

# Anomalía de El Niño Costero 2017 y su influencia en las precipitaciones del verano austral en Bolivia

## Anomaly of the El Niño Costero 2017 and its influence on the southern summer rainfall in Bolivia



CU-ID: 2377/v28n1e09

Guillermina Miranda Torrez<sup>1\*</sup>, Marisol Portugal Alvarez<sup>2</sup>, Nikolay Salazar Monterrey<sup>2</sup>,  
Rodrigo Contreras Flores<sup>2</sup>, David Sanchez Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, Campus universitario, Cota Cota La Paz, Bolivia.

<sup>2</sup>Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, Calle Reyes Ortiz No 41, La Paz, Bolivia.

**RESUMEN:** Durante el verano austral del 2017 se presentó El Niño Costero, fenómeno atmosférico que ha influido en la ausencia de precipitación e inundaciones en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia con pérdidas de vidas y de recursos económicos. Por lo que la pregunta fue ¿Que patrones atmosféricos han influido para que exista ausencia y excesos de precipitación en las diferentes regiones de Bolivia durante la presencia de El Niño Costero-2017? La respuesta es para tener una mejor comprensión de las amenazas naturales de América del sur. Para ello se empleó 30 años (1985-2015) de registro de precipitación mensual y diaria de 14 estaciones meteorológicas ubicadas en las cinco regiones de Bolivia, mapas de temperatura superficial del mar, animaciones, imágenes del GOES 13 del canal infrarrojo, reanálisis de NCEP/NCAR. A todos los datos e información se realizó el control de calidad, se aplicaron medidas de la estadística descriptiva y comparaciones cualitativas. Las conclusiones fueron: El origen de las aguas de El Niño Costero se originaron en el golfo de Chiriqui (Panamá) y en la Bahía de Coronado (Costa Rica). Durante enero en la región andina no precipitó durante 26 días y fue porque la corriente en chorro subtropical contribuyó al desplazamiento más hacia el suroeste de la Alta de Bolivia. Y en los llanos orientales la máxima precipitación fue de 125.2 mm en 24 horas ocasionando inundaciones debido a la intensificación e interrelación de sistemas de bajos, medios y altos niveles de la troposfera, y a la influencia de las altas presiones semipermanentes del Pacífico y del Atlántico que dieron lugar a precipitaciones convectivas y frontales.

**Palabras claves:** Niño Costero, Patrones atmosféricos, precipitación.

**ABSTRACT:** In the summer of 2017 appeared El Niño Costero, an atmospheric phenomenon which has influenced either in the absence of rainfalls or in floods in Colombia, Ecuador, Perú, and Bolivia causing the loss of human lives and economic resources. The main issue was which atmospheric parameters have influence to get such absence and excess of rainfalls in different regions around Bolivia during El Niño Costero in 2017? To have a better understanding of the natural threats in South America it has been used a rainfall record, sea surface temperature maps, animations, images and a reanalysis of NCEP/NCAR for the last 30 years from 14 weather stations located in 5 different regions of Bolivia. The whole data and information has been verified applying measurements of descriptive statistics and qualitative comparisons. As a conclusion: The origin of El Niño Costero's waters originated in the Chiriquí's gulf (Panama) and in Coronado Bay (Costa Rica). Moreover, on January the subtropical Jet stream has contributed to the displacement of the SO of Bolivian's high as a result there have not been any rainfalls for 26 days in the Andean region. On the other hand, in the eastern plains the maximum precipitation recorded 152,2 mm in 24 hours causing a large number of floods due to the intensification and interrelation of the high, medium and low level's systems. Another reason to point out is the influence of the semi-permanents Pacific high and the Atlantic high have caused intense convective and frontal rainfalls.

**Keywords:** Niño Costero, teleconnection patterns, precipitation, floods.

\*Autor para correspondencia: Guillermina Miranda Torrez. E-mail: [gmiranda@umsa.bo](mailto:gmiranda@umsa.bo)

Recibido: 28/05/2021

Aceptado: 28/02/2022

## INTRODUCCIÓN

El Niño Costero se define como la intensificación del calentamiento de las aguas superficiales del océano Pacífico frente a la costa del Ecuador y del Perú durante el verano austral. Esta anomalía es producida por el debilitamiento de la circulación de Hadley y de la circulación de Walker, del anticiclón del Pacífico y de los vientos alisios del sudeste, estas condiciones fortalecen el traslado de las corrientes de agua cálida del norte, lo que implica que las ondas de Kelvin no intervienen (Enfield, 1989; Huamani & Vargas, 2017; Marapi, 2015; Martínez et al., 2011, 2017; Ramos, 2014; Stuart et al., 1982; Wooster & Guillén, 1974). Cuando la elevación de la temperatura de las aguas superficiales del mar llega a ser más cálidas que el aire circundante; el calentamiento de las aguas del mar alcanza una profundidad aproximada de 40 m, sin embargo, no está asociada a la termoclina (Takahashi, 2017b). Normalmente, en la costa del Ecuador y del Perú se observa una inversión térmica que impide que se genere precipitaciones. Cuando la temperatura del aire se eleva en la costa, la inversión térmica termina y se restablece la circulación atmosférica, ésta dinámica genera intensas precipitaciones (ENFEN, 2012, 2017). También, el incremento de la temperatura del aire contribuye a la formación de la segunda banda de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) a la altura de la costa de Piura (05°12' S).

El Niño Costero-2017 ha estado relacionado a intensas precipitaciones y por consiguiente a inundaciones en las orillas de los ríos (Takahashi, 2017a); por ejemplo, se registró inundaciones en Colombia - Mocoa (CONPES, 2017) y en el Ecuador (Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos, 2017). En el Perú, El Niño Costero, ha estado relacionado a intensas precipitaciones e inundaciones tanto en 1925 como en el 2017 (Takahashi & Martínez, 2019). En Chile se calificó a "Enero 2017" como el mes más cálido de los últimos 100 años (Vicencio et al., 2017).

En Bolivia, los tres primeros meses de 2017, durante El Niño Costero, se ha presentado déficit y excesos

de precipitación que han provocado efectos negativos en la población, bienes y por ende en la economía (Tabla 1).

Frente a los efectos negativos de inicios del año 2017 en Bolivia, surge la pregunta ¿Qué patrones atmosféricos han influido para que se presenten déficit y excesos de precipitación en las diferentes regiones de Bolivia durante la presencia de El Niño Costero-2017? La respuesta a esta interrogante dará pautas del comportamiento de los patrones de circulación cuando surge el evento del Niño Costero en Sudamérica y sus posibles efectos sobre territorio boliviano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Bolivia, se halla situada en la zona central de América del Sur (Figura 1), entre los 57° 26' y 69° 38' de longitud oeste y 09° 38' y 22° 53' de latitud sur, con una altitud que va desde los 300 m hasta más de 6000 m. y una superficie de 1 098 581 kilómetros cuadrados. Presenta cinco regiones climáticas: andina, valles, amazonía, llanos tropicales y chaco.

