

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3193>

Análisis de tendencias de las variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura utilizando weibull en Cusco Durante 2001-2021

Trend analysis of variables: precipitation, wind speed and temperature using weibull in Cusco During 2001 – 2021

Abelardo Huamán Guzmán

abelardo.huaman@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-9126-6151>

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Cusco – Perú

Luz Marina Catunta Guillén

luz.catunta@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0009-1203-6493>

Universidad Nacional de San Antonio Abad – Cusco
Cusco – Perú

Domingo Walter Kehuarucho Cárdenas

domingo.kehwarhucho@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-1009-1618>

Universidad san Antonio Abad del Cusco
Cusco – Perú

Santiago Soncco Tumpi

santiago.soncco@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-4380-7555>

Universidad Nacional de San Antonio Abad
Cusco – Perú

Artículo recibido: 10 de diciembre de 2024. Aceptado para publicación: 26 de diciembre de 2024.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El presente artículo de investigación tiene como objetivo planteado describir el comportamiento de las variables meteorológicas indicadas 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 es el conjunto de datos meteorológicos imputados que corresponden a las variables: precipitación y velocidad del viento con 252 datos y temperatura con 228 datos, obtenida del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) del periodo 2001 al 2021. Para el presente análisis, interpretación y discusión se han considerado los promedios por día de los datos recolectados en intervalos de tiempo, y utilizado desarrollo descriptivo, distribución Weibull, series temporales y correlación de las tres variables. 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 clave: weibull, precipitación, velocidad del viento y temperatura

Abstract

The objective of this research article is to describe the behaviour of the meteorological variables indicated in the city of Cusco during the period 2001-2021. The research presented is of the non-experimental longitudinal type and the design of this research is descriptive. The sample used is the set of imputed meteorological data corresponding to the variables: precipitation and wind speed with 252 data and temperature with 228 data, obtained from the Meteorological Observatory of the National University of San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) from the period 2001 to 2021. For the present analysis, interpretation and discussion we have considered the averages per day of the data collected in time intervals, and used descriptive development, Weibull distribution, time series and correlation of the three variables. The level of linear correlation is positive and of very low correlation in the case of precipitation vs. wind speed in the city of Cusco from 2001 to 2021, as well as for the cases of precipitation vs. temperature and wind speed vs. temperature in the city of Cusco from 2001 to 2019.

Keywords: weibull, precipitation, wind speed and temperature

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Guamán Guzmán, A., Catunta Guillén, L. M., Kehuarucho Cárdenas, D. W., & Soncco Tumpi, S. (2024). Análisis de tendencias de las variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura utilizando weibull en Cusco Durante 2001-2021. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (5), 2702 – 2716. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3193>

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio climático se sitúa como uno de los retos medioambientales más importantes a los que se enfrenta toda la humanidad. No sólo afecta directamente al medio ambiente, sino que también repercute en la salud, la economía y diversas facetas de la sociedad. En Perú, los fenómenos hidrometeorológicos (sequías, lluvias intensas, inundaciones, heladas, granizadas) se han incrementado más de seis veces desde 1997 a 2006, y los eventos climáticos extremos como deslizamientos, inundaciones, heladas y el fenómeno de El Niño se presentan con mayor frecuencia e intensidad.

Perú es la tercera nación más susceptible a nivel mundial, después de Honduras y Bangladesh, a los impactos del cambio climático derivados de la actual crisis de calentamiento global (Cambio, 2014).

Además, es importante señalar que Perú representa el 0,4% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y ocupa el tercer lugar entre los países más vulnerables a las amenazas que plantea el cambio climático.

