un modelo estadístico de estimación de la radiación solar con parámetro meteorológico alternativos para el distrito de Barranquilla*. Universidad de la Costa. Barranquilla: Universidad de la Costa.
- Aguilar Lima, J. C. (2017). *Análisis de tendencias de temperatura y precipitación npluvial en la cuenca del rio ilave*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arellano Alvarez, S. I., Cardenas Rodriguez, D., & Gonzales Jimenez, A. (s.f.). *RPubs by RStudio*. Obtenido de Pronóstico de ventas con la función auto.arima en RStudio.: [https://rpubs.com/sergioarellano1985/pronosticodeventasconlafuncionautoarimatrabajofinaldelamateriametodoscuantitativos2020\\_1](https://rpubs.com/sergioarellano1985/pronosticodeventasconlafuncionautoarimatrabajofinaldelamateriametodoscuantitativos2020_1)
- Aucahuasi Almidón, A. S. (2019). *Análisis de tendencias de precipitación y temperatura (1970–2017) en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Puerto Maldonado: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Ayllon, T. (2003). *Elementos de meteorología y climatología* (Segunda ed.). La Ciudad de México: Trillas.
- Cambio, C. d. (24 de Octubre de 2014). Perú es tercer país más vulnerable del mundo al cambio climático. (P. U. Perú, Ed.) *Clima de cambio PUCP*, 01. Recuperado el 02 de Abril de 2022, de [climadecambios@pucp.edu.pe](mailto:climadecambios@pucp.edu.pe)
- Chatfield, C. (2003). *The analysis of time serie: An introduction* (6a ed.). Boca Raton, Florida: Chapman and Hall/CRC.

- Dougherty, R. L., Edelman, A., & Hyman, J. M. (1989). Nonnegativity-, Monotonicity-, or Convexity-Preserving Cubic and Quintic Hermite Interpolation. *Mathematics of Computation*, 471-494.
- Duran Martinez, G., Rojas Díaz, M., & Pérez Rivas, G. (2008). Metodología para el análisis de datos climáticos en la provincia Holguín. *Ciencias Holguín*, XIV(3), 9. Obtenido de revista@ciget.holguin.inf.cu
- Escobar Baccaro, D. F. (08 de Setiembre de 2012). *Análisis entre variables meteorológicas*. Obtenido de DEBconsulting: [https://debconsulting.weebly.com/uploads/8/7/4/0/8740962/analisis\\_entre\\_variables\\_meteorologicas.docx](https://debconsulting.weebly.com/uploads/8/7/4/0/8740962/analisis_entre_variables_meteorologicas.docx)
- Galarza Galarza, D. P. (2016). *Evaluación meteorológica de la cuenca del río Machangara*. Universidad Cuenca. Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Gallegos Londoña, C. M., García Mora, F. A., & Caicedo Benavides, F. U. (2022). Aplicaciones de la distribución de Weibull en el estudio de la fiabilidad. *Artículo de Investigación Científica y Tecnológica*, 5(3), 48-67. doi: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2203>
- Guadalupe Baylón, N. K. (2014). *Análisis de las variables meteorológicas temperatura y precipitación y su influencia en los aspectos socioambientales en la provincia de Coronel Portillo, Ucayali*. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Herrera Novoa, C. (s.f.). Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución. (U. d. Ciencias, Ed.) *Grupo de Contaminación Atmosférica*, 20-21. doi:<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/22939/TFG-G2337.pdf?sequence=1>
- Huere Peña, J. L. (2021). *Patrones de comportamiento de datos meteorológicos mediante técnicas de data mining en Huancavelica 2018 – 2019*. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Hyndman, R. (27 de 02 de 2023). *RDocumentation*. Obtenido de forecast: <https://www.rdocumentation.org/packages/forecast/versions/8.21>

