

# Variabilidad Climática en Andahuaylas y su relación con las Anomalías de la Temperatura Superficial del Pacífico Tropical Central

## Climate Variability in Andahuaylas and its relation to the Surface Temperature Anomalies of the Central Tropical Pacific

Odilon Correa <sup>1,\*</sup>, Orlando Olivares<sup>1</sup>, Efraín Rodas<sup>1</sup>, Rosa G. Coral<sup>2</sup>

<sup>1,\*</sup>Departamento Académico de Ciencias Básicas, Universidad Nacional José María Arguedas, Perú. <sup>2</sup>Departamento de Contabilidad, Universidad Tecnológica de los Andes, Perú. [odiloncorrea@unajma.edu.pe](mailto:odiloncorrea@unajma.edu.pe), ORCID: 0000-0003-0302-086X, [oolivares@unajma.edu.pe](mailto:oolivares@unajma.edu.pe), ORCID: 0000-0001-9476-1211, [erodas@unajma.edu.pe](mailto:erodas@unajma.edu.pe), ORCID: 0000-0002-8862-3151, [rcorals@gmail.com](mailto:rcorals@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0775-5524

### Resumen

Las dinámicas atmosféricas regionales son elementos condicionantes y poco estudiadas en las regiones andinas del Perú, en ese entender el objetivo fue determinar la relación de los índices de Anomalías de la Temperatura Superficial del Océano Pacífico Central (ATPTC) y 6 elementos meteorológicos registrados a través de la Estación Meteorológica Automática de la Universidad Nacional José María Arguedas (EMAUNAJMA) en Andahuaylas, para el análisis se utilizó datos disponibles del Instituto Geofísico del Perú sobre las ATPTC, fenómenos de El Niño 1+2 (N1+2), El Niño 3 (N3), El Niño 3.4 (N3.4) y El Niño 4 (N4) y por otro lado registros de la EMAUNAJMA, a través de un software estadístico se realizó correlación múltiple de Pearson, se determinó una influencia positiva moderada del N1+2 y N3.4 sobre las temperaturas, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones, El Niño 3 y El Niño 4 influyen de manera negativa baja sobre los mismos elementos, las variables como energía solar y evapotranspiración no tienen relación con las ATPTC y está condicionada por otros factores.

*Palabras claves:* [energía solar]; [evapotranspiración]; [humedad relativa]; [precipitación]; [velocidad del viento]

### Abstract

The regional atmospheric dynamics are conditioning elements and little studied in the Andean regions of Peru, in that understanding the objective was to determine the relation of the indexes of Anomalies of the Surface Temperature of the Central Pacific Ocean (ATPTC) and 6 meteorological elements registered through the Automatic Meteorological Station of the National University Jose Maria Arguedas (EMAUNAJMA) in Andahuaylas, For the analysis, available data from the Peruvian Geophysical Institute on the ATPTC, El Niño 1+2 (N1+2), El Niño 3 (N3), El Niño 3.4 (N3) phenomena were used and El Niño 4 (N4) and on the other hand EMAUNAJMA records, through a statistical software Pearson's multiple correlation was carried out, it was determined a moderate positive influence of N1+2 and N3.4 on temperatures, relative humidity, wind speed and precipitations, El Niño 3 and El Niño 4 influence in a low negative way on the same elements, the variables as solar energy and evapotranspiration have no relation with the ATPTC and it is conditioned by other factors.

*Keywords:* [solar energy]; [evapotranspiration]; [relative humidity]; [precipitation]; [wind speed]

### 1. Introducción

Las interacciones entre la circulación atmosférica a escala mayor y la topografía andina son muy complejas y poco conocido, la física de la atmósfera es complicada y se hace esfuerzos para desarrollar modelos climáticos relacionadas con la orografía [2] y elementos meteorológicos, en la Cuenca Amazónica la frecuencia de los días lluviosos y secos aparentemente están asociadas con los cambios de la temperatura del Pacífico ecuatorial para los meses de noviembre a marzo [4], por otra parte las anomalías de las temperaturas en el Pacífico Tropical Central no explica en su totalidad las variabilidades pluviométricas en todo el Perú

[7], siendo necesario estudiar la variabilidad interestacional y decenal de la precipitaciones sobre los andes tropicales [9], en el contexto del cambio climático se dice que en el futuro habrá variaciones climáticas en la costa y los Andes sudamericanos[12].

