

VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN RELACIÓN A DATOS METEOROLÓGICOS EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA DEL 2005 AL 2020: ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Josue Isac Carrillo Espinoza 

Recibido: 05/09/2021 Revisado: 03/10/2021 Aceptado: 16/11/2021 Publicado: 30/01/2022

Resumen

El objetivo del presente estudio fue realizar una evaluación sobre el cambio climático de la Región de Cajamarca. Para ello se analizó 15 años de data meteorológica (2005-2020) en tres estaciones convencionales con las características necesarias y representativas de la región. Se realizó un análisis de las variables de temperatura y precipitación en un rango de 15 años, a través del proceso de regresión lineal, los datos fueron recogidos de la página oficial del SENAMHI. Los resultados obtenidos muestran un incremento de la temperatura máxima de 1.53, 0.72 y 0.81°C al igual que la temperatura mínima en valores de 0.75, 0.46 y 0.48°C en las estaciones El limón, Cajabamba y Quebrada Shugar respectivamente. Por otra parte, la precipitación disminuyó 0.18mm en la E.M.C. El limón ,1.05mm en la E.M.C. Cajabamba y 2.29 mm en la E.M.C. Quebrada Shugar; lo que conlleva a un escenario de sequías. Así también se encontró una alta correlación de la humedad relativa con respecto a la precipitación, existiendo una dependencia del 51.87% y una relación directa proporcional entre ambas variables. Los efectos de la variabilidad son distintos en cada estación, de acuerdo con las características del medio físico que cada uno presenta, el análisis realizado indica que las provincias más vulnerables en relación a la temperatura es Jaén y en función a la precipitación es Hualgayoc, debido a que en estas regiones se presentan las más altas variaciones climáticas.

Palabras clave: *cambio climático, humedad relativa, precipitación, variabilidad climática, regresión.*

Abstract

The objective of this study was an evaluation of climate change in the Cajamarca Region. For this, 15 years of meteorological data (2005-2020) were analyzed in three conventional stations with the necessary and representative characteristics of the region. An analysis of the temperature and precipitation variables was carried out in a range of 15 years, through the linear regression process, the data collected from the official website of SENAMHI. The results obtained showed an increase in the maximum temperature of 1.53, 0.72 and 0.81°C as well as the minimum temperature in values of 0.75, 0.46 and 0.48°C in the El Limón, Cajabamba and Quebrada Shugar stations respectively. On the other hand, precipitation decreased 0.18mm in the E.M.C. The lemon, 1.05mm in the E.M.C. Cajabamba and 2.29 mm in the E.M.C. Shugar Creek; which entails a scenario of droughts. Thus, a high correlation of relative humidity with respect to precipitation was also found, with a dependency of 51.87% and a direct proportional relationship between both variables. The effects of variability are different in each season, according to the characteristics of the physical environment that each one presents, the analysis carried out indicates that the most vulnerable provinces in relation to temperature is Jaén and based on precipitation is Hualgayoc, due to because in these regions the highest climatic variations occur.

Keywords: *climate change, relative humidity, precipitation, climate variability, tendency.*

Introducción

El cambio climático es actualmente el principal problema ambiental que enfrenta la humanidad. En diferentes años, los valores de las variables climáticas (temperatura, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de los niveles normales. En el mundo, Perú es uno de los 10 países más vulnerables al cambio climático, siendo Piura y Cajamarca las dos regiones del norte con mayores pérdidas económicas por éstos fenómenos (MINAG, 2012), esta situación se da porque es altamente dependiente de sectores primarios sensibles al cambio climático, como la minería, agricultura y la pesca, el bajo nivel de industrialización de estos sectores, sumado al bajo nivel institucional (Dávila Tantaleán, 2014). Russo (2016) define “variabilidad climática” como el rango en que los elementos climáticos varían de un año a otro. Sus causas pueden ser por las variaciones en la órbita terrestre, variación de la radiación del sol, movimientos orogénicos y desplazamientos continentales y vulcanismo (Barros, 2012). Por otro lado, el cambio climático se

define como una modificación del clima duradera y significativa con respecto a un historial climático, tanto a escala regional como global y sobre variados parámetros meteorológicos (Vincenti et al., 1800). Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - CMNUCC lo define como un “cambio identificable del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad climática natural, observada en periodos de tiempo comparables” (Useros, 2013). Las causas que provocan este fenómeno se pueden dividir en dos grupos: naturales (Estrada, 2001) y antropogénicas (Gobierno de Canarias, n.d.).