- IPCC. (2014). *Informe de síntesis, Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- IPCC. (2017). *El IPCC y el sexto ciclo de evaluación Suiza*. Ginebra-Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- Jacome Vergaray, G. C. (2018). *Índices de extremos climáticos de lluvia y temperatura en la cuenca del Mantaro – Perú utilizando el modelo wrf (1981–2065)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Kleiber, C., & Zeileis, A. (2008). *Econometría aplicada con R*. Nueva York: Springer Link. doi:<https://doi.org/10.1007/978-0-387-77318-6>
- Lopez V, E. A. (2005). *Análisis estadístico de variables climatológicas para el pronóstico del tiempo*. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes.
- López V., E. A. (2005). *Análisis estadístico de variables climatológicas para el pronóstico del tiempo*. Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes. Recuperado el 04 de Abril de 2022, de <http://bdigital.ula.ve>
- Martinez Bencardino, C. (2007). *Estadística Aplicada* (3ra ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones. doi:[https://www.academia.edu/39626323/Estad%C3%ADstica\\_b%C3%A1sica\\_aplicada\\_Ciro\\_Mart%C3%ADnez\\_3ED](https://www.academia.edu/39626323/Estad%C3%ADstica_b%C3%A1sica_aplicada_Ciro_Mart%C3%ADnez_3ED)
- Marulanda L, C. (s.f.). *Finanzas One*. Obtenido de Sobre Finanzas Zone: <https://finanzaszone.com/analisis-y-prediccion-de-series-temporales-con-r-iii-autocorrelacion/>
- Marzo Artigas, J. (2016). *Análisis de las influencias del cambio climático en las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Matlalcuatzi Rugerio, F. D. (2006). *Análisis espectral de series temporales de temperaturas y su aplicación al estudio de su comportamiento en una red de observatorios meteorológicos*. Universidad Nacional Autónoma de México. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Mauricio, J. A. (11 de 11 de 2013). *Universidad Complutense Madrid*. Obtenido de Introducción al Análisis de Series Temporales: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-11-JAM-IASST-Libro.pdf>
- Morales-Oñate, V. (02 de 06 de 2022). *Bookdown*. Obtenido de Series de Tiempo: [https://bookdown.org/victor\\_morales/SeriesdeTiempo/](https://bookdown.org/victor_morales/SeriesdeTiempo/)
- OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas-OMM-N° 100*. Ginebra-Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2018). *Estado de clima 2017: condiciones meteorológicas extremas y efectos devastadores*. Ginebra-Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Oñate Valdivieso, F., & Bosque Sendra, J. (2011). Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudios Geográficos, LXXII*, 147-172. doi:10.3989/estgeogr.201107
- Ortuño Lorente, J. M., Ramos Mora, J. A., & Senent Núñez, J. C. (2017/2018). Modelo ARIMA. *Universidad Miguel Hernández de Elche*. doi:[https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/384039\\_cc37e393f643455bb01ad4b392a081bd.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/384039_cc37e393f643455bb01ad4b392a081bd.html)
- Palacio Palacio, L. H. (Marzo de 2016). Revista PREDICTIVA21. *Cálculo de los parámetros de la distribución de Weibull(14), Año 2, N° 14, Marzo 2016, 70*. (PREDICTIVA21, Ed.) Querétaro, Ciudad de México, México: Revista PREDICTIVA21. Recuperado el 22 de Enero de 2013, de PREDICTIVA21: <https://predictiva21.com/parametros-distribucion-weibull/>
- Peñam Cáceres, O. J. (2019). *Sistema de información de miniestación meteorológica para la captura de datos de temperatura, humedad y presión atmosférica- centro de operaciones de emergencia Regional-Piura*. Universidad Nacional de Piura. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Ramos Marca, N. E. (2013). *Análisis de tendencias espacio temporales de precipitación y temperatura en décadas recientes en la Cuenca Ramis*. Universidad Nacional del Altiplano Puno. Puno: Universidad Nacional del Altiplano Puno.

- Reyes, V. M. (Abril de 2016). Iniciación a la meteorología y climatología. *Revista de Investigación*, 40(87), 295-298. Recuperado el 05 de Abril de 2026, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142016000100013](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000100013)
- Rodríguez Jiménez, R. M., Benito Capa, Á., & Portela Lozano, A. (2004). Meteorología y climatología. (F. (. Tecnología), Ed.) *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología*, 170. Recuperado el 03 de Abril de 2022, de <https://www.fecyt.es>
- Steffen Moritz, R. H. (12 de 12 de 2022). *RDocumentation*. Obtenido de imputeTS (versión 3.3): [https://www.rdocumentation.org/packages/imputeTS/versions/3.3/topics/na\\_interpolation](https://www.rdocumentation.org/packages/imputeTS/versions/3.3/topics/na_interpolation)
- Uriel Jimenez, E., & Peiro Gimenez, A. (1995). Introducción al análisis de series temporales. *Ediciones Paraninfo S.A.*  
doi:<https://www.paraninfo.es/catalogo/9788472881341/introduccion-al-analisis-de-series-temporales>
- Venegas Zapata María Sheila. (2020). *Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios en el periodo 2006-2018 para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Andina Simón Bolívar. Distrito Metropolitano de Quino: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Villaroel Jimenez, C. P. (2013). *Eventos Extremos de Precipitación y Temperatura en Chile: Proyecciones para fines del Siglo XXI*. Universidad de Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Wold, H. (1973). "Nonlinear Iterative Partial Least Squares" (NIPALS) Modelling: Some Current Developments". New York: Academic Press: Academic Press.

## PÁGINAS WEB VISITADAS

1. <https://aleph.org.mx/que-es-la-climatologia-y-su-importancia>: ¿Qué es la climatología y su importancia?<https://www.euroinnova.pe/blog/que-estudia-la-climatologia>: Descubre aquí todo lo que necesitas saber sobre qué estudia la climatología
2. [https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-gases-de-efecto-invernadero/?gclid=CjwKCAjwu\\_mSBhAYEiwA5BBmf-sMtMGsWfSonX-ijy0Ihk7v0eF9AQMBtRD4Y1nH-XA9hM7](https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-gases-de-efecto-invernadero/?gclid=CjwKCAjwu_mSBhAYEiwA5BBmf-sMtMGsWfSonX-ijy0Ihk7v0eF9AQMBtRD4Y1nH-XA9hM7): Los gases de efecto invernadero, muy peligrosos para nuestro planeta.
3. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000601301](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601301): Estación meteorológica convencional *versus* automática sus diferencias evaluadas con índices estadísticos Chapingo, México.
4. [valeitvo@yahoo.com.mx](mailto:valeitvo@yahoo.com.mx): Meteorología y climatología por Valentín Vásquez
5. <https://doi.org/10.15446/esrj.v22n2.65577>: Serie de Tiempos hidrológicos y meteorológicos estacionales.