

# Análisis de componentes principales para identificar la variabilidad temperaturas medias en Bolivia

Carlos Nina Choque\*  
Scirley Nina Yucra\*\*  
Juan Quispe Apaza\*\*\*

---

**Palabras clave:**

*Temperatura média, variância, componentes principais, cambio climático, análisis de componentes principales.*

**Keywords:**

*Temperatura média, variância, componentes principais, alterações climáticas, análise de componentes principais.*

**Palavras chave:**

*PCA; Temperatura média, variância; componentes principais; mudança climática.*

## Resumen

El estudio aplica análisis de componentes principales (PCA), para identificar la variabilidad de las temperaturas medias en diferentes regiones de Bolivia, encontrando patrones comunes en los datos. Se recopilieron datos de temperaturas de 10 ciudades capitales, registrados en la base de datos de entidades públicas desde el año 1990 hasta abril de 2023. Se identificaron los principales componentes que contribuyen a la variabilidad de las temperaturas. Los componentes revelan la tendencia común en temperaturas medias en Bolivia, proporcionando una comprensión más profunda de los factores que influyen en las variaciones climáticas en el país. Existen dos componentes principales, PC1 y PC2, (PC1, PC2 representa el 66.46% y 7.76 % de la varianza total respectivamente). Las capitales de El Alto, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz aportan más varianza a PC1; Sucre y Potosí aportan más varianza a PC2. La temperatura media de El Alto, Oruro oscilan entre 7 a 9 °C, Cochabamba entre 17 a 19 °C, Santa Cruz entre 24 a 26 °C, dando temperaturas

\* Profesor de la Universidad Mayor de San Andrés - Bolivia. Correo: cnina1010@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0001-8113-0189>

\*\* Profesor de la Universidad Mayor de San Andrés - Bolivia. Correo: scirleymaritzaninayucra@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-5456-9492>

\*\*\* Profesor de la Universidad Mayor de San Andrés - Bolivia. Correo: juancarlos\_quispeapaza@hotmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-7533-6604>

relativamente constantes; en el caso de Potosí la temperatura media oscila entre 7 a 11 °C, Sucre entre 13 a 17 °C la variabilidad de temperatura media es relativa. Las ciudades de La Paz, Cobija, Trinidad y Tarija son más propensas a cambios de temperatura bruscos, se presentan también cambios de humedad o sequedad de terreno. Los resultados obtenidos son útiles en la toma de decisiones en áreas como: agricultura, planificación urbana y gestión de recursos naturales.

### **Abstract**

The study applies principal component analysis (PCA) to identify the variability of average temperatures in different regions of Bolivia, finding common patterns in the data. Temperature data were collected from 10 capital cities, recorded in the database of public entities from 1990 to April 2023. The main components that contribute to the variability of temperatures were identified. The components reveal the common trend in average temperatures in Bolivia, providing a deeper understanding of the factors that influence climatic variations in the country. There are two main components, PC1 and PC2, (PC1, PC2 represent 66.46% and 7.76% of the total variance respectively). The capitals of El Alto, Oruro, Cochabamba and Santa Cruz contribute more variance to PC1; Sucre and Potosí contribute more variance to PC2. The average temperature of El Alto, Oruro ranges between 7 to 9 °C, Cochabamba between 17 to 19 °C, Santa Cruz between 24 to 26 °C, giving relatively constant temperatures; In the case of Potosí the average temperature ranges between 7 to 11 °C, Sucre between 13 to 17 °C, the average temperature variability is relative. The cities of La Paz, Cobija, Trinidad and Tarija are more prone to sudden changes in temperature, changes in humidity or dryness of the terrain also occur. The results obtained are useful in decision making in areas such as: agriculture, urban planning and natural resource management.