La probabilidad de que ocurra inundaciones, sequías, heladas o fenómenos geodinámicas externos en el 85% de la región de Cajamarca es alta. Estos fenómenos se consideran peligros potenciales, además se ha determinado que el 74% del territorio tiene un alto grado de peligrosidad, mientras que el 11% es muy alto. (GRC, 2013). Los eventos extremos son uno

de los catástrofes naturales más importantes, responsables directos en la pérdidas de vidas humanas y colapsos económicos (Chevesich & Ph, 2018).

La provincia de Cajamarca incluye dos regiones naturales, la sierra y la Selva, dominando la primera. La altitud del área de Cajamarca se encuentra entre los 400 metros sobre el nivel del mar. (Distrito de Choros-Provincia de Cutervo) y 3550 msnm (Distrito de Chawan - Provincia de Chota). La provincia de Cajamarca suele ser seca, templada, soleada durante el día y fría en la noche. La temperatura fluctúa entre 23° en la costa, 28° en la selva y 4° en la sierra. La temporada de lluvias dura entre varios meses, de diciembre a abril, la precipitación es de 200 a 1500 mm.

Presenta la diversidad de clima, suelo y vegetación, distribuida en cuatro regiones ecológicas (INDECI, 2005).

Según (Weather Spark, 2016) nos informa que la temporada templada dura 3,4 meses, del 1 de diciembre al 14 de marzo, la temperatura máxima diaria promedio supera los 18 ° C. El día más caluroso del año es el 13 de enero, con una temperatura máxima promedio de 19 ° C y una temperatura mínima promedio de 8 ° C. La temporada fresca tiene una duración de 2,0 meses, del 3 de junio al 4 de agosto, la temperatura máxima diaria promedio es inferior a 17 ° C. El día más frío del año es el 17 de julio, con una temperatura mínima promedio de 5 ° C y una temperatura máxima promedio de 16 ° C.

El objetivo del estudio es evaluar el cambio climático en la región de Cajamarca, debido a que los efectos locales de la variabilidad climática en esta región son significativos a través del aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones evaluada en tres estaciones: El limón situada en el distrito de Pomahuaca perteneciente a la provincia de Jaén; seguidamente la estación Cajabamba se encuentra ubicada en el distrito y provincia de Cajabamba y por último, la estación meteorológica Quebrada Shugar localizada en el distrito de Bambamarca provincia de Hualgayoc.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

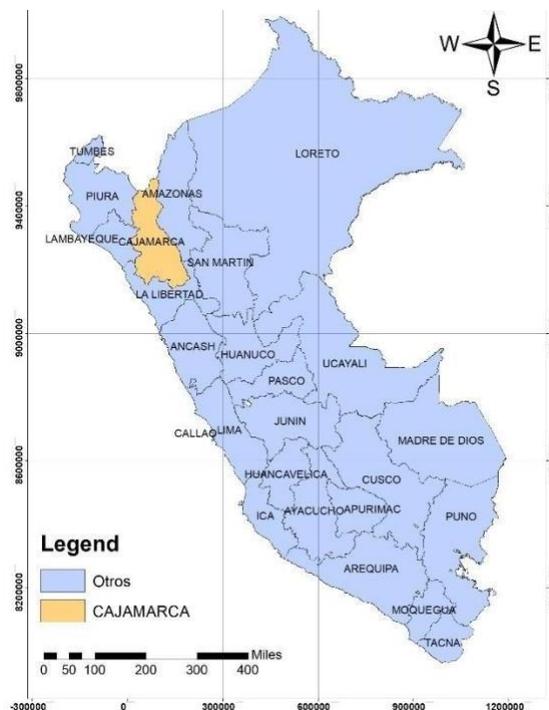
El departamento de Cajamarca se localiza en el noreste del Perú en la parte central y occidental de América del Sur, entre las coordenadas geográficas 4° 37' 39" y 7° 45' 26" de latitud

sur y entre $77^{\circ} 44' 2''$ y los $79^{\circ} 26' 43''$ de longitud oeste (Solís et al., 2017), presenta una superficie de 33 318 Km², que representa el 2,6 por ciento del territorio del país (ver figura 1). Limita por el norte con la República del Ecuador, por el este con el departamento de Amazonas, por el sur con La Libertad y por el oeste con Lambayeque y Piura.