Los estudios previos mencionan, que la oscilación decadal del pacífico y la presencia del fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) influyen sobre las temperaturas en la costa occidental de América del Sur [12], como también sobre los glaciares de los Andes de Ecuador [5], las

precipitaciones intensas ocurridas hacia noroeste y centro de la Amazonía en el año 2014 tiene relación con las anomalías ocurridas en el Pacífico con la presencia de El Niño y Atlántico por la migración de la zona de convergencia intertropical [3], por otra parte [10] también menciona que El Niño induce anomalías secas significativas en el Altiplano peruano, durante la presencia del fenómeno de El Niño y Niña, la región sur andina presenta importantes déficit e incrementos en las lluvias, caso de El Niño extraordinario de los años 1983 y 1998 ocasionó sequías en las vertientes del Lago Titicaca [7], en función a los eventos extremos ocurridos en el Pacífico [8] destaca que la variabilidad de baja presión 200 hPa juega un papel relevante en la modulación de los impactos hidrológicos extremos sobre los Andes centrales, encontrándose una relación entre las precipitaciones, altitud y las anomalías de las temperaturas en el Pacífico [9].

Gran parte de la región andina está cubierta por la vegetación que se adaptó, son área donde se practica la agricultura como principal sustento económico de las familias, la diversidad de los productos agrícolas directamente depende de las condiciones atmosféricas, por ende, el objetivo del presente estudio fue determinar la relación de los índices de anomalías de la temperatura superficial del Océano Pacífico y elementos meteorológicos registrados a través de la estación meteorológica de la UNAJMA en Andahuaylas.

## 2. Métodos

### 2.1. Ubicación geográfica y datos

El presente estudio se realizó en el Departamento de Apurímac, provincia de Andahuaylas, en la parte intermedia de la microcuenca del río Chumbao, se accedió a dos tipos de datos diarios como información necesaria para el análisis, registros de las anomalías de la temperatura del Océano Pacífico se descargó de la página web del Instituto Geofísico del Perú <http://www.met.igp.gob.pe/elnino/indices.html> tales como regiones de El Niño 3.4 (N3.4), El Niño 3 (N3), El Niño 4 (N4) y El Niño 1+2 (N1+2); por otra parte, se ha recogido información meteorológica diaria de la estación meteorológica perteneciente a la Universidad Nacional José María Arguedas, especialmente se muestra en la figura 1, las series meteorológicas consideradas fueron temperatura promedio T(°C), precipitación P(mm), humedad relativa HR(%), velocidad del viento VV(m/s), energía solar ES(MJ/m<sup>2</sup>) y evapotranspiración ET(mm), todos para un periodo de 6 años (2014 al 2019).



Figura 1. Ubicación geográfica del área del desarrollo del fenómeno de El Niño y zona del estudio.

### 2.2. Prueba de normalidad

Una vez obtenidos los datos, se ha sometido a un control de homogeneidad, para cada una de las variables, se ha verificado que todos los elementos considerados son homogéneos, en la tabla 1 se muestra el resumen de los resultados descriptivos para cada uno de los variables consideradas, también la figura 2 muestra parte del resultado de la estadística descriptiva.

Tabla 1. Resultados de estadística descriptiva de la prueba de homogeneidad.