### **Resumo**

O estudo aplica a análise de componentes principais (PCA) para identificar a variabilidade das temperaturas médias em diferentes regiões da Bolívia, encontrando padrões comuns nos dados. Foram coletados dados de temperatura de 10 capitais, registrados em banco de dados de órgãos públicos de 1990 a abril de 2023. Foram identificados os principais componentes que contribuem para a variabilidade das temperaturas. Os

componentes revelam a tendência comum das temperaturas médias na Bolívia, proporcionando uma compreensão mais profunda dos fatores que influenciam as variações climáticas no país. Existem dois componentes principais, PC1 e PC2, (PC1, PC2 representam 66,46% e 7,76% da variância total, respectivamente). As capitais El Alto, Oruro, Cochabamba e Santa Cruz contribuem com maior variação para PC1; Sucre e Potosí contribuem com mais variância para PC2. A temperatura média de El Alto, Oruro varia entre 7 a 9 °C, Cochabamba entre 17 a 19 °C, Santa Cruz entre 24 a 26 °C, proporcionando temperaturas relativamente constantes; No caso de Potosí a temperatura média varia entre 7 a 11 °C, Sucre entre 13 a 17 °C, a variabilidade média da temperatura é relativa. As cidades de La Paz, Cobija, Trinidad e Tarija são mais propensas a mudanças bruscas de temperatura, também ocorrem mudanças de umidade ou ressecamento do terreno. Os resultados obtidos são úteis na tomada de decisões em áreas como: agricultura, planejamento urbano e gestão de recursos naturais.

## **Introducción**

La variabilidad de las temperaturas medias desempeña un papel fundamental en el estudio del clima y sus consecuencias en diferentes regiones. Este fenómeno actúa como indicador clave del cambio climático, afectando la salud de los ecosistemas, los ciclos hidrológicos, los niveles del mar, la agricultura y la seguridad alimentaria, así como la salud humana. Además, tiene implicaciones directas en la economía y la sociedad, ya que influye en sectores clave. Comprender estas variaciones es esencial para anticipar y abordar los impactos del cambio climático en diversos aspectos de la vida cotidiana y en la sostenibilidad a largo plazo del planeta.

En el caso de Bolivia, país con una geografía diversa y amplia gama de condiciones climáticas, comprender la variabilidad de las temperaturas medias es crucial para la toma de decisiones en áreas como agricultura, planificación urbana y gestión de recursos naturales.

El estudio, implica múltiples factores interrelacionados que contribuyen a la complejidad de los sistemas climáticos y sus impactos. La técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) puede justificarse como una herramienta analítica valiosa para desentrañar la estructura subyacente de estos datos climáticos complejos. Al aplicar PCA a conjuntos de datos de temperaturas medias, se pueden identificar patrones dominantes y relaciones clave entre variables, ayudando a simplificar la información y resaltar las tendencias más significativas. Esto facilita la

interpretación de la variabilidad climática y contribuye a una comprensión más profunda de cómo diferentes factores interactúan en el contexto del cambio climático, ofreciendo así información valiosa para la toma de decisiones y la formulación de políticas.

Se aplicará el análisis de componentes principales (PCA) para examinar la variabilidad de las temperaturas medias en diferentes regiones de Bolivia. La técnica proporcionará información sobre las tendencias comunes y los factores subyacentes que influyen en las variaciones climáticas en el país.

El análisis de la temperatura media ha generado diversos estudios (Nina y Quispe, 2022; Tejeda, 2013; Plateros, 2019). Los investigadores se han orientado a descubrir: (i) La degradación del suelo que se produce por la pérdida de cobertura vegetal; (ii) la valoración del estrés térmico que afecta a empleados (Rayo, 2022); (iii) el daño en la siembra de trigo al sur de Buenos Aires por causas climáticas, para obtener mapas de riesgo de temperaturas extremas frías para un periodo sensible del cultivo de trigo en esa región; (iv) el análisis si las temperaturas extremadamente elevada afecta en la mortalidad de las personas de diferente grupo de edad (Linares y Diaz, 2008); (v) el cambio climático afecta en la producción de alimentos en distintas regiones, lo que da un riesgo a lo que está expuesta la seguridad alimentaria de comunidades (Montenegro y Pitti, 2020); (vi) aumento de las precipitaciones a consecuencia del aumento de la temperatura (Pettit, 2022); (vii) el calor extremo provoca frío extremo (Pettit, 2022).

Con base en las características geográficas de Bolivia, se identifican los cambios de temperatura media en las ciudades capitales de Bolivia, que influyen en el cambio climático que ocasionan sequía, humedad, desborde de ríos, heladas, y descongelación de glaciares.

## **Materiales y métodos**

Existen métodos estadísticos cuyo objetivo principal es definir la estructura subyacente de los datos y la interrelación que existen entre las variables, tales como el PCA (Análisis de componentes principales) y FA (Análisis factorial). PCA es una técnica no supervisada, lo que significa que no tiene en cuenta la información de las variables dependientes. Por otro lado, FA es una técnica supervisada, lo que significa que utiliza la información de las variables dependientes para identificar los factores que mejor explican la varianza de los datos.