Es indispensable organizar y generar información sobre las tendencias de las variables climatológicas, como la precipitación y la velocidad del viento, a fin de identificar posibles indicios de cambio climático en la ciudad del Cusco. Este estudio es necesario debido a que no ha sido priorizado en el departamento del Cusco, y es imperativo analizar las tendencias. El estudio abarcará un periodo de 20 años. Por lo tanto, es crucial recopilar información sobre el comportamiento y las tendencias de los elementos climáticos de temperatura, viento y precipitación en la ciudad de Cusco para avanzar en la comprensión del cambio climático a nivel local. Esta información puede facilitar el desarrollo y diseño de estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático como instrumentos de 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 alcanzar este objetivo, se analizarán e interpretarán descriptivamente las variables meteorológicas investigadas. Posteriormente, se examinará la función de densidad de Weibull para determinar si los valores de las variables meteorológicas investigadas reflejan el comportamiento de las muestras. Las series temporales se analizarán e interpretarán para generar una previsión para los años 2022 y 2023 utilizando el modelo ARIMA. El estudio concluirá con el examen de la correlación entre las tres variables investigadas.

La región de Cuzco, situada en los Andes peruanos, se enfrenta a diversos retos a pesar de su rica diversidad medioambiental, social y cultural. En su día fue el centro urbano más importante del Imperio del Tahuantinsuyo, fundado por el Inca Manco Cápac, y ostenta la distinción de Patrimonio Cultural de la Nación.

Los datos y pronósticos climáticos sustentan la toma de decisiones en salud pública, gestión de riesgos, agricultura, pesca, gestión del agua, turismo, transporte y energía, por lo que estos sectores requieren de información científicamente fundamentada para planificar eficazmente sus operaciones, evaluar los rendimientos hídricos, desarrollar predicciones de crecidas de ríos, diseñar sistemas hidroeléctricos y de riego, analizar el abastecimiento de agua potable e industrial e implementar medidas de control de inundaciones, entre otras actividades. En base a la disponibilidad y confiabilidad de esta información para la ciudad del Cusco, se recomienda el siguiente propósito; Analizar el comportamiento de las variables meteorológicas -precipitación, velocidad del viento y temperatura- en el Cusco desde el año 2001 al 2021, utilizando registros históricos y datos climatológicos obtenidos del Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

El objetivo de la investigación fue 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).

Los fenómenos medioambientales adversos (epidemias, proliferación de insectos, etc.) y las catástrofes naturales asociadas a fenómenos meteorológicos extremos provocan importantes pérdidas económicas y, en algunos casos, la pérdida de vidas humanas. Tanto las anomalías meteorológicas importantes como los sucesos menos críticos contribuyen a la propagación de epidemias que afectan a plantas, animales y poblaciones humanas. Por lo general, estas catástrofes son difíciles de modelizar y prever; sin embargo, sin datos que corroboren los posibles modelos físicos o metodologías de resolución de problemas, su comprensión se hace casi imposible.

El análisis del comportamiento de las variables meteorológicas se basa en la comprensión de intrincados procesos meteorológicos, lo que requiere un enfoque multidisciplinar, junto con el uso de datos de alta calidad con una resolución temporal y geográfica adecuada.

En nuestro país, los investigadores se enfrentan a importantes dificultades para acceder a los datos meteorológicos (temperatura, viento, precipitaciones) y difundirlos.

La escasa información se almacena en su mayor parte sin clasificar y mediante métodos manuales (formularios archivados en papel), lo que dificulta y hace inviable la organización automatizada.

El Observatorio Meteorológico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, hasta ahora inutilizado para este tipo de estudios, servirá de base para una base de datos de variables meteorológicas (temperatura, viento y precipitación) que abarca desde 2001 hasta 2021. La precipitación es la etapa del ciclo hidrológico caracterizada por el descenso del agua desde la atmósfera hasta la superficie terrestre.

La precipitación se produce como resultado de la condensación, concretamente a través de la acumulación de vapor de agua atmosférico que facilita la formación de nubes. Las nubes están formadas por minúsculas gotitas influidas por dos fuerzas: el arrastre ascendente del aire y el peso de la gotita. Cuando una gotita alcanza un tamaño suficiente para superar la fuerza de arrastre, desciende hasta el suelo, dando lugar a las precipitaciones. Rodríguez et al. (2004) afirman que cuando las nubes acumulan una cantidad importante de vapor de agua, el peso de las gotas provoca precipitaciones. Este fenómeno se denomina a veces precipitación atmosférica o precipitación pluvial. La precipitación es un punto central de la meteorología debido a su importancia en el análisis de los fenómenos climáticos y atmosféricos.