El departamento cajamarquino es atravesado de sur a norte por la cordillera de los Andes por lo que su territorio es muy accidentado.

Figura 1

Ubicación del departamento de Cajamarca en el mapa del Perú. Fuente: Elaboración propia.



Materiales

Imágenes satelitales

Se utilizó la plataforma Google Earth para la obtención de imágenes satelitales de la región de Cajamarca, que posteriormente fueron digitalizadas en el sistema de software ArcGis.

Estaciones meteorológicas

La data meteorológica se obtuvo a través de la página oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Se evaluaron todas las estaciones

meteorológicas convencionales (E.M.C.) teniendo un total de 46 (ver anexo 1). Si bien el SENAMHI proporcionó información sobre este total de estaciones distribuidos en el área de Cajamarca, solo se seleccionaron aquellas que cumplían los requerimientos necesarios para este estudio.

Cabe mencionar que se escogieron intencionalmente 3 estaciones (ver tabla 1), ubicadas en diferentes puntos cardinales: E.M.C. El Limón ubicada en el Norte (ver anexo 2), E.M.C. Cajabamba localizada en el Sur (ver anexo 3) y la E.M.C. Quebrada Shugar que se encuentra en el Centro (ver anexo 4), para así poder analizar el comportamiento del clima en diferentes zonas.

Finalmente, los datos registrados pertenecen desde enero 2005 hasta diciembre 2020, de los cuales se analizaron las variables de humedad relativa (hr), precipitación (p), temperatura máxima (tx) y temperatura mínima (tn).

Análisis de datos mensuales

Se realizaron gráficos de líneas para mostrar la evolución de las variables mencionadas anteriormente en los últimos 15 años. Además, se hizo uso de diagramas de dispersión para mostrar la relación que existe entre la humedad relativa y la precipitación.

Tabla 1

Estaciones meteorológicas con datos diarios seleccionadas para el estudio por contar con las variables requeridas: humedad relativa (hr), precipitación (p), temperatura máxima (tx) y temperatura mínima (tn)

Estación	Código	Latitud	Longitud	Altitud	Desde	Hasta	Rango temporal (años)	Variables meteorológicas
El limón	105057	5°55'4" S	79°19'2" W	1110 msnm	2005	2020	15	hr,p,tx,tn
Cajabamba	107008	7°37'17.99" S	78°3'4.71" W	2625 msnm	2005	2020	15	hr,p,tx,tn
Quebrada Shugar	100113	6°41'16" S	78°27'25" W	2526 msnm	2005	2020	15	hr,p,tx,tn

Estadística Descriptiva

En cada matriz de datos proporcionada por SENAMHI se realizaron promedios anuales para calcular las temperaturas máximas y mínimas, así como los de precipitación y humedad relativa.

Aplicación del método de regresión lineal

Se utilizó el método de regresión lineal con dos series completas, una de cada estación, con datos completos para analizar la tendencia. Posteriormente, se analizó la covarianza para poder definir si la relación es directa o inversa a las variables, además se determinó el coeficiente de correlación para comprobar la intensidad de la relación que existen entre las variables humedad relativa y precipitación.