El análisis de componentes principales (PCA) es adecuado para identificar la variabilidad de las temperaturas medias en Bolivia en comparación con el análisis factorial (FA) debido a su enfoque en la varianza total de los datos (Amat, 2017). PCA se

centra en la varianza total, ayuda a identificar los componentes principales que explican la mayor parte de la variabilidad en las temperaturas medias, lo que es crucial para comprender los patrones climáticos en diferentes regiones de Bolivia. Por otro lado, el análisis factorial se centra en la varianza compartida entre las variables dependientes, lo que puede no ser tan relevante para el estudio de la variabilidad climática.

La investigación tiene como objetivo abordar la variabilidad de las temperaturas medias a través de la aplicación del Análisis de Componentes Principales (PCA). Se busca comprender la estructura subyacente de los datos climáticos, identificar patrones y relaciones clave entre variables relevantes. Se procederá a la recopilación de datos climáticos históricos, su preprocesamiento y la aplicación del PCA para analizar la variabilidad. Los resultados serán interpretados y validados estadísticamente, proporcionando conclusiones significativas sobre la influencia de diferentes factores climáticos. Este enfoque contribuirá a una comprensión más profunda de la variabilidad climática, con implicaciones para la toma de decisiones y la gestión climática en la región estudiada.

Para realizar el análisis estadístico se recurre como fuente a diversas instituciones como: INE (Instituto Nacional de Estadística), Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), Ministerio de Medio Ambiente y Aguas. Estos datos obtenidos se muestran en la tabla 1 y la tabla 2.

**Tabla 1.**

*Base de datos, temperatura media ciudades capitales por departamento de Bolivia, periodo: 1990-2023.*

Periodo	Sucre	La Paz	Cochabamba	Oruro	Potosí	Tarija	Santa Cruz	Trinidad	Cobija	El Alto
<dtm>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
1990-01	15.9	11.6	19.2	11.6	8	20.8	25.8	26	25.4	8.01
1990-02	15	11.7	18.3	11	7.4	19.8	26.4	27.4	25.6	8.31
1990-03	16.4	12.1	19.6	10.2	7.8	21.2	26.8	26.9	26.2	8.76
1990-04	16.2	11.8	18.2	9.1	8	20.4	25.6	26.4	26	8.52
1990-05	14.1	10.7	16.2	6.05	5.8	16.2	21.4	23.4	24.8	7.11
1990-06	12.2	8.4	13.4	3.9	3.6	12.7	19.4	24.6	23.2	4.49
1990-07	10.9	8.4	13	2	2.8	11.2	18.4	22.5	22.2	4.34
1990-08	13.4	9.7	15.7	4.7	5.1	15.8	22.6	25.4	25.2	5.68
1990-09	14.1	10.7	17.2	6.15	6.6	15.6	22.6	24.6	24.2	7.46
1990-10	16.2	12.1	19.4	10.2	8.8	21.1	26.6	27.5	26.6	8.56

Nota. El periodo que se tomó es desde enero de 1990 a junio de 2023.

En la tabla 1 se muestra la Base de datos, temperatura media ciudades capitales por departamento de Bolivia , periodo: 1990-2023.

El PCA identifica dos componentes principales (PC1 y PC2), utilizando el Software RStudio, para el análisis se procesan 400 datos como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 2.**

