

Análisis de tendencia climática en datos diarios de temperatura para Panamá con RCLIMDEX: 1988-2019

Extreme climate events analysis in daily temperature data for Panama with RCLIMDEX: 1988-2019

Anabel Ramírez Bayard

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Estadística. Panamá

anabel.ramirez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0001-8264-3055>

Clara E. Cruz G.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Estadística. Panamá

clara.cruz@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7572-3372>

Recibido: 2 de febrero de 2026

Aceptado: 20 de marzo de 2026

DOI <https://doi.org/10.48204/3072-9629.11335>

Resumen

En este estudio se utilizaron datos de temperatura del aire de una cantidad representativa de las estaciones meteorológicas que registran datos continuos de Temperatura Promedio Mínima y Temperatura Promedio Máxima ambas medidas en grados Celsius (°C), mismas que son operadas por el Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA). Se realizaron filtros de control de calidad estadístico a los

registros de temperaturas mínimas y máximas, resultando 16 estaciones meteorológicas con periodicidad diaria cuyos registros confiables corresponden desde el año 1988 hasta el año 2019. Se generaron índices de extremos climáticos utilizando la herramienta RClimDex para datos diarios de Temperatura Máxima y Mínima de las estaciones meteorológicas considerando una matriz de referencia climática donde resultaron (9) nueve Índices Climáticos Extremos todos referidos al parámetro meteorológico de Temperatura del aire, donde para la Temperatura Mínima: TDR (°C), TN10P, TN90P, TNN (°C), TNX (°C); y para la Temperatura Máxima: TX10P, TX90P, TXN (°C), TXX (°C), (Ver detalles en Tabla N°1). Algunos índices arrojaron tendencias significativas, lo cual identifica un patrón de calentamiento, diferenciado por un aumento en la frecuencia de noches cálidas (TN90P) y días cálidos (TX90P) a su vez demuestra menos noches frescas (TN10P) y menos días fríos (TX10P). Esto es consecutivo con los indicadores de temperatura mínima absoluta anual (TNN, TNX) y temperatura máxima absoluta anual (TXN, TXX). El estudio evidencia un desplazamiento en la distribución de la temperatura en Panamá, con un aumento en la ocurrencia de eventos cálidos y una atenuación de los eventos fríos. Esto apoya a confirmar que en Panamá existe un proceso de calentamiento, esto es consistente con los patrones de Cambio Climático Global.

Palabras clave: Tendencia, índice extremo climático, RClimDex, calentamiento, temperatura

Abstract

This study used air temperature data from a representative number of weather stations that record continuous data on average minimum and maximum temperatures, both measured in degrees Celsius (°C), which are operated by the Panamanian Institute of Meteorology and Hydrology (IMHPA). Statistical quality control filters were applied to the minimum and maximum temperature records, resulting in 16 weather stations with daily periodicity whose reliable records correspond to the period from 1988 to 2019.

Climate extreme indices were generated using the RClimDex tool for daily maximum and minimum temperature data from weather stations, considering a climate reference matrix that resulted in nine (9) climate extreme indices, all referring to the meteorological parameter of air temperature, where for minimum temperature: TDR (°C), TN10P, TN90P, TNN (°C), TNX (°C); and for maximum temperature: TX10P, TX90P, TXN (°C), TXX (°C), (see details in Table No. 1).

Some indices showed significant trends, identifying a warming pattern, differentiated by an increase in the frequency of warm nights (TN90P) and warm days (TX90P), which in

turn shows fewer cool nights (TN10P) and fewer cold days (TX10P). This is consistent with the indicators of annual absolute minimum temperature (TNN, TNX) and annual absolute maximum temperature (TXN, TXX).

The study shows a shift in temperature distribution in Panama, with an increase in the occurrence of warm events and a decrease in cold events. This supports the confirmation that Panama is undergoing a warming process, which is consistent with global climate change patterns.

Keywords: Trend, extreme climate index, RClimDex, warming, temperature

Introducción

Durante toda la historia de la Tierra han ocurrido cambios en el Sistema Climático, dichas modificaciones se han presentado por causas naturales propias del planeta (Santiago-Lastra y otros, 2008). En la actualidad el cambio climático global se manifiesta de manera crítica a través de la alteración en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, no obstante, los “cambios” que se están comprobando con aumento en la temperatura del aire del planeta, aunado a otros cambios en las demás variables climáticas (Barros, 2005).

Panamá, un país que por su posición geográfica y cercano al Ecuador tropical (Diccionario Oxford-Complutense, 2004) no es ajeno a este fenómeno atmosférico de escala global, de ahí que surgen la interrogante de ¿cómo se han manifestado estas tendencias globales en cambios concretos en los patrones de temperatura a nivel nacional? es por ello que con este estudio se propone una respuesta de tantas que puedan surgir.

Esta investigación se centra en el análisis de las series históricas diarias del período 1988-2019 de temperatura máxima del aire y temperatura mínima del aire registrado por 16 estaciones meteorológicas y analizar su comportamiento térmico en el país.