Resultados y Discusión

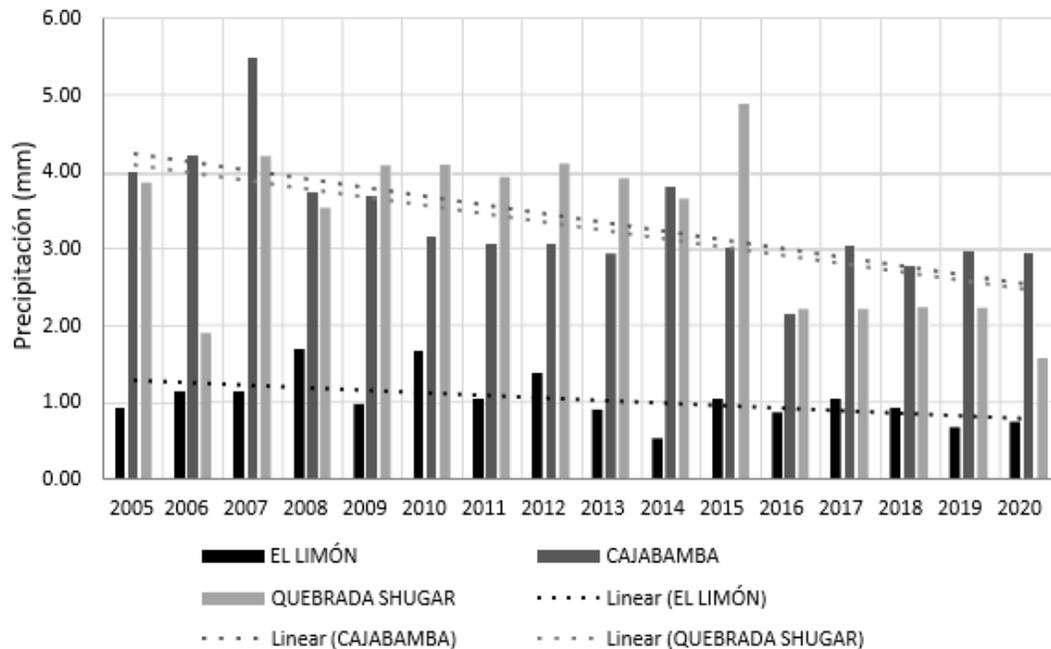
Variación de la precipitación

En la Figura 1, se puede observar los cambios de precipitación en las estaciones de Cajabamba, Quebrada Shugar y El Limón. Durante los 15 años (2005-2020), hubo picos de subida y bajada; dónde los niveles más bajos se registraron en los años 2016, 2014 y 2006 dónde la precipitación tuvo como valores 2,15; 1,89 y 0,52 mm, respectivamente. Los años con picos más altos fueron 2007, 2015 y 2008 con niveles de precipitación de 5,48; 4,87 y 1,69 mm, respectivamente. La línea punteada nos muestra una tendencia negativa de la reducción de las precipitaciones a lo largo de los años, caso confirmado por el estudio de (Mantegna et al., 2017), que concluye que el impacto del cambio climático conlleva a un aumento de sequía.

Se espera que la tasa de precipitación en la estación Cajabamba sea mayor debido a que la precipitación es proporcional a la altitud, a medida que las masas de aire se elevan, se enfriarán y facilitarán la condensación del agua y la producción de lluvia (SENAMHI, 2009). Cajabamba tiene una altitud de 2625 metros, mientras que las estaciones Quebrada Shugar y El Limón tienen una altitud de 2526 metros y 1110 metros respectivamente; el pico de precipitación más alto registrado en 2007 fue de 5,48 mm, el mismo año en la estación Quebrada Shugar se registró en 4,20 mm y en la estación El Limón se registró en 1,15 mm.

Figura 1

Promedio anual de precipitación durante 15 años en tres estaciones ubicadas en la parte norte, sur y centro de la ciudad de Cajamarca