Las formas de precipitación, clasificadas en función de la temperatura del aire, pueden llegar a la superficie en estado líquido o sólido, e incluyen las siguientes:

Lluvias: Se trata de precipitaciones líquidas, que fluctúan en función del tamaño de las gotas y de la fuerza de su descenso.

Llovizna: tipo de precipitación caracterizada por gotas diminutas que caen suavemente.

Los chubascos o aguaceros: son precipitaciones breves e intensas.

Granizo: Precipitación sólida formada por esferas heladas de agua de tamaño variable.

La nieve: está formada por cristales microscópicos o copos de agua congelada. Esto ocurre cuando la temperatura se aproxima a los 0 grados centígrados, lo que provoca que el agua pase de estado líquido a sólido por solidificación.

La precipitación es el punto focal de la meteorología debido a su importancia en el análisis de los fenómenos climáticos y atmosféricos.

Su medición permite determinar la duración de las precipitaciones y cuantificar el agua que llega a la superficie.

La precipitación se mide en milímetros (mm), donde un milímetro corresponde a un litro por metro cuadrado de superficie (l/m²). Estas cifras indican el volumen de precipitación que se ha producido en una región determinada durante un periodo de tiempo determinado.

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

Pluviómetro: Herramienta básica y muy utilizada, es un dispositivo diseñado para recoger y cuantificar las precipitaciones. Se trata de un receptáculo cilíndrico de metal, que incluye una abertura circular en la parte superior que recoge el agua de lluvia, la cual se dirige a través de un embudo a un recipiente cilíndrico conocido como colector graduado, donde se retiene el agua para su medición. El volumen de precipitación se cuantifica en milímetros de altura.

Pluviógrafo: Son pluviómetros que permiten obtener un registro continuo de las caídas de lluvia.

El término viento designa el movimiento del aire resultante de las diferencias de presión atmosférica, en el que influyen las variaciones de temperatura diurnas, la rotación planetaria y la disparidad de temperaturas entre la tierra y las grandes masas de agua, como los mares.

Viento: El término viento designa el movimiento del aire resultante de las diferencias de presión atmosférica, en el que influyen las variaciones de temperatura diurnas, la rotación planetaria y la disparidad de temperatura entre la Tierra y las grandes masas de agua, como los mares.

El viento se define como el movimiento de los gases que se expanden al ser calentados por el sol.

Al expandirse, los gases más calientes alcanzan una densidad menor que los gases más fríos, lo que hace que los gases menos densos (más calientes) asciendan en la atmósfera, mientras que los gases más densos (más fríos) descienden. Este intercambio de posiciones entre los gases atmosféricos genera lo que el ser humano experimenta como viento.

Este estudio detalla muchos tipos de vientos, que resultan del calentamiento desigual de la Tierra y de su rotación.

Los vientos circulan durante todo el año como resultado de las variaciones latitudinales de la presión atmosférica, denominadas vientos planetarios. Comúnmente denominados vientos dominantes, estos vientos se originan desde una dirección singular a través de una región designada 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 definen por su carácter estacional y periódico, carentes de una dirección constante, que puede variar con la época del año e incluso con la hora del día. Las brisas, los ciclones, los monzones y los tornados son tipos de vientos regionales.

Temperatura: La Organización Meteorológica Mundial define la temperatura como la magnitud física que describe el movimiento aleatorio medio de las moléculas en el interior de un cuerpo físico. Para el análisis meteorológico, se registran las temperaturas de diversos medios, siendo la temperatura del aire la variable que se mide con más frecuencia; se trata de la temperatura que muestra un termómetro protegido de la radiación solar directa y expuesto a la atmósfera. Las unidades de medida son el grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) y el grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (OMM, 2010). En la actualidad, la medición de esta variable se realiza con un termómetro de mercurio en vidrio, que puede calibrarse con precisión y utilizarse a temperaturas tan bajas como -39°C , el punto de congelación del mercurio. A temperaturas más bajas, el mercurio suele sustituirse por alcohol.