Para calcular los Índices de Extremos Climáticos los Servicios Meteorológicos agrupados en un organismo denominado Organización Meteorológica Mundial (OMM); un Equipo de Expertos (ET) de Índices para la Detección de Cambio Climático (Climate Change Detection and Indices, ETCCDI) que forman parte del grupo CCI/CLIVAR/JCOMM (Joint Scientific Committee from OMM), (ETCCDI, 2020) elevaron propuestas de la creación de indicadores climáticos que puedan ser aplicables e interpretables a nivel mundial, (CRC-OSA, 2022).

Siendo así que fue creada una de las primeras interfaces amigables para calcular 27 índices de extremo climático en las variables meteorológicas temperatura del aire y precipitación (en todas sus formas físicas), por medio del programa RClimDex (ETCCDI, 2020), el cual utiliza el paquete RHtestsV4 para homogenizar la series de datos climáticos, con la finalidad de detectar y ajustar múltiples puntos de cambio (desplazamientos) que podrían existir en una serie de datos que puede tener errores autorregresivos de primer orden (Vazquez-Cuervo & Li, 2008), este es un paso previo que se debe tomar en cuenta antes de aplicar el programa RClimDex.

Para calcular y evaluar específicamente 9 índices de extremos de temperatura del software RClimDex del total de 27 índices de extremos climáticos propuestos, ya que estos son referidos para otros tipos de climas no tropicales (PROVIA/MEDIATION, 2015). El presente trabajo expone los resultados de este diagnóstico, ofreciendo una evidencia cuantitativa del impacto del cambio climático en el régimen térmico de Panamá.

Métodos y Materiales

El diseño de investigación es aplicable para variables meteorológicas de tipo cuantitativo, ya que se fundamenta en la medición numérica de la temperatura del aire medida en °C y su análisis estadístico para identificar patrones y tendencias. También es de carácter retrospectivo y observacional, ya que se analizan datos históricos provenientes de estaciones meteorológicas que miden este parámetro meteorológico. El enfoque principal es la serie de tiempo diaria desde 1988 hasta 2019, lo que permite analizar el comportamiento de las variables a lo largo de un período definido (Yadav et al., 2020).

La selección de 16 estaciones meteorológicas se basó en registros completos históricos y calidad del dato de temperatura, buscando una representatividad espacial que permitiera evidenciar una evaluación de la temperatura a nivel nacional.

Los datos consistieron en registros diarios de temperatura mínima (TN) y temperatura máxima (TX), organizados cronológicamente para el período 1988-2019, obteniendo una serie continua de 32 años; según la Organización Meteorológica Mundial esta periodicidad es considerado óptima para la detección de tendencias climáticas significativas, (OMM, 2017).

Los cálculos utilizando el software RClimDex resultaron para un total de 9 índices de extremos climáticos que permiten cuantificar de manera estandarizada la frecuencia, intensidad y duración de eventos extremos (Zhang et al., 2011) fueron los que calificaron para el país, siendo estos: Índices de Días Fríos/Calurosos: Porcentaje de días en los que TN o TX superan percentiles específicos (TN10P, TN90P, TX10P y TX90P); Índices de Duración: Periodos consecutivos con temperaturas por encima o por debajo de umbrales (TNN, TNX, TXN, TXX). Los detalles de cada indicador de extremo climático para la temperatura son los siguientes que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1

Indicador del índice de extremo climático, su descripción y respectiva fórmula

Índice		Descripción	Fórmula
Amplitud térmica	DTR (°C)	Indicador de la diferencia media mensual entre la Temperatura Máxima y la Temperatura Mínima. Es el valor del Rango entre la Temperatura máxima y la Temperatura mínima, también conocido como Oscilación Térmica (OSC. T). Un valor de DTR alto indica días cálidos y noches frescas, mientras que uno bajo sugiere un calor más constante durante el día y la noche.	$DTR_j = \frac{\sum_{j=1}^I (TX_{kj} - TN_{kj})}{I}$
Asociados al comportamiento de la temperatura mínima (temperatura en la noche)	TNN (°C)	Indicador del Mínimo Valor de la temperatura mínima diaria: Valor mensual mínimo de la temperatura mínima diaria	$TNN_{kj} = \min(TNN_{kj})$
	TNX (°C)	Indicador del Máximo Valor de la Temperatura Diaria Mínima: Valor mensual máximo de la temperatura mínima diaria	$TNX_{kj} = \max(TNX_{kj})$
	TN10P (°C)	Porcentaje de días con Temperatura Mínima menor al Percentil 10. Noches frías o frescas	$TN_{kj} < TN_{10}$

	TN90P (°C)	Porcentaje de días con Temperatura Mínima mayor al Percentil 90. Noches cálidas o calurosas	$TN_{kj} > TN_{90}$
Asociados al comportamiento de la temperatura máxima (temperatura en el día)	TXN (°C)	Indicador del Mínimo Valor de la Temperatura diaria máxima: Valor mensual mínimo de la temperatura máxima diaria	$TXN_{kj} = \min(TXN_{kj})$
	TXX (°C)	Indicador del Máximo Valor de Temperatura máxima diaria: Valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria	$TXX_{kj} = \max(TXX_{kj})$
	TX10P (°C)	Porcentaje de días con Temperatura Máxima. menor al Percentil 10. Días fríos o frescos	$TX_{kj} < TX_{