Variación de la Temperatura Máxima

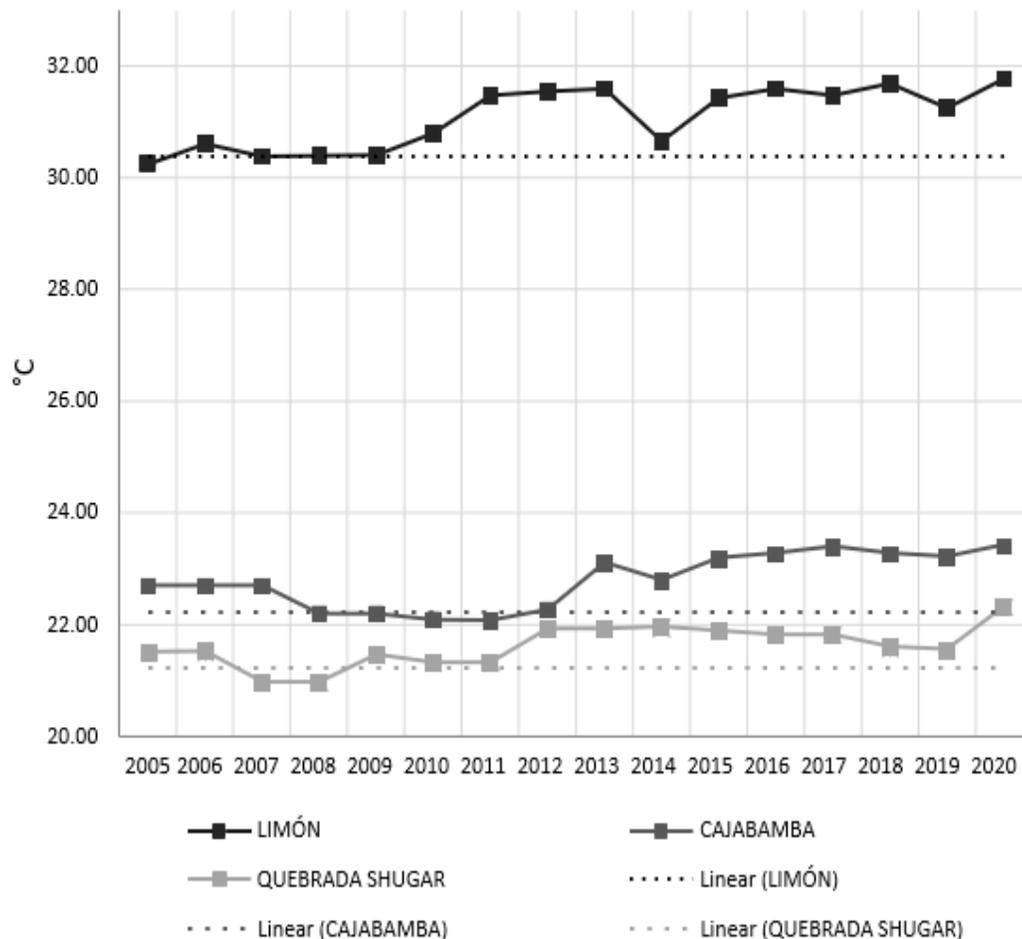
La Figura 2. nos muestra la temperatura máxima promedio anual de las estaciones Cajabamba y Quebrada Shugar, cuyo pico más bajo es 22.07° C en 2011; 21. 50° C en el año 2007 y 30.24° C en el 2005 de la estación El limón.

El pico más alto de las tres estaciones será en 2020, con una temperatura máxima y superior en la estación El limón con 31.77 °C y la menor de las tres está en la estación Quebrada Shugar con

22.32 °C. La línea punteada nos muestra una tendencia positiva, dónde se ve de manera clara el aumento de temperatura máxima, hecho que concuerda con la investigación de (IPCC, 2001) que muestra que, debido al aumento del calentamiento global, el clima ha sufrido cambios abruptos, como el aumento de la temperatura máxima.

Figura 2

Temperatura Máxima anual de las tres estaciones, Cajabamba, Quebrada Shugar y El Limón durante 16 años



Publicaciones en el sitio web Weather Spark, registran que los veranos, donde hay máxima temperatura registrada, en Cajabamba son frescos y nublados por lo cual en el año 2020 se registró una temperatura de 23.4°C y el verano en la estación de Quebrada Shugar son cómodos y nublados

por lo cual en el mismo año se registró 22.32 °C en contraste con la estación de El Limón la cual registra que los veranos son más largos y muy calientes por lo cual se registró una temperatura de 31.77°C. Esta estación siempre registrará máxima temperatura en contraste con las otras dos debido al clima de la localidad dónde se encuentra.