Las temperaturas máximas y mínimas suelen registrarse durante intervalos determinados, que suelen abarcar 24 horas. La unidad de medida son los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (López V., 2005), y se evalúa mediante termómetros de máximas y mínimas, uno de los instrumentos más antiguos, inventado en 1782 para medir la temperatura atmosférica. Este dispositivo permite determinar las temperaturas ambientales máximas y mínimas, arrojando datos de gran precisión, evitando así pérdidas importantes durante catástrofes naturales. El termohigrógrafo es un instrumento diseñado para medir simultáneamente la humedad y la temperatura del aire. Es utilizado por la Organización Meteorológica Mundial para analizar el clima, buscando la máxima precisión en los datos meteorológicos de cada región.

METODOLOGÍA

El tipo y diseño de la investigación de acuerdo al objetivo es 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. La unidad de estudio de la presente investigación fue 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).

La población del estudio está conformada 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^2 . 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 ; $13^{\circ} 30' 45''$ sur, $71^{\circ} 58' 33''$ oeste. 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).

Así mismo las técnicas de recolección de datos que se utilizó fue 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.

Los resultados de esta 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 han 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.

Tabla 1

Datos por día de las variables Precipitación (PREC), Velocidad del viento (VELO) y Temperatura (TEM)

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	0,4000 0	11,60	Jun-12	3,60	0,5849	10,26
Jul-10	45,30	0,5055	13,21	Jul-11	0,60	0,6000 0	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	

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:

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)

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 periodos 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.)

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.

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.

DISCUSIÓN

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. (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.

(Venegas ZapataMaría 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.

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. 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.

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

CONCLUSIÓN

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 AntonioAbad del Cusco son:

Tabla 2

Media aritmética de las variables de estudio

	Precipitación	Velocidad del viento	Temperatura
--	---------------	----------------------	-------------

Mayor	Enero con media 161,30 mm	Noviembre con media 0,73 m/s	Noviembre con media 13, 90° C
Menor	Junio con media 4,20 mm	Junio con media 0,42 m/s	Junio con media 10,26°C

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 las variables de estudio son:

Tabla 3

Coefficientes de variación (CV)

	Precipitación	Velocidad del viento	Temperatura
Coeficiente de variación (CV)	Es relativamente homogénea o cuasi representativa	Es relativamente homogénea o cuasi representativa	Es homogénea o representativa

Del análisis e interpretación de la distribución de Weibull para las tres variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura se concluye que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

Del análisis e interpretación de las series temporales para las tres variables: precipitación, velocidad del viento y temperatura mediante series temporales en la ciudad del Cusco desde el 2001-2021 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.

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:

Tabla 4

Incidencia pronosticada para las variables de estudio

	Precipitación	Velocidad del viento	Temperatura
Mayor	En los años 2022 y 2023: Enero, febrero y diciembre	En el año 2022: Agosto, septiembre y octubre. En el año 2023: Septiembre, noviembre y diciembre.	En el año 2020: Enero, octubre y noviembre. En el año 2023: octubre, noviembre y diciembre
Menor	En los años 2022 y 2023: Junio, julio y agosto	En el año 2022: Enero, febrero y marzo En el año 2023: Abril, mayo y junio.	En el año 2020: Mayo, junio y julio. En el año 2023: Junio, julio y agosto.

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.

REFERENCIAS

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.

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

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

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>

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>

I

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). Analisis 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-IAST-Libro.pdf>

Morales-Oñate, V. (02 de 06 de 2022). Bookdown. Obtenido de Series de Tiempo: 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: consiciones 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

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

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

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 Quito: 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.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) .