En la figura 2 se muestra los climogramas de las grandes regiones de Bolivia, donde se refleja las temperaturas medias mensuales y las precipitaciones totales mensuales de 30 años (1985 - 2015).

Los principales patrones atmosféricos que influyen en la precipitación durante el verano en el hemisferio sur registrados en Bolivia (Miranda et al., 2017), son:

- Niveles bajos (1.000 m - 850 hPa.): Corriente en Chorro en bajos niveles, centros de alta y baja presión, dorsales, vaguadas y frentes (fríos y cálidos).
- Niveles medios (5.000 m - 500 hPa.): altos y bajos valores de geopotencial, vaguadas y dorsales.
- Niveles altos (12.000 m - 250 hPa.): Alta de Bolivia, Vórtice ciclónico en altos niveles, corriente en chorro subtropical, corriente en chorro polar norte, vaguadas, dorsales y vaguada del este del Brasil (VCAN).

Tabla 1. Efectos adversos de precipitación por departamentos, del 25-Nov-2016 al 03-Abr-2017

Departamento	Familias afectadas	Viviendas afectadas	Personas fallecidas	Cultivos (Has) afectados	Ganado Afectado
CHUQUISACA	2798	71	8	2305	385
COCHABAMBA	3131	39	8	2414	0
POTOSI	2364	67	8	1408	400
LA PAZ	5795	705	1	7246	0
SANTA CRUZ	942	101	2	3419	95
ORURO	165	0	0	2	350
TARIJA	609	0	1	350	0
<b>TOTAL</b>	<b>15 804</b>	<b>983</b>	<b>28</b>	<b>17144</b>	<b>1230</b>

Fuente: Sistema Integrado de Información y Alerta para la Gestión de Riesgo de Desastres SINAGER-SAT dependiente del Viceministerio de Defensa Civil, datos proporcionados por la Unidad de Preparación y Suministros de Defensa Civil, Unidad de gestión de riesgos, Centro de operaciones de emergencia departamentales y Sectores<sup>1</sup>

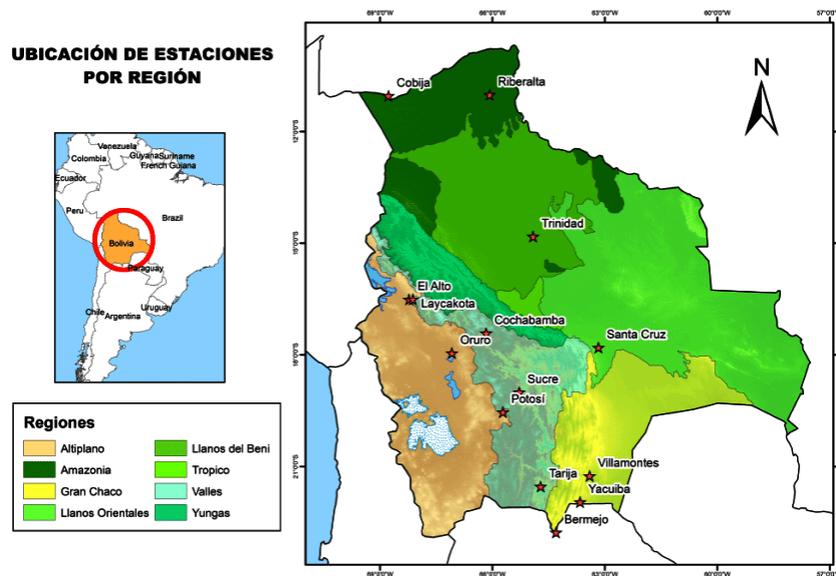


Figura 1. Área de estudio y ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas de Bolivia

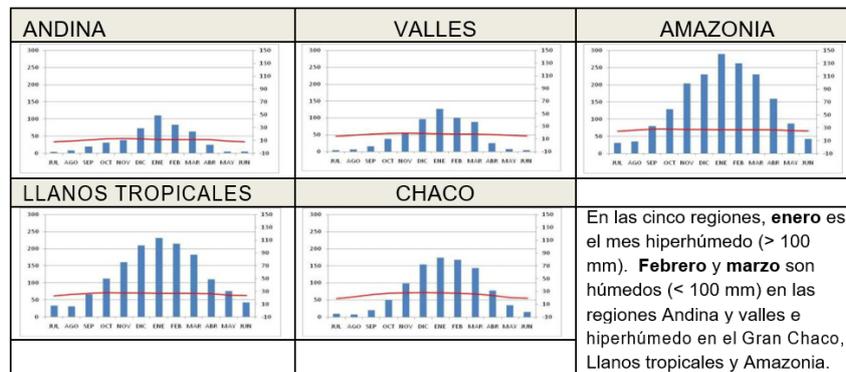


Figura 2. En las cinco regiones, **enero** es el mes hiperhúmedo (> 100 mm). **Febrero** y **marzo** es húmedo (< 100 mm) en las regiones Andina y valles e hiperhúmedo en el Gran Chaco, Llanos tropicales y Amazonia.

### Datos e información

Se utilizaron datos mensuales de precipitación de 1985 a 2015 (30 años) y datos diarios de precipitación de enero, febrero y marzo 2017, de 13 estaciones meteorológicas aeroportuarias: El Alto, Oruro, Potosí, Cochabamba, Sucre, Tarija, Cobija, Ribalta, Trinidad, Santa Cruz, Villamontes, Yacuiba y Bermejo; y una estación meteorológica: Laykakota - La Paz, ubicadas en las cinco regiones de Bolivia. Las estaciones son operadas y registradas por la Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea - AASANA, los datos son resguardados y administrados por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI<sup>2</sup>

También, se emplearon mapas semanales de la temperatura superficial del mar elaborado por el Instituto

Oceanográfico y Antártico de la Armada de Ecuador - UKMO/INOCAR<sup>3</sup>

Además, se utilizó y analizó la información de los mapas la temperatura superficial del mar, hoja TSM-Pacífico de 10 km resolución procesado por el Instituto del mar del Perú

- IMARPE<sup>4</sup>

Para el análisis de circulación atmosférica, se trazaron e interpretaron mapas en los diferentes niveles.

- Se utilizaron datos de vientos zonal y meridional de NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) a diferentes niveles troposféricos (200, 500, 850 hPa. y de superficie) de enero, febrero y marzo de 2017.
- Información de Earth school, con Proyección ortográfica y como variable vientos a diferentes niveles (250, 500 y 850 hPa.).

<sup>2</sup>Disponible en: <http://www.senamhi.gob.bo>

<sup>3</sup>Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php>

<sup>4</sup>Disponible en: <http://www.imarpe.gob.pe>

- Imágenes de satélite de GOES 13, T-realzada, de hrs. 00.00 UTC (20.00 hora boliviana), registrada por el Instituto Nacional de Investigación Espacial-INPE para la identificación y movimientos de nubes.