Así mismo, en las 3 estaciones se observa una tendencia que va en aumento año tras año, independientemente de la zona dónde se encuentre. La temperatura aumenta cuándo existe una alta concentración de gases de efecto invernadero (Ambiental, 2019) que son consecuencias de la contaminación ambiental. Este problema ha ido aumentando en los últimos 10 años debido al crecimiento de las actividades mineras, la deforestación con fines comerciales y la mala gestión de los residuos sólidos en la región de Cajamarca. (Castro, 1981).

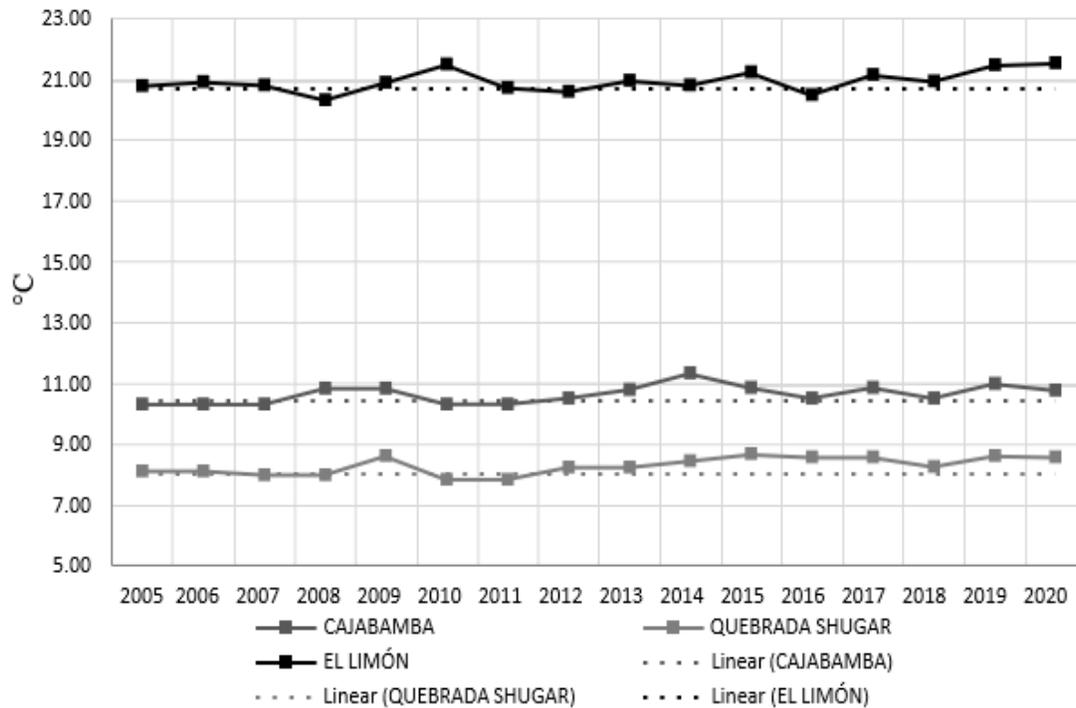
En un estudio realizado por (Rodríguez-Ulloa & Rivera-Jacinto, 2009) demuestra que el 44,5% de la población cajamarquina tiene una gran preocupación frente a la contaminación del aire e inclusive la ciudadanía viene realizando denuncias sobre ésta problemática desde el año 2005 (Castro, 1981).

Variación de la Temperatura Mínima

La figura 3 nos muestra la temperatura promedio mínima anual del año 2005 al 2020 muestran diferencias de ascensos y descensos, representando los valores más bajos para la estación Quebrada Shugar con 7.81°C en el año 2010 y en la estación de Cajabamba se repite tres veces una temperatura mínima de 22.68°C durante tres años consecutivos desde el 2005 hasta el 2007; siendo el 2007 también para la estación El Limón la temperatura más baja durante estos 16 años con un valor de $20,80^{\circ}\text{C}$. La línea de tendencia es ascendente lo que indica que las temperaturas mínimas están siendo mayores con el pasar de los años, lo cual concuerda con la investigación del IPCC (2001) donde indica que a causa del calentamiento global el incremento de las temperaturas mínimas son cada vez mayor.