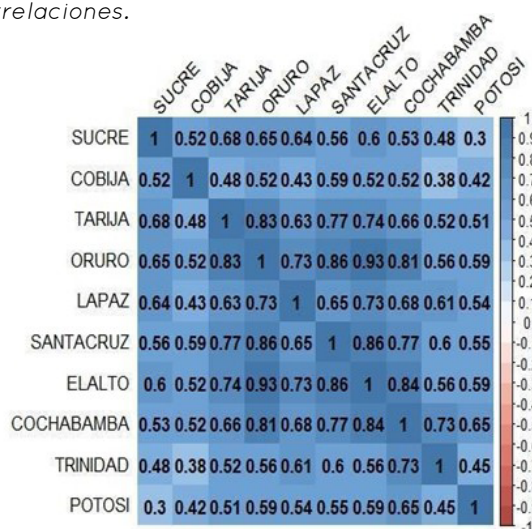
*VARIABLES DE TEMPERATURA MEDIA DE CIUDADES CAPITALES DE BOLIVIA.*

Variable	Descripción
Sucre	Temperatura media de la ciudad de Sucre
La Paz	Temperatura media de la ciudad de La Paz
Cochabamba	Temperatura media de la ciudad de Cochabamba
Oruro	Temperatura media de la ciudad de Oruro
Potosí	Temperatura media de la ciudad de Potosí
Tarija	Temperatura media de la ciudad de Tarija
Santa Cruz	Temperatura media de la ciudad de Santa Cruz
Trinidad	Temperatura media de la ciudad de Beni
Cobija	Temperatura media de la ciudad de Pando
El Alto	Temperatura media de la ciudad de El Alto

En la tabla 2, se muestran 10 variables de temperatura media de las ciudades capitales de Bolivia, para la identificación de variabilidad de temperatura, predecir el comportamiento de cambio climático que afecta directamente a regiones específicas de la región de Bolivia.

**Figura 1.**

*Matriz de Correlaciones.*



Fuente: Elaboración en base a Análisis de Correlación de Variables con R-Studio.

La figura 1 muestra la matriz de correlaciones de temperaturas medias de las ciudades capitales de Bolivia, dicha matriz desempeña un papel esencial en un estudio de Análisis de Componentes Principales (PCA). Esta herramienta facilita la identificación de relaciones lineales entre variables climáticas, ayudando en la selección de variables relevantes para el PCA y en la comprensión de la multicolinealidad. Además, permite anticipar interacciones complejas entre las variables, lo que es crucial para interpretar las componentes principales resultantes.

En base a los resultados de la matriz de correlaciones el azulado de la figura 1 evidencia que la correlación es positiva (según la escala de 0 a 1 es Positivo de color azulado y de 0 a -1 es negativo de color rojizo), lo que concluye que todas las correlaciones son positivas y también que son directamente proporcionales entre ciudades del eje andino y de los valles con respecto a las ciudades del oriente.

## Resultados

El análisis de componentes principales identificó las direcciones en las que la varianza es mayor, la Figura 2 muestra los componentes principales más significativos.

**Figura 2.**

*Cálculo de Componentes Principales.*

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
SUCRE	0.2837731	-0.612446993	-0.200025999	0.13088988	0.362254505	-0.17470127	0.46907693
LAPAZ	0.3179801	-0.006282875	-0.297162171	0.06675518	0.486046110	0.56508873	-0.45955005
COCHABAMBA	0.3458212	0.277206233	-0.055732879	0.12192411	-0.218330155	0.09017519	0.47547398
ORURO	0.3616225	-0.027138494	-0.016992179	-0.33771560	-0.108778974	0.08131918	0.10016189
POTOSI	0.2648576	0.575273336	0.379276797	-0.02268160	0.562251778	-0.29057472	0.09002415
TARIJA	0.3285981	-0.220150881	-0.053149643	-0.32267678	0.006760851	-0.59648446	-0.37390474
SANTACRUZ	0.3477707	0.014536059	0.105645183	-0.17460819	-0.399802026	0.01115776	-0.29404297
TRINIDAD	0.2793238	0.239049081	-0.440947761	0.63972258	-0.234191491	-0.26290595	-0.13999044
COBIJA	0.2519470	-0.327505694	0.718339582	0.47101931	-0.099507708	0.14141142	-0.13728045
ELALTO	0.3569712	0.057165128	-0.002448484	-0.28856079	-0.179633128	0.32548612	0.24466109
	PC8	PC9	PC10				
SUCRE	0.3100406	-0.09472676	-0.01893647				
LAPAZ	-0.1254265	-0.15054207	-0.03066767				
COCHABAMBA	-0.4426472	-0.54180327	-0.11929098				
ORURO	-0.1116573	0.52484480	-0.66162268				
POTOSI	0.2076715	0.05067082	0.01362471				
TARIJA	-0.4286343	-0.09803810	0.21823991				
SANTACRUZ	0.6378858	-0.40777092	-0.13263690				
TRINIDAD	0.1012928	0.32344011	0.05213036				
COBIJA	-0.1752952	0.10733300	0.01995204				
ELALTO	0.0706927	0.32366814	0.69152260				

Nota. Las Componentes Principales se denotan con la abreviación PC seguido del numeral que indica su grado de significancia, estos van de PC1 a PC10, por tanto, la PC1 y PC2 son las más importantes (se resalta de color rojo y color azul respectivamente).