### Análisis estadístico

Los procedimientos para los datos diarios y mensuales de precipitación, fueron:

- Para el control de calidad de la serie de datos, se ha realizado el análisis exploratorio gráfico (gráfica de serie de tiempo, diagrama de cajas, gráfica de doble masa y gráfica de normalidad), recomendado por [Castro & Carvajal \(2010\)](#) y un análisis confirmatorio con la prueba no paramétricas del test de Mann-Kendall para la tendencia de la serie y la prueba t de Student para la homogeneidad de la serie ([Le Goulven et al., 1988](#); [OMM, 2018](#); [Puertas et al., 2011](#)).
  - Aplicación de los parámetros de la estadística descriptiva: tendencia central, dispersión, posición y medidas de forma; gráficos de caja e identificación del percentil 90 ([Rusticucci & Barrucand, 2001](#); [Wanderson et al., 2015](#)) para los valores extremos superiores de precipitación. Además, de cada registro se contó el número de días sin precipitación para puntualizar el déficit de precipitación.
  - Comparación de imágenes de satélite GOES 13, de INPE con la información de los mapas de INOCAR (Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador) y NCEP/NCAR para identificar los patrones atmosféricos de déficit y excesos de precipitación a escala sinóptica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características de El Niño Costero, 2017

En base a la información de INOCAR y NCEP/NCAR, se identificó que la ubicación geográfica de El Niño Costero durante enero a marzo de 2017 es similar a la ubicación geográfica de El Niño 1+2 (0°-15° LS y 90°W - 80°W) ([ENFEN, 2017](#)).

En ambos eventos se manifiesta el debilitamiento de los vientos alisios del sudeste, al inicio del verano austral; durante el Niño Costero los vientos alisios del noreste se intensificaron ([Ormaza & Cedeño, 2018](#)) y desplazaron las aguas cálidas de Centroamérica ([Garreaud, 2018](#); [Urbizagastegui Alvarado & Contreras Contreras, 2018](#)), concretamente del golfo de Chiriqui (7.05°- 8.05°N y 80.97 - 82.89°W) hacia las costas del Ecuador y Perú, lo que también descarta la presencia de ondas Kelvin como “iniciadores de la convectividad” del evento ([Galdos & Mosquera, 2018](#)). En El Niño 1+2 las aguas provienen del Pacífico tropical

vinculados al ciclo de Walker y a las ondas de Kelvin ([Ramírez & Briones, 2017](#)).

De la interpretación de los mapas de IMARPE (0°-22° S y 70° - 90° W), se tiene que las isotermas han avanzado desde los 4° hasta los 22° S, permanecieron desde la primera semana de enero hasta la última semana de marzo. En los mapas de temperatura superficial del mar de UKMO/INOCAR se visualizó desde el golfo de Chiriqui (Panamá) hasta los 10° S, abarcando un área entre los 10° N - 10° S y 70° - 110° W, que desde enero a marzo se registraron temperaturas de 24°C a 30°C. Las isotermas de 29°C y 30°C se concentraron entre el golfo de Chiriqui hasta la bahía de Coronado (Panamá) a partir de la segunda semana de febrero hasta fines de marzo. La isoterma de 27°C se extendió desde la línea del ecuador hasta los 10° S la última quincena de febrero. La isoterma de 26°C en la línea del ecuador permaneció todo enero.

Las isotermas de 24°C y 25°C se registraron entre los 5° a 10° S, permaneciendo todo enero. La isoterma de 28°C pasó al hemisferio sur la tercera semana de febrero, incrementando su valor hasta los 30°C. El área que ocupó la isoterma de 30°C fue desde el golfo de Chiriqui hasta 90° W y 5° N. Los mapas de IMARPE y UKMO/INOCAR, muestran que el incremento de la temperatura fue desde los 4° N hasta los 22° S, siguiendo los vientos de N a S (componente meridional). La dirección de los vientos impulso a que la zona de convergencia intertropical (ZCIT) se desplazara desde 4° - 5° N a 8° S ([Ormaza & Cedeño, 2018](#)). La segunda quincena de marzo la temperatura superficial del mar superó los 29°C ([Garreaud, 2018](#); [Rojas et al., 2019](#)) lo que impulsó al proceso de la evaporación y formación de estratocumulus en la región costera de Piura, Lambayeque y La Libertad, del Perú.

### Descripción del promedio mensual y el total mensual de las precipitaciones, de enero a marzo del 2017

En la [tabla 2](#), se observa el total de la precipitación mensual (enero, febrero y marzo) por regiones y la precipitación normal de 1985-2015. Durante enero, en las cinco regiones ha existido déficit de precipitación en comparación a las normales. En febrero y marzo en las cinco regiones se ha presentado déficit y exceso de precipitación en comparación a su normal. Al no contar con información sobre el Niño Costero en Bolivia, se tomó en cuenta la referencia del fenómeno de El Niño, en ese sentido, los efectos más significativos de la anomalía de El Niño en territorio boliviano, son: incremento de la temperatura del aire y la precipitación es deficitaria en las regiones del altiplano, valles y chaco; sin embargo, en la región oriental (amazonia, y llanos orientales) se presentan precipitaciones por encima de lo normal ([Pabón & Montealegre, 2017](#)). Así mismo, se indica que enero es el mes en el que se registra la mayor precipitación sobre el Altiplano

central de Bolivia (Andrade et al., 2018; Andressen et al., 2007; Garreaud, 2018).

En relación a los valores extremos, los mayores porcentajes de déficit fueron, en enero Cochabamba con 51.0 %; en febrero fue en Bermejo con 82.8 % y en marzo fue en Oruro con 74.7 %. En relación a los mayores porcentajes de excesos de precipitación, se tiene, en febrero en Santa Cruz de la Sierra con 54.8 % y en marzo en Potosí con 145.4 %.

Los déficits de precipitación pueden condicionar a sequías, pero para que se presente una sequía debe existir ausencia continua de precipitación durante dos a tres meses consecutivos (Camilloni et al., 2020),

razón por la cual se denomina solamente ausencia de precipitación.