Figura 3

Temperatura mínima de las estaciones Cajabamba, Quebrada Shugar y El Limón durante un periodo de 16 años



Si bien es cierto existe diferencia de temperatura entre estaciones, no obstante, las 3 tienen algo en común y es que con el pasar de los años la temperatura mínima, tal y como se ve en las líneas de tendencia, ha ido aumentando siendo más notorio en las estaciones de Cajabamba y quebrada Shugar y levemente en la estación de El Limón. Según una investigación realizada por (Solís & Terán, 2017) donde trabajaron con datos climatológicos de 1987-2016 también muestran en sus resultados que en los últimos 30 años la temperatura mínima ha aumentado al igual que el número de años secos (sequías).

Humedad y Precipitación

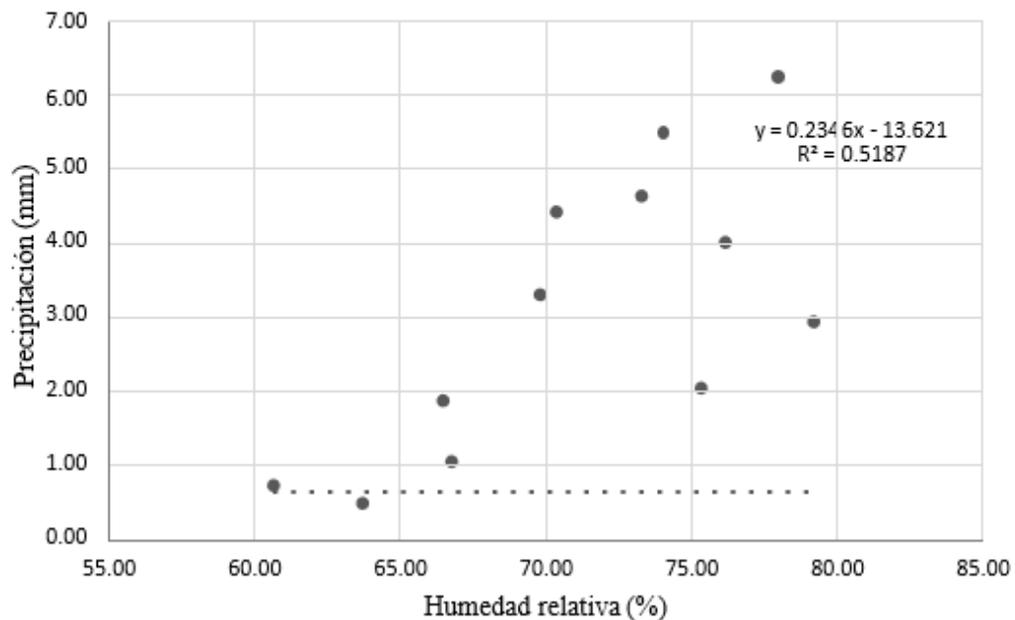
La figura 4 nos ilustra las dos variables, humedad relativa y precipitación de la estación de Cajabamba, se eligió esta estación porque presentaba una humedad relativa máxima de 71,8%, siendo un valor medio entre las estaciones de Quebrada Shugar que contaba con un promedio

máximo de humedad relativa de 87.19% y la estación de El Limón con un promedio máximo de 47,54%.

Analizando el comportamiento de los datos y por medio del coeficiente de correlación de Pearson, se obtuvo el valor de 0.5187. Según (Cohen, 1988) los valores mayores de 0.50 son considerados como una relación alta entre las variables; del gráfico se observa y se comprueba que existe una relación directa proporcional y alta entre ambas.

Figura 4

Relación entre la variable humedad relativa y precipitación con datos promedio mensual durante los últimos 4 años en la estación Cajabamba.