	Media	Coef. de variación (%)
T(°C)	13,3	10,7
HR (%)	74,1	7,6
VV (m/s)	13,3	10,2
P (mm)	690	
ES (MJ/m <sup>2</sup> )	12143,4	18,8
ET (mm)		
EL Niño 1+2	23,9	12
EL Niño 3	26,8	7,8
EL Niño 3.4	28	6,7
EL Niño 4	29,7	3,4

La tabla 2 muestra la prueba de la normalidad Z (Z de Kolmogorov - Smirnov) para cada una de las variables, se observa el Sig. (bilateral) mayor a 0,05; por tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir; los datos de la TSM y de la estación meteorológica UNAJMA siguen una distribución normal, con un nivel de confianza de 95 %.

Tabla 2. Contrastación de la hipótesis, prueba de normalidad de Kolmogorov - Smirnov para una muestra.

	Parám. Normal	Diferencias extremas	Z	Sig.
T	-0,014 1,000	0,092 0,072	-0,092	0,772 0,591
HR	-0,015 0,999	0,147 0,147	-0,122	1,237 0,094

VV	-0,021	1,004	0,08	0,06	-0,08	0,678	0,748
P	-0,022	0,989	0,191	0,191	-0,156	1,613	0,011
ES	-0,004	1,007	0,126	0,084	-0,126	1,065	0,206
ET	-0,001	1,007	0,097	0,048	-0,097	0,814	0,521
N1+2	0,002	1,007	0,081	0,067	-0,081	0,681	0,743
N3	0,007	1,005	0,066	0,066	-0,051	0,56	0,912
N3.4	0,004	1,007	0,1	0,1	-0,053	0,841	0,48
N4	-0,010	1,003	0,108	0,083	-0,108	0,908	0,381

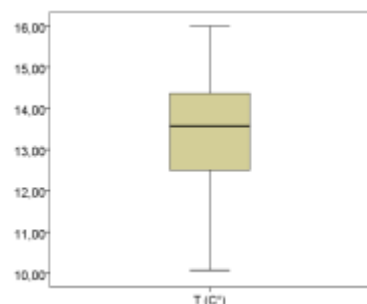


Figura 2. Diagrama de cajas para la temperatura (°C) y humedad relativa (%).

### 3. Resultados y discusión

Las anomalías de las temperaturas en el Pacífico Ecuatorial o Pacífico Tropical Central (PTC), tienen impactos en variabilidades climáticas, de diferentes grados, en los Andes del Perú, como se ha mencionado en la primera parte del presente trabajo, en este estudio encontramos el grado de relación que existe las anomalías de PTC sobre diferentes elementos climáticos en la provincia de Andahuaylas, al realizar la correlación entre las temperaturas medias mensuales de la estación UNAJMA con las anomalías de las temperaturas del Pacífico Tropical Central (ATPTC) figura 3, se encontró una relación directa de 52,9 %, además, el sig. = 0,00 es menor al nivel de significancia, por consiguiente, se confirma la relación existente entre las variaciones de las temperaturas en Andahuaylas y ATPTC, estadísticamente significativa a un nivel confianza del 95 %. Las anomalías de las temperaturas de sector N3.4 tiene mayor importancia en la temperatura registrada por la estación meteorológica de la UNAJMA con una proporción de 3,3; seguido de la zona del N1+2 con proporción de 1,1. [11] también en su manuscrito manifiesta, que las anomalías de las temperaturas en el Pacífico Central tienen influencia, sobre los Andes ecuatoriales. El modelo de la relación existente entre estas variables es:

$$T = -0,01 + 1,1(N1+2) - 3,5(N3) + 3,3(N3.4) - 0,7(N4)$$

Otro elemento importante analizado es la HR, el grado de relación entre esta variables y ATPTC es 60,3 %, ósea tiene una relación directa, el sig. = 0,00 es menor al nivel de significancia, por consiguiente, indica que la HR registrado por la estación meteorológica de la UNAJMA y la ATPTC estadísticamente es significativa con el nivel de confianza de 95 %, las zona de mayor influencia es N1+2 seguido de N3

con 1,24 y 1,07 respectivamente, la relación de la HR con ATPTC según cada zona del Océano es:

$$HR = -0,01 + 1,2(N1+2) - 1,8(N3) + 1,1(N3.4) - 0,1(N4)$$

El elemento meteorológico que tiene relación directa es la VV, tiene una relación de 48,4 % con las ATPTC, el sig. = 0.01 es menor al nivel de significancia, por consiguiente, indica que la VV registrado.