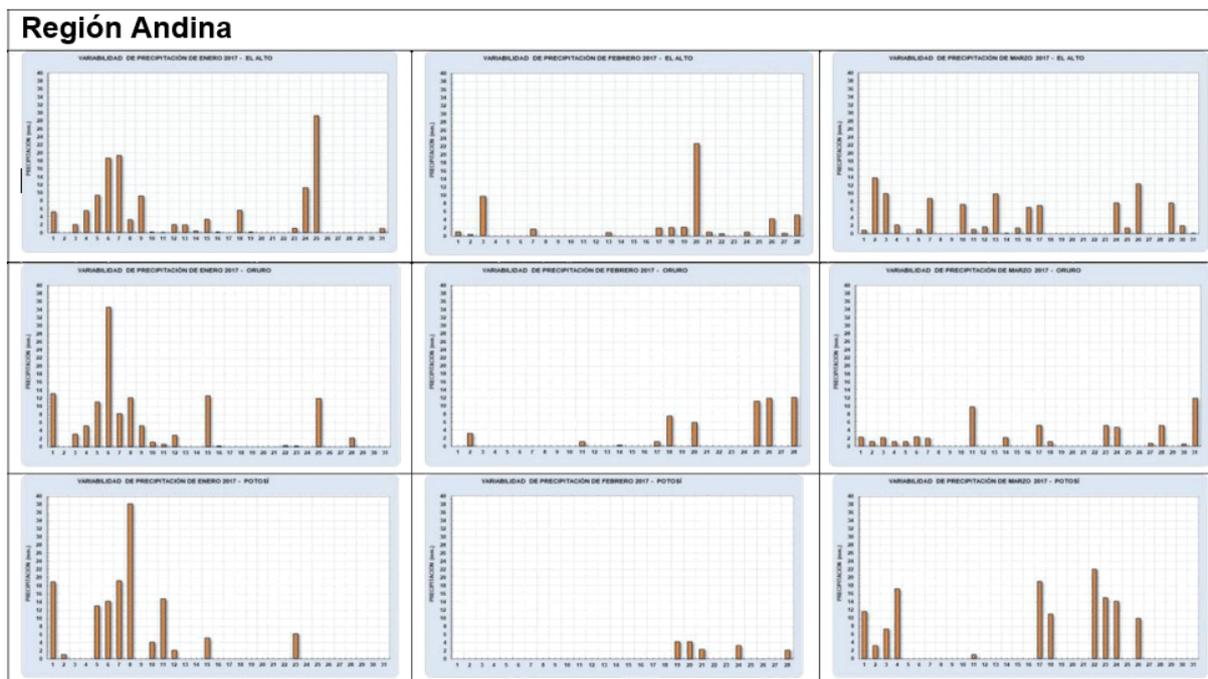
En referencia a la distribución temporal de la precipitación en los tres meses (enero, febrero y marzo 2017), se tiene:

• **Región Andina**

La distribución de la precipitación (Figura 3), en la estación meteorológica de El Alto, es regular; en Oruro 8 días (3 al 10 de febrero) sin precipitación; en Potosí, se llegó a tener 26 días sin precipitación, del 24 de enero al 18 de febrero.

**Tabla 2.** Precipitación/mm promedio mensual y total 2017 de las regiones de Bolivia

REGION	ESTACION	ENERO		FEBRERO		MARZO	
		NORMAL	TOTAL 2017	NORMAL	TOTAL 2017	NORMAL	TOTAL 2017
ANDINA	EL ALTO	141,9	130,3	100,0	125,4	81,2	137,3
	ORURO	93,9	55,7	75,2	54,9	65,3	16,5
	POTOSI	103,3	83,8	62,2	16,5	53,9	132,3
	LA PAZ	122,9	104,8	80,3	42,2	67,9	91,9
VALLES	COCHABAMBA	115,5	56,6	81,2	105,4	74,1	93,7
	SUCRE	138,3	122,3	108,4	135,0	96,7	91,4
	TARIJA	141,4	98,9	100,4	109,3	92,2	132,7
AMAZONIA	COBIJA	274,0	196,4	284,3	290,7	251,0	302,2
	RIBERALTA	315,7	309,1	284,3	215,8	251,0	187,8
LLANOS ORIENTALES	TRINIDAD	305,9	157,9	245,4	231,9	235,5	199,8
	SANTA CRUZ	193,1	134,2	171,0	264,8	148,6	199,1
	VILLAMONTES	151,0	111,4	129,0	181,7	162,0	171,8
CHACO	YACUIBA	233,9	128,6	205,0	130,2	233,1	205,7
	BERMEJO	226,0	126,5	223,0	38,3	182,0	111,9



**Figura 3.** Precipitaciones (mm) de enero, febrero y marzo de 2017 de la región Andina, El Alto, Oruro y Potosí. En el eje de las abscisas (x) días y en el eje de las ordenadas (y) la precipitación/mm.

• **Región de los Valles**

Según la distribución temporal de la precipitación (Figura 4), en Laycakota - La Paz, se llegó a tener una ausencia de precipitación de 11 días (8-16 de febrero), en Cochabamba, Sucre y Tarija la distribución de la precipitación fue a lo largo de los tres meses.

• **Región de la Amazonía**

La distribución de la precipitación (Figura 5), en Cobija fue regular a lo largo de los tres meses. En Riberalta, se llegó a tener una ausencia de precipitación de 7 días (25-31 de marzo). Los picos de la precipitación en Cobija, se registró el 14 de febrero con 65.4 mm y el 8 de marzo con 66.1 mm.

• **Región de los Llanos orientales**

La distribución de la precipitación (Figura 6), en Trinidad y Santa Cruz fue regular a lo largo de los tres

meses. Los picos de precipitación en Trinidad, fue de 71.0 mm el 13 de febrero y 54.4 mm el 2 de marzo. En Santa Cruz, el 23 de enero con 62.8 mm, el 11 de febrero con 125.2 mm y el 6 de marzo con 57.3 mm.

• **Región del Chaco**

En relación a la distribución temporal de la precipitación (Figura 7), se tiene, que en Villamontes, se llegó a tener ausencia de precipitación de 9 días (12 - 20 de enero) y de 13 días (8 - 20 de marzo), en las otras estaciones la distribución de la precipitación fue regular a lo largo de los tres meses. El 11 de febrero, en Villamontes se registró 55.7 mm de precipitación.

Comparando la precipitación normal (1985-2015) y la precipitación mensual de enero, febrero y marzo 2017, en Potosí (andina), de forma consecutiva no precipitó durante 26 días y en Santa Cruz (llanos orientales) la máxima precipitación en 24 horas fue