**Figura 3.**

*Tabla de Resultados de las Componentes Principales.*

Importance of components:									
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
Standard deviation	2.5780	0.88177	0.81282	0.77324	0.6768	0.57382	0.48237	0.38578	0.30582
Proportion of variance	0.6646	0.07775	0.06607	0.05979	0.0458	0.03293	0.02327	0.01488	0.00935
Cumulative Proportion	0.6646	0.74234	0.80840	0.86819	0.9140	0.94692	0.97019	0.98507	0.99442
PC10									
Standard deviation	0.23615								
Proportion of Variance	0.00558								
Cumulative Proportion	1.00000								

Nota. Los valores numéricos denotan la desviaciones y varianzas de cada componente.

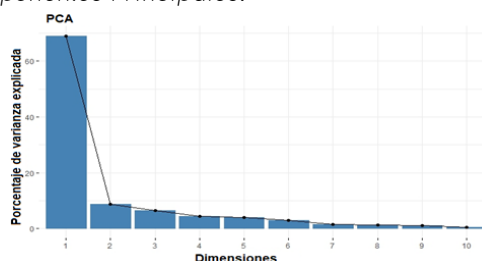
La varianza explicada por cada componente refleja la cantidad de información que captura en relación con la variabilidad total del conjunto de datos. Decisiones clave, como la selección de componentes relevantes, se basan en la evaluación de las varianzas explicadas acumulativas. Las componentes con varianza alta indican patrones estructurados en los datos, y al examinar las cargas factoriales, se puede asociar la varianza explicada con patrones específicos en las variables originales. La interpretación de estas varianzas contribuye a una comprensión más profunda de la estructura subyacente de los datos, siendo fundamental para la toma de decisiones y la identificación de patrones significativos en el análisis de componentes principales.

En el contexto del análisis de componentes principales (PCA) aplicado a las temperaturas medias en Bolivia, la interpretación de la varianza se enfocaría en cómo cada componente principal explica la variabilidad de los datos. El primer componente principal representa el 66.46% de la varianza total, esto indicaría que ese componente captura una cantidad significativa de la variabilidad en las temperaturas medias. Así, al interpretar la varianza en PCA, se busca comprender qué componentes explican la mayor parte de la variabilidad y cómo esos componentes se relacionan con las condiciones climáticas en diferentes regiones de Bolivia.

Se puede indicar que las temperaturas medias de Cochabamba, Oruro, Santa Cruz y El Alto aportan más datos de varianza a la componente principal PC1; Sucre y Potosí aportan más datos a la componente principal PC2.

**Figura 4.**

*Análisis de Componentes Principales.*

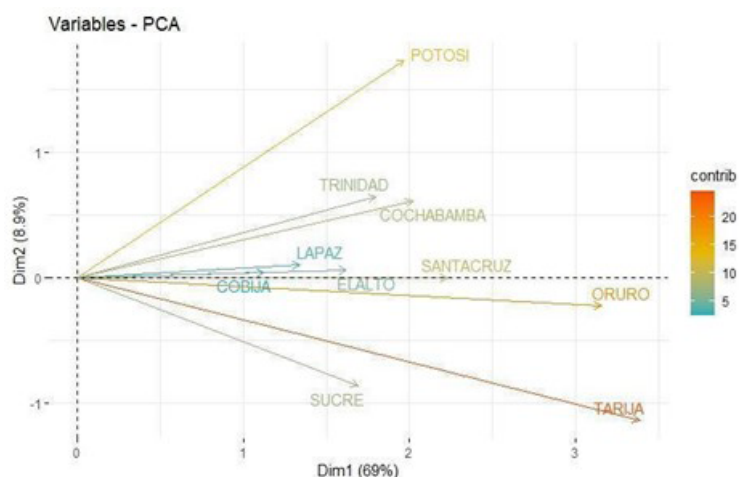


Fuente: Elaboración en base a Análisis de Componentes Principales con R-Studio.



La figura 4, visualiza el porcentaje de varianza explicada versus dimensiones, lo que indica que la PC1 y PC2 son las componentes principales más significativas.