por la estación meteorológica de la UNAJMA y la ATPTC estadísticamente es significativa con una confianza de 95 %, la ecuación siguiente muestra el grado de relación entre VV y los tipos de El Niño, donde El Niño 3.4 tiene mayor relación seguido de El Niño 1+2.

$$VV = -0,03 + 0,7(N1+2) - 2,6(N3) + 3,0(N3.4) - 1,1(N4)$$

Los resultados alcanzados en esta investigación, es corroborados por otros estudios, manifiestan que los vientos transecuatoriales influyen particularmente por debajo de los 2000 msnm, dado que por encima de 3500 msnm son leves [2], el fenómeno de El Niño está asociado con las anomalías de los vientos del suroeste ya que se debilitan sobre el área del Sur peruano [10], la pendiente de la cordillera de los Andes hacia el este es el factor influyente para que los vientos alisios sean debilitados y que las precipitaciones sean moderadas por encima de 3000 m, debido a la topografía cambia la orientación de los vientos que trasladan la humedad de la Amazonía y son desviadas provocando zonas de hotspots [6].

$$P = -0,02 + 1,1(N1+2) - 2,6(N3) + 1,9(N3.4) - 0,2(N4)$$

Una de las variables bastante estudiadas es la precipitación, debido que se considera como un indicador del cambio climático, la presencia de las precipitaciones en las zonas alto andinas tienen relación con los vientos como manifiesta Killeen [6], la P en Andahuaylas tiene relación directa de 44,6 % con las ATPTC con sig.=0.005 que es menor al nivel de la significancia, dicha relación estadísticamente es significativa con una confianza de 95 %, esta relación es relativamente moderada, probablemente está influido por otros factores, como dice [1] que a lo largo de los flancos orientales de los Andes sudamericanos las precipitaciones están limitadas por la topografía; la zona de mayor influencia es N3.4 sobre las precipitaciones en el área de Andahuaylas, con una proporción de 1,91. La siguiente ecuación muestra el grado de relación cada una de las variables.

La energía solar es otro elemento importante que tiene relación directa con la radiación, en este análisis se determinó la relación entre la ES y ATPTC, el grado de relación es directa de 35,8 %, con el sig. = 0,056 que es mayor al.

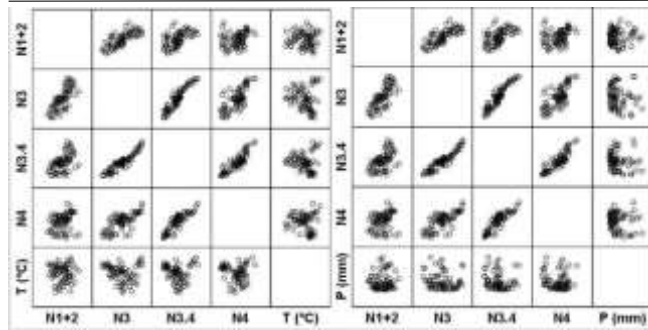


Figura 3. Regresión múltiple de la temperatura y precipitación con respecto a las anomalías ocurridas en el Pacífico Tropical Central.