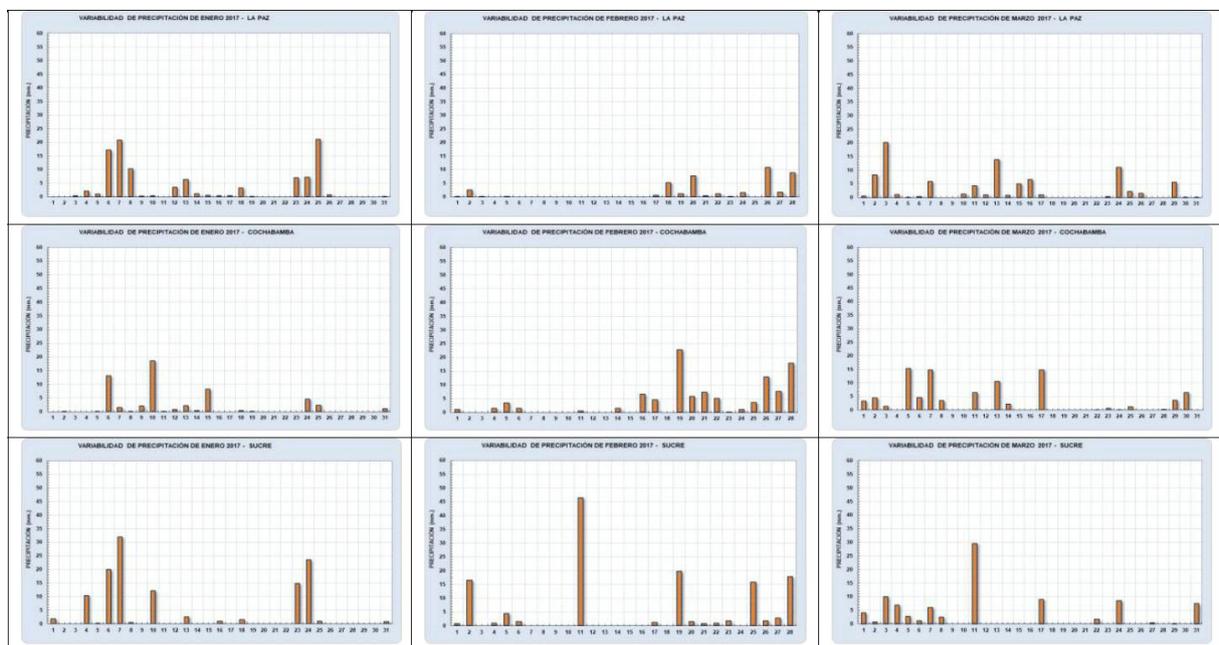


Figura 4. Precipitaciones (mm) de enero, febrero y marzo de 2017 de la región de los Valles: La Paz, Cochabamba, Sucre y Tarija. En el eje de las abscisas (x) días y en el eje de las ordenadas (y) la precipitación/mm.

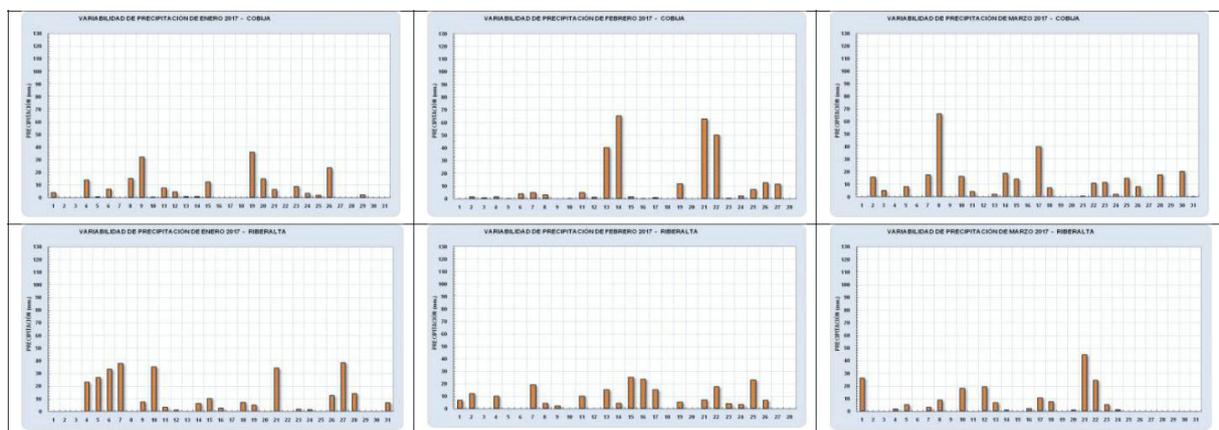
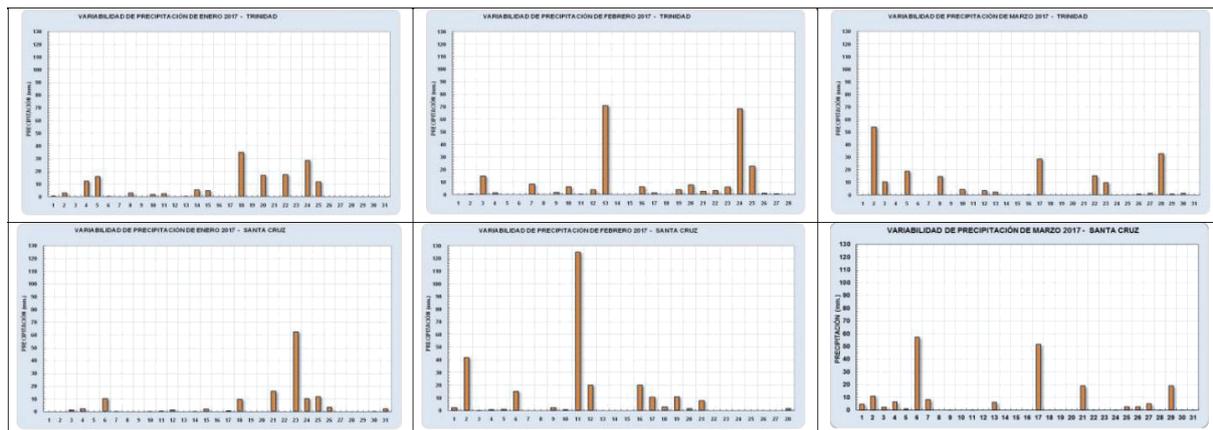
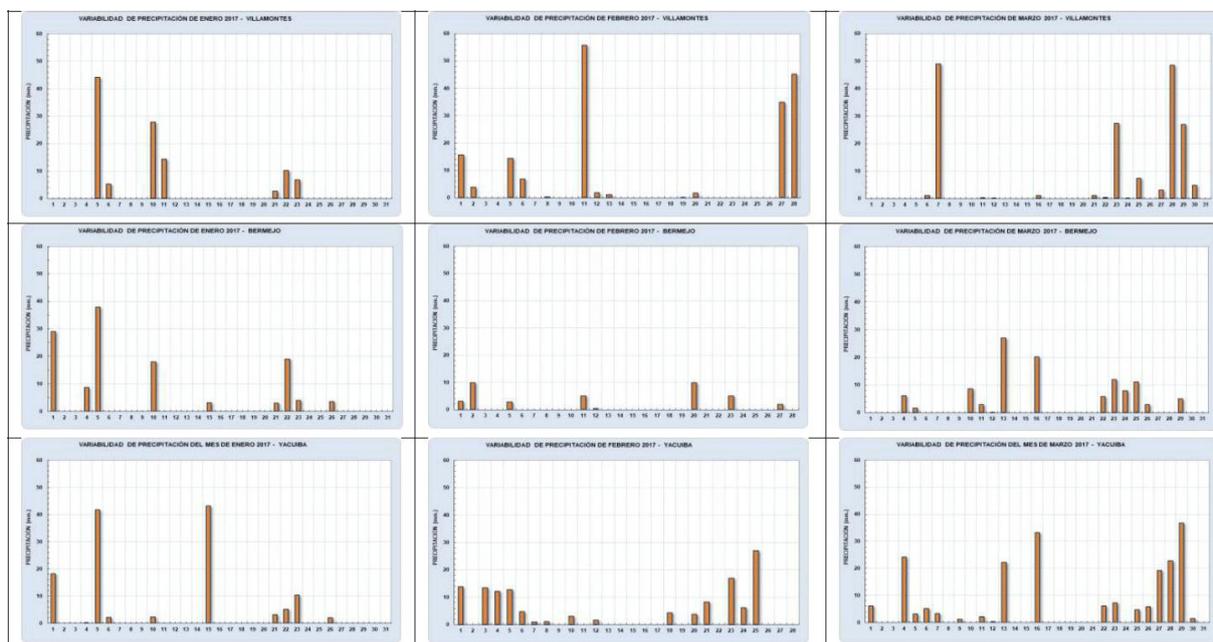


Figura 5. Precipitaciones (mm) de enero, febrero y marzo de 2017 de la región Amazonia, Cobija y Riberalta. En el eje de las abscisas (x) días y en el eje de las ordenadas (y) la precipitación/mm.