**Figura 5.**  
PC1 vs PC2.



Fuente: Elaboración en base a Análisis de Componentes Principales con R-Studio.

La interpretación de los resultados obtenidos del análisis de componentes principales (PCA) aplicado a las temperaturas medias de diversas ciudades, la mención de que Potosí y Sucre se acercan más al eje vertical, asociado con la componente principal 2 (PC2), sugiere que estas ciudades comparten patrones de variabilidad específicos que pueden estar relacionados con factores climáticos particulares. Por otro lado, El Alto, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz se acercan más al eje horizontal de la PC1, indicando que estas ciudades comparten patrones de variabilidad diferentes. La afirmación de que las temperaturas medias de estas ciudades son relativamente constantes sugiere que la variabilidad en estas áreas está más influenciada por factores asociados con la PC1. En contraste, se sugiere que otras ciudades muestran una mayor propensión a cambios significativos de temperatura, lo que podría implicar que su variabilidad está más influenciada por factores asociados con la PC2.

## Discusiones y Conclusiones

La investigación realizada se concluye que la ciudad de El Alto, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz, contribuyen con mayor cantidad de datos a la primera componente principal lo que muestra que la temperatura media en estos son relativamente constantes, para las capitales de El Alto y Oruro las temperaturas

medias en estos lugares oscilan entre 7 a 9 grados centígrados, en Cochabamba entre 17 a 19 grados centígrados y finalmente en Santa Cruz entre 24 a 26 grados centígrados, lo que da una variación de 2 grados centígrados aproximadamente.

Potosí y Sucre aportan mayor cantidad de datos a la segunda componente principal, lo cual muestra una variabilidad relativa en las temperaturas medias, (en el caso de Potosí la temperatura media oscila entre 7 a 11 grados centígrados y en Sucre la temperatura media entre 13 a 17 grados centígrados).

Las ciudades como La Paz, Cobija, Trinidad y Tarija son más propensas a cambios bruscos de temperatura, lo que sugiere que la variabilidad en estas ciudades está influenciada por patrones específicos relacionados con la Componente Principal 2 (PC2). En el contexto del análisis de componentes principales (PCA), esto significa que estas ciudades exhiben variaciones notables que están vinculadas a factores climáticos asociados con la PC2.

La mención de que estas ciudades "pueden o no presentar cambios por humedad y sequedad de terreno" sugiere que, aunque la variabilidad de temperatura es evidente, otros factores como la lluvia, nevada e inundaciones pueden contribuir de manera variable a estos cambios. Estos factores adicionales podrían ser explorados a través de análisis más detallados de las variables originales o mediante la consideración de otros componentes principales en el PCA para identificar riesgos de temperatura extrema en Bolivia producidos por el cambio climático.

## Referencias

- Amat, J. (2017, julio 28).** Análisis de componentes principales (*Principal Component Analysis, PCA*) y *t-SNE*. *R Pubs by RStudio*. [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/287787](https://rpubs.com/Joaquin_AR/287787)
- Linares, C., y Díaz, J. (2008).** Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria según diferentes grupos de edad. *Gaceta Sanitaria*, 22(2), 115-119. <https://doi.org/10.1157/13119318>
- Montenegro, E., y Pitti, J. (2020).** Análisis de riesgos climáticos en el sistema alimentario indígena de El Teribe, Panamá. *Acta Nova*, 9(5-6), 713-736. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892020000200005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892020000200005)
- Nina, C., Nina, S., & Quispe, J. C. (2022).** Análisis de componentes principales de bio-clima en Bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 4005-4014. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3370](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3370)

- Pettit, K. (2022, 9 de diciembre).** Todo sobre las temperaturas extremas: Causas, consecuencias y soluciones. *EarthShare*. <https://www.earthshare.org/es/all-about-extreme-temperatures-causes-consequences-and-solutions/>
- Plateros, P. A. (2019, abril 3).** Reducción de dimensiones y selección de variables en modelos de distribución de especies. *RPubs by RStudio*. <https://rpubs.com/PedroAPG/556685>
- Rayo, J. C. L. (2022).** Valoración del riesgo de estrés térmico: índice "WBGT". *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, 18, 74-78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8771910>
- Tejada, F. (2013).** Experiencias locales en adaptación al cambio climático en Bolivia. *T'inkazos*, 16(34), 23-56. <https://www.redalyc.org/pdf/4261/426142156002.pdf>