nivel de significancia, por consiguiente, indica que ES registrado por la estación meteorológica UNAJMA y la ATPTC estadísticamente no es significativa, la ES es independiente a las anomalías presentadas en el Océano Pacífico, esto se debe que la ES tiene una relación directa con la radiación solar, además esta es una variable primario e independiente, es decir no depende de otras variables, modelo de relación entre estas variables es:

$$ES = -0,003 - 0,1(N1+2) - 0,5(N3) + 0,8(N3.4) - 0,1(N4)$$

Las evaporaciones del agua de la tierra y a través de las plantas, es otro elemento que se ha analizado, la ET tiene una relación directa de 40,6 % con las ATPTC, además, se observó que el sig. = 0,017 y es menor al nivel de significancia, estadísticamente es significativa, con un nivel de confianza al 95 %, por consiguiente, indica en su forma general que la ET registrado por la estación meteorológica de la UNAJMA y las ATPTC tienen teleconexión, sin embargo analizando independientemente para cada zona de El Niño en el Pacífico Central el nivel de significancia es mayor a 0.05, esto implica que estadísticamente no es significativo a un nivel de confianza de 95 %, aparentemente la ET en la zona de Apurímac no depende de las ATPTC, la radiación solar y otros factores al parecer son elementos condicionantes para la ET.

$$ET = -0,002 - 0,2(N1+2) - 0,6(N3) + 1,1(N3.4) - 0,2(N4)$$

En la figura 4 sintetizamos resultados de la influencia de las ATPTC sobre la zona del estudio, de los 6 elementos meteorológicos analizados, 4 tiene influencia directa positiva y negativa, 2 no tienen influencia, ello permite mencionar que algunos elementos meteorológicos en las zonas alto andinas se ven influenciadas por las ATPTC, ciertas zonas aparenta que tienen influencias de mayor grado, mientras otros tienen poca influencia, factores como valles, ríos y montañas entre otros ~ pueden contribuir como condicionantes del clima.

Tabla 3. Correlaciones entre las variables en estudio

Resumen del modelo			
Variable	R	R cuadrado	Sig.

Temperatura	,529 <sup>a</sup>	0,279	,000 <sup>b</sup>
Humedad	,603 <sup>a</sup>	0,364	,000 <sup>b</sup>
Velocidad del viento	,484 <sup>a</sup>	0,234	,001 <sup>b</sup>
Precipitación	,446 <sup>a</sup>	0,199	,005 <sup>b</sup>
Energía solar	,358 <sup>a</sup>	0,128	,056 <sup>b</sup>
Evapotranspiración	,406 <sup>a</sup>	0,165	,017 <sup>b</sup>

a. Variables predictoras: (Constante), N3, N1+2, N3.4, N4

La Tabla 3 muestra las correlaciones entre las variables predictoras y las dependientes, donde la variable humedad tiene la mayor relación (r=0,603) y seguido de la temperatura (r=0,529), y por otra parte, la variable energía solar no tiene relación significativa (sig.=0,056).

#### 4. Conclusiones

Los índices de las ATPTC tienen efectos positivos y negativos sobre elementos meteorológicos en la región de análisis, Andahuaylas; las anomalías de los sectores El Niño 1+2 y El Niño 3.4 influyen de forma positiva moderada sobre la zona.

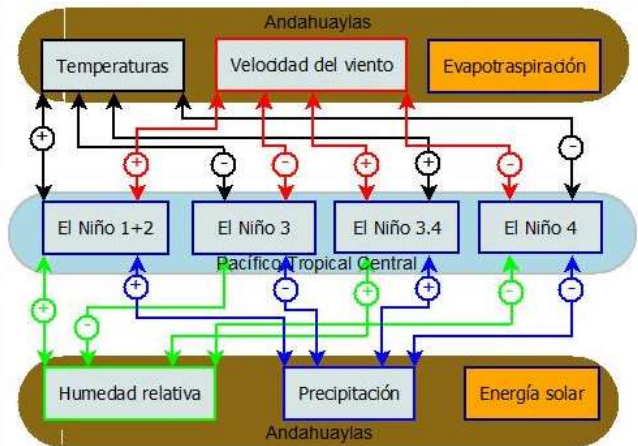


Figura 4. Resultados de la influencia de las ATPTC sobre la zona de Andahuaylas, influencia directa (+) e inversa (-).