**Figura 6.** Precipitaciones (mm) de enero, febrero y marzo de 2017 de la región de los Llanos orientales, Trinidad y Santa Cruz. En el eje de las abscisas (x) días y en el eje de las ordenadas (y) la precipitación/mm.



**Figura 7.** Precipitaciones (mm) de enero, febrero y marzo de 2017 de la región del Chaco: Villamontes, Bermejo y Yacuiba. En el eje de las abscisas (x) días y en el eje de las ordenadas (y) la precipitación/mm.

de 125.2 mm que ocasiono inundaciones. Al no contar con información referencial, se empleó la información del periódico El Diario, de inicios del 2017; de ello, se tiene:

- Enero, pese a que ha registrado déficit de precipitación se llegó a tener inundaciones en la región andina, este evento se presentó porque la precipitación se dio durante 10 días consecutivos, sumando a 84.4 mm.
- Febrero, del 09 al 12 se registró 148.1 mm. de precipitación lo que ocasionó inundaciones en los llanos orientales. En los valles, el 11 se registró 46.4 mm. y 7.8 mm en Sucre y en Tarija respectivamente, las precipitaciones fueron de forma de líquida y sólida.
- Marzo, al sur de la región andina se ha registrado ausencia de precipitación lo que ha afectado

a la producción agrícola; también, en el resto de la región ha existido inundaciones, a inicios del mes precipitando 6 días de forma consecutiva. Así mismo en la región de los valles se ha registrado inundaciones.

En relación a las inundaciones, los mecanismos desencadenantes de flujos aluviales son principalmente las precipitaciones intensas (60mm/24hr), pero éstos están condicionados por la geomorfología, cobertura vegetal y disponibilidad de material fragmentario suelto (Hauser, 2000).

#### Patrones meteorológicos durante las ausencias de precipitaciones

En el anexo A se muestra las imágenes de satélite Goes-13 y el flujo de vientos del reanálisis de los patrones de circulación atmosférica que influyeron en

el déficit de precipitación durante 26 días (24 de enero al 18 de febrero de 2017). La estación meteorológica de Potosí, está a una altitud de 3935 m, por esta razón se analizaron dos capas atmosféricas: 200 y 600 hPa.

- En las imágenes de satélite Goes-13, se observa que sobre la región andina ha predominado el color gris tenue, es decir ausencia de nubes convectivas.
- En niveles altos (200 hPa), la Alta de Bolivia en 55 años (1951 - 2016) tiene una posición normal en enero de 17.6 S - 061.2 W, y febrero de 18.3 S - 063.0 W, durante este evento tuvo una posición desplazada más al noreste de su normal en ambos meses. Los días 30 y 31 de enero, 1 y 2 de febrero la Alta de Bolivia pierde energía y se convierte en una dorsal desplazada hacia el norte.
- En niveles medios (600 hPa.), el predominio de los flujos en el altiplano boliviano fue de dirección norte. El alta migratoria del Pacífico influyó durante 3 días en el continente sudamericano. Se formó un sistema de bajo geopotencial sobre el lago Titicaca que duró 4 días. También, se observa la formación de un sistema de alto geopotencial frente a la costa del Chile y Perú, durante 3 días. El 17 de febrero se forma una vaguada invertida lo que ocasiono cielo despejado en el altiplano de Bolivia.

De la relación de la información de las imágenes de satélite Goes-13 con la lectura de las cartas de altura, se confirma que en la región del altiplano no se formaron nubes convectivas, por lo consiguiente no existió precipitación durante 26 días. Durante la estación del verano austral, la Alta del Pacífico sur migra de 32° a 36° S y de 92° a 99° W (Andressen et al., 2007) es decir, da lugar a que la Alta de Bolivia desplace vientos del este cargados de humedad, dando lugar a la época de precipitación en el altiplano (Garreaud, 2018). Lo que demuestra que efectivamente el Niño Costero ha influido para que exista ausencia de precipitación durante 26 días (enero y febrero).

#### **Patrones meteorológicos durante las precipitaciones máximas diarias**

Con la animación de las imágenes de satélite GOES-13 y T-realzada, se identificó nubes convectivas (cumulonimbus), cirrus y otras nubes asociadas. También, se observó la dirección de desplazamiento de algunos patrones meteorológicos y el movimiento de los centros de la circulación anticiclónica (Anexo B). Por la diferencia de altitudes de las regiones en Bolivia, se ha considerado para la región Andina dos niveles: 200 y 500 hPa, para los valles tres niveles: 200, 500 y 850 hPa, para la amazonía, llanos orientales y chaco, cuatro niveles: 200, 500, 850 hPa y superficie.

Los patrones meteorológicos comunes que se presentaron en las precipitaciones máximas diarias mensuales (enero, febrero y marzo) son:

- Con formación de complejos convectivos de mesoescala (CCM) se han registrado cuatro eventos (11 de febrero, 05, 08 y 16 de marzo); los fenómenos meteorológicos comunes son: en niveles bajos, el corriente en chorro que corre por las estribaciones de la cordillera oriental y en niveles altos la Alta de Bolivia y el Vórtice ciclónico de altos Niveles (VCAN). La advección de humedad del océano Atlántico y de la región amazónica es durante el verano (D, E, F y M), la humedad se transporta meridionalmente mediante el corriente en chorro de bajos niveles (JBN) hasta la región pampeana de la Argentina (Espinoza et al., 2020; Siqueira et al., 2020). También, el acople de la Alta de Bolivia (AB, geopotencial en 200hPa) con la corriente en chorro de bajos niveles fortalece la formación y el desarrollo de complejos convectivos de mesoescala (CCM) en la región oriental de Bolivia (Mamani, 2012). Al acople se suman, en niveles bajos, la vaguada ecuatorial (NET), las vaguadas de onda corta y las altas presiones semipermanentes del Pacífico y del Atlántico y los frentes provenientes del sur. Durante el verano austral, los CCM frecuentemente presentan precipitaciones de carácter torrencial en horas de la madrugada que causan importantes inundaciones (Hogancamp, 2017). Es necesario recalcar, que durante todas las etapas de VCAN el 90% de los casos está relacionado a la Alta de Bolivia (AB, geopotencial en 200hPa) (Dias & Tomaziello, 2008; Lima, 2010). Para cerrar, cuando se manifiesta el Niño 1+2 se registran más presencia del VCAN al interior del continente (Lima, 2010) (Lima, 2010).
- Con formación de cúmulos convectivos (CC) se tiene dos tipos de precipitaciones: a) convectivas, 6, 8 y 22 de enero y b) frontales el 13 de febrero y 02 de marzo. En la región andina, el intenso calentamiento solar sobre la superficie del mismo desestabiliza la capa límite, lo que induce a una convección profunda, a este forzamiento se suma la circulación divergente entre los niveles geopotenciales de 300 a 200 hPa. (Alta de Bolivia) que ocasiona lluvias en la tarde y por la noche (Vuille, 1999). Además, los sistemas de frentes fríos del sur penetran en Bolivia generando bajas temperaturas e intensas precipitaciones cuando choca con masas de aire cálido tropical (Ronchail & Gallaire, 2006) provenientes del norte.

## CONCLUSIONES

El Niño Costero y El Niño (1+2) son similares en las fases iniciales, desarrollo y madurez. Se diferencian en el origen de las aguas cálidas superficiales, para el Niño Costero el origen está en el golfo de Chiriqui (Panamá) y en la Bahía de Coronado (Costa Rica), para El Niño (1+2) el origen está en el Pacífico central asociado a las ondas de Kelvin. Lo que implica que el traslado de aguas cálidas superficiales durante El Niño Costero tiene un componente meridional.

La influencia de El Niño Costero-2017 alteró los patrones de circulación de la atmósfera que predomina sobre Bolivia de enero a marzo del 2017. Durante la ausencia de la precipitación de 26 días la Alta de Bolivia ha estado ubicado más al sur de su posición promedio por el debilitamiento de la corriente en chorro Subtropical.

Durante las intensas precipitaciones de febrero y marzo en las cinco regiones de Bolivia ha predominado Complejos Convectivos de Mesoescala, reforzados por la corriente en chorro en bajos niveles, la Alta de Bolivia (AB) y el vórtice ciclónico de altos niveles o vaguada en niveles altos (geopotencial de 200hPa). Así como la formación de cúmulos Convectivos que ocasionaron precipitaciones convectivas y precipitaciones frontales que dieron lugar a intensas precipitaciones que ocasionaron inundaciones.

## RECOMENDACIONES

A manera de recomendación, el fenómeno regional “El Niño Costero” por la complejidad física de su escenario debe ser abordado con mayor detenimiento para ser aprovechada en la predicción de las precipitaciones principalmente en la región andina. Por otra parte, se debe realizar un seguimiento riguroso al sistema de la celda de Hadley, y la alta presión semipermanente del Pacífico, en lo que se refiere a su ubicación y a la altura a la que alcanza su influencia. También, se debe realizar un seguimiento a la corriente en chorro subtropical en niveles altos en lo que se refiere a la velocidad y a la formación de meandros y su relación con la corriente en chorro polar rama norte. Y finalmente, definir un umbral de las intensas precipitaciones que ocasionan inundaciones.

## REFERENCIAS CONSULTADAS

Andrade, M. F., Moreno, I., Calle, J. M., Ticona, L., Blacutt, L., Lavado-Casimiro, W., Sabino, E., Huerta, A., Aybar, C., & Hunziker, S. (2018). *Atlas-Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano 1981-2010*. Geographica Bernensia. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/262> >

Andressen, R., Monasterio, M., & Terceros, L. F. (2007). Regímenes climáticos del altiplano sur de

Bolivia: Una región afectada por la desertificación. *Revista geográfica venezolana*, 48(1), 11-32.

Camilloni, I., Barros, V., Moreiras, S., Poveda, G., & Brasil, J. T. (2020). Inundaciones y sequías. En *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos* (pp. 391-417). McGraw-Hill. [http://riocadap.com/wp-content/uploads/2020/07/10\\_Cap\\_10\\_CambioClimatico.pdf](http://riocadap.com/wp-content/uploads/2020/07/10_Cap_10_CambioClimatico.pdf)

Castro, L. M., & Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 9, 15-25.

CONPES. (2017). *Plan para la Reconstrucción del Municipio de Mocoa, 2017-2022* (p. 92) [Plan de Gobierno]. Departamento Nacional de Planeación de la República de Colombia. <http://www.camara.gov.co>

Días, J., & Tomaziello, A. (2008). *Vórtices Ciclónicos de Altos Niveles de origen tropical e extratropical sobre o Brasil: Análise sinótica*. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia e XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. [https://www.researchgate.net/publication/271910329\\_Vortices\\_Ciclonicos\\_de\\_Altos\\_Niveis\\_de\\_origem\\_tropical\\_e\\_extratropical\\_sobre\\_o\\_Brasil\\_analise\\_sinotica](https://www.researchgate.net/publication/271910329_Vortices_Ciclonicos_de_Altos_Niveis_de_origem_tropical_e_extratropical_sobre_o_Brasil_analise_sinotica)

ENFEN. (2012). *Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú* (p. 3) [Nota Técnica]. Estudio Nacional del fenómeno “El Niño”. [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_infcto\\_nota\\_tecnico\\_abril2012.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infcto_nota_tecnico_abril2012.pdf)

ENFEN. (2017). *El Niño Costero 2017* (Informe Técnico Extraordinario N°001-2017; p. 30). Estudio Nacional del fenómeno “El Niño”. <http://enfen.gob.pe/download/informe-tecnico-el-nino-costero-2017>

Enfield, D. B. (1989). El Niño, past and present. *Reviews of geophysics*, 27(1), 159-187.

Espinoza, J. C., Garreaud, R., Poveda, G., Arias, P. A., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., Viale, M., & Scaff, L. (2020). Hydroclimate of the Andes Part I: main climatic features. *Frontiers in Earth Science*, 8, 64.

Galdos, A. W., & Mosquera, K. A. (2018). Observando el océano durante el evento El Niño costero 2017. *Boletín Técnico*, 5(1), 2. <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4665>

Garreaud, R. D. (2018). A plausible atmospheric trigger for the 2017 coastal El Niño. *International Journal of Climatology*, 38, 1296-1302.

Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile* (p. 89) [Informe Nacional]. Servicio Nacional de Geología y Minería. [https://portalgeo.sernageo.min.cl/Informes\\_PDF\\_Nac/RM-2000-09.pdf](https://portalgeo.sernageo.min.cl/Informes_PDF_Nac/RM-2000-09.pdf)

Hogancamp, K. J. (2017). *Characterizing South American Mesoscale Convective Complexes Using*

- Isotope Hydrology* [Masters Theses, Department of Geography and Geology Western Kentucky University]. <http://digitalcommons.wku.edu/theses/1937>
- Huamani, C., & Vargas, P. (2017). Azúcar y avenidas en el valle de Chicama: El impacto del fenómeno El Niño de 1925-1926 en la Hacienda Roma. *Revista DiaCrónica, Año VI(4)*, 63-73. <https://revistadiacronica.wordpress.com/2017/03/09/azucar-y-avenidas-en-el-valle-de-chicama-el-impacto-del-fenomeno-el-nino-de-1925-1926-en-la-hacienda-roma/>
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, Lev, Iredell, Mark, Saha, Suranjana, White, Glenn, Woollen, John, & others. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 77(3), 437-472. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Le Goulven, P., Alemán, M., & Osorno, I. (1988). *Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional*. 95-118. <https://www.researchgate.net/publication>
- Lima, E. (2010). *Influência dos fenômenos acoplados oceano atmosfera sobre os vórtices ciclônicos de altos níveis observados no Nordeste do Brasil* [Tesis de Doctorado en Meteorología, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG]. <http://lattes.cnpq.br/6245822021636784>
- Mamani, H. (2012). *Análisis de sistemas y complejos convectivos* [Bachelor Thesis, Facultad Técnica, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/13886>
- Marapi, R. (2015). Un << Nino>> de invierno que puede convertirse en un fuerte << Nino>> de verano: Entrevista a Pablo Lagos. *La revista agraria*, 177.
- Martínez, R., Rivadeneira, A., & Nieto, J. (2011). *Guía de buenas prácticas para la predicción estacional en Latinoamérica* (p. 55). Centro internacional para la investigación del fenómeno El Niño-CIIFEN. <https://www.researchgate.net/publication/256980652>
- Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J. J., Hernández, J., & Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, 68, 65-78.
- Miranda, G., Campero, S., & Chura, O. (2017). Caracterización del clima del valle de la ciudad de La Paz. En M. I. Moya, R. I. Meneses, & J. Sarmiento (Eds.), *Historia Natural del Valle de La Paz* (3ra ed., pp. 40-61). Museo Nacional de Historia Natural.
- OMM. (2018). *Guía de prácticas climatológicas* (Edición de 2018). OMM.
- Ormaza, F. I., & Cedeño, J. M. (2018). *El Niño Costero 2017 in Niño 1+2 or simply: The Carnival Warming event?* 4th International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans (ECCWO). <https://www.researchgate.net/publication/325815892>
- Pabón, J. D., & Montealegre, J. E. (2017). *Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Puertas, O. L., Carvajal, Y., & Quintero, M. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia. *Dyna*, 78(169), 112-120.
- Ramírez, I. J., & Briones, F. (2017). Understanding the El Niño Costero of 2017: The Definition Problem and Challenges of Climate Forecasting and Disaster Responses. *International Journal of Disaster Risk Science*, 8(4), 489-492. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0151-8>
- Ramos, L. Y. (2014). *Estimación del efecto del cambio climático en la precipitación en la costa norte del Perú usando simulaciones de modelos climáticos globales* [Bachelor's tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina.]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1899>
- Rojas, C., Escudero, L., Alburqueque, E., & Xu, H. (2019). Características de El Niño Costero 2017 mediante observación satelital. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 34(1), 91-104.
- Ronchail, J., & Gallaire, R. (2006). ENSO and rainfall along the Zongo valley (Bolivia) from the Altiplano to the Amazon basin. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(9), 1223-1236.
- Rusticucci, M., & Barrucand, M. (2001). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorologica*, 26, 69-84.
- Siqueira, M., Batista, C., Ambrizzi, T., Drumond, A., & Nunes, N. (2020). South America climate during the 1970-2001 Pacific Decadal Oscillation phases based on different reanalysis datasets. *Frontiers in Earth Science*, 359. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00064>
- Stuart, D., Barber, R., Namias, J., Lagos, P., Wyrski, K., Rountree, P. R., Parra, S. R., O'Brien, J. J., & Newell, R. (1982). 1982. Prediction of "El Niño" [SCOR Working Group 55]. Scientific Committee on Oceanic Research. [http://www.scor-int.org/SCOR\\_WGs\\_Past.htm](http://www.scor-int.org/SCOR_WGs_Past.htm)
- Takahashi, K. (2017a). Fenómeno El Niño: Global vs Costero. En K. Morón (Ed.), *Avances en la ciencia de El Niño. Colección de Artículos de Divulgación Científica 2017* (p. 52). Instituto Geofísico del Perú.

- Takahashi, K. (2017b). Física del Fenómeno El Niño “Costero”. En K. Morón (Ed.), *Avances en la ciencia de El Niño. Colección de Artículos de Divulgación Científica 2017* (p. 52). Instituto Geofísico del Perú.
- Takahashi, K., & Martínez, A. G. (2019). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52(12), 7389-7415.
- Urbizagastegui Alvarado, R., & Contreras Contreras, F. (2018). Análisis del fenómeno El Niño Costero por el método de las palabras asociadas. *Ciência da Informação*, 47(3), 117-139.
- Vicencio, J., Cortés, C., Campos, D., & Tudela, V. (2017). *Enero 2017: Un mes de récords* (p. 13) [Informe climático especial]. Dirección meteorológica, secciones de Climatología y Meteorología Agrícola. [https://www.opia.cl/601/w3-article-78064.html?\\_external\\_redirect=articles-78064\\_archivo\\_01.pdf](https://www.opia.cl/601/w3-article-78064.html?_external_redirect=articles-78064_archivo_01.pdf)
- Vuille, M. (1999). Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 19(14), 1579-1600.
- Wanderson, L. S., Nascimento, M. X., & Menezes, W. F. (2015). Atmospheric blocking in the South Atlantic during the summer 2014: A synoptic analysis of the phenomenon. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(04), 386.
- Wooster, W. S., & Guillén, O. (1974). Características de El niño en 1972. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 3(2), 44-72.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

**Contribución de los autores: Conceptualización:** Guillermina Miranda Torrez, Marisol Portugal Álvarez, Nikolay Salazar Monterrey, Rodrigo Contreras Flores y David Sánchez Castro. **Conservación de datos :** Guillermina Miranda Torrez, Marisol Portugal Álvarez, Nikolay Salazar Monterrey, Rodrigo Contreras Flores y David Sánchez Castro. **Invesatigación:** Guillermina Miranda Torrez, Marisol Portugal Álvarez, Nikolay Salazar Monterrey, Rodrigo Contreras Flores y David Sánchez Castro. **Análisis formal:** Guillermina Miranda Torrez, Marisol Portugal Álvarez, Nikolay Salazar Monterrey, Rodrigo Contreras Flores y David Sánchez Castro. **Redacción-revisión y edición:** Guillermina Miranda Torrez, Marisol Portugal Álvarez, Nikolay Salazar Monterrey, Rodrigo Contreras Flores y David Sánchez Castro.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)