Conclusiones

El promedio anual de datos históricos nos muestra que la temperatura no se ha mantenido estable en el tiempo, sino que los ciclos fríos y cálidos han ido variando como lo muestran los gráficos lineales. Para el periodo de 2005 a 2020 muestra que la temperatura máxima incrementó hasta 1.53, 0.72 y 0.81°C al igual que la temperatura mínima en valores de 0.75, 0.46 y 0.48°C en las estaciones El limón, Cajabamba y Quebrada Shugar respectivamente. Existe una tendencia creciente en ambas variables, lo cual es consistente con el IPCC, que indica que la temperatura mínima está aumentando debido al calentamiento global. Además,

en la última década, la industria minera en Cajamarca ha provocado una gran contaminación en el aire, lo que se ha traducido en un

aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), responsable principal de los cambios bruscos en el clima.

Por otra parte, la precipitación en los últimos 15 años muestra una disminución de 0.18mm en la E.M.C. El limón, 1.05mm en la E.M.C. Cajabamba y 2.29 mm en la E.M.C. Quebrada Shugar; lo que conlleva a un escenario de sequías. Así también se encontró una alta correlación de la humedad relativa con respecto a la precipitación, existiendo una dependencia del 51.87% y una relación directa proporcional entre ambas variables.

Los efectos de la variabilidad son distintos en cada estación, de acuerdo con las características del medio físico que cada uno presenta, el análisis realizado indica que las provincias más vulnerables en relación a la temperatura es Jaén y en función a la precipitación es Hualgayoc, debido a que en estas regiones se presentan las más altas variaciones climáticas.

Referencias

- Barros, D. V. (2012). *Variabilidad climática y sus efectos antropogénicos*.
- Castro, M. (1981). Indicadores Ambientales Cajamarca. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/38985>
- Chevesich, P. G., & Ph, D. (2018). *Eventos extremos y el cambio*.
- Dávila Tantaleán, M. E. (2014). *Convenciones internacionales y acciones nacionales frente al cambio climático*.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNC_267e9f8535a220d494764ecb4f91c39f
- Estrada, M. (2001). Cambio Climático Global, causa y consecuencias. *Revista de Información y Análisis*, 01(16), 7–17. https://www.academia.edu/6789690/Cambio_climático_global_causas_y_consecuencias
- Gobierno de Canarias. (n.d.). *Tema 3. El cambio climático I: Causas*. 1–11. http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/grivveg/files/2012/05/Tema3.El_cambio_climatico_I.Causas.pdf
- GRC. (2013). *Estrategia regional frente al cambio climático de Cajamarca al 2030*.

- INDECI. (2005). *Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca*.
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2001: Informe de síntesis Resúmenes de los Grupos de trabajo Resúmenes de los Grupos de trabajo para responsables de políticas y resúmenes técnicos*.
- Mantegna, G. A., White, C. J., Remenyi, T. A., Corney, S. P., & Fox-Hughes, P. (2017). Simulating sub-daily Intensity-Frequency-Duration curves in Australia using a dynamical high-resolution regional climate model. *Journal of Hydrology*, 554, 277–291. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.025>
- MINAG. (2012). *Plan de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático en el sector agrario*.
- Rodríguez-Ulloa, C., & Rivera-Jacinto, M. (2009). Percepción sobre problemas ambientales en universitarios de ciencias de la salud de Cajamarca. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(1), 126–126. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2009.261.1346>
- Russo, R. (2016). *Causas y efectos de la variabilidad y el cambio climático - Material de enseñanza*. September. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26524.90242>
- SENAMHI. (2009). *Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030*. https://idsep.senamhi.gob.pe/portalidsep/files/tematica/cambio_climatico/Escenarios_climaticos_en_el_Peru_para_el_ano_2030.pdf
- Solís, F. H., Iván, W., & Terán, V. (2017). *Variabilidad climática y ocurrencia de sequías en la región de Cajamarca*.
- Useros, J. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.
- Vincenti, S. S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (1800). *Análisis estadístico de datos meteorológico mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el distrito metropolitano de Quito*. 16(2), 23–47.
- Ambiental, D. G. (11 de Noviembre de 2019). *Gobierno de aragón*. Obtenido de Gobierno de aragón: <https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico>
- Atlas, W. (2016). *Weather Atlas*. Obtenido de Weather Atlas : <https://www.weather-atlas.com/es/peru/cajamarca-clima>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.