De estudio principalmente sobre las temperaturas, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones; mientras las anomalías de El Niño 3 y El Niño 4 influyen de manera negativa baja sobre los mismos elementos, los elementos como energía solar y evapotranspiración aparentemente no tienen relación con las ATPTC y está condicionada por otros factores, de todo los elementos meteorológicos se analizaron 6 elementos, los mismos son elementos importantes principalmente en la agricultura, ganadería, industria, entre otros, que tienen relación con algunos riesgos naturales climáticos, resultados alcanzados pueden ser elementos suficientes para mitigar los impactos de los riesgos

climáticos, para entender ´ mejor los factores climáticos influyentes sobre los elementos meteorológicos en las zonas alto andinas se requiere analizar series largas de varios estaciones.

## Referencias

[1] Bodo Bookhagen and Manfred R Strecker. Orographic barriers, high resolution trmm rainfall, and relief variations along the eastern andes. *Geophysical Research Letters*, 35(6), 2008.

[2] Jhan Carlo Espinoza, Steven Chávez, Josyane Ronchail, Clementine Junquas, Ken Takahashi, and Waldo Lavado. Rainfall hotspots over the southern tropical andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Research*, 51(5):3459–3475, 2015.

[3] Jhan Carlo Espinoza, José Antonio Marengo, Josyane Ronchail, Jorge Molina Carpio, Luis Noriega Flores, and Jean Loup Guyot. The extreme 2014 flood in south-western amazon basin: the role of tropical subtropical south atlantic sst gradient. *Environmental Research Letters*, 9(12):124007, 2014.

[4] Jhan Carlo Espinoza, Hans Segura, Josyane Ronchail, Guillaume Drapeau, and Omar Gutierrez-Cori. Evolution of wet-day and dry-day frequency in the western a mazon basin: Relationship with atmospheric circulation and impacts on vegetation. *Water Resources Research*, 52(11):8546–8560, 2016.

[5] Bernard Francou, Mathias Vuille, Vincent Favier, and Bolivar Caceres. New evidence for an enso impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, andes of ecuador, 0 28 s. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D18), 2004.

[6] Timothy J Killeen, Michael Douglas, Trisha Consiglio, Peter M Jørgensen, and John Mejia. Dry spots and wet spots in the andean hotspot. *Journal of Biogeography*, 34(8):1357–1373, 2007.

[7] Waldo Lavado-Casimiro and Jhan Carlo Espinoza. Impactos de el niño y la niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorología*, 29(2):171–182, 2014.

[8] Hans Segura, Jhan Carlo Espinoza, Clementine Junquas, and Ken Takahashi. Evidencing decadal and interdecadal hydroclimatic variability over the central andes. *Environmental Research Letters*, 11(9):094016, 2016.

[9] Hans Segura, Clementine Junquas, Jhan Carlo Espinoza, Mathias Vuille, Yakelyn R Jauregui, Antoine Rabatel, Thomas Condom, and Thierry Lebel. New insights into the rainfall variability in the tropical andes on seasonal and interannual time scales. *Climate dynamics*, 53(1-2):405– 426, 2019.

[10] Juan Sulca, Ken Takahashi, Jhan-Carlo Espinoza, Mathias Vuille, and Waldo Lavado-Casimiro. Impacts of different enso flavors and tropical pacific convection variability (itcz, spcz) on austral summer rainfall in south america, with a focus on peru. *International Journal of Climatology*, 38(1):420–435, 2018.

[11] Mathias Vuille, Raymond S Bradley, and Frank Keimig. Climate variability in the andes of ecuador and its relation to tropical pacific and atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of climate*, 13(14):2520–2535, 2000.

[12] Mathias Vuille, Eric Franquist, Rene Garreaud, Waldo Sven Lavado Casimiro, and Bolivar Caceres. Impact of the global warming hiatus on andean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9):3745–3757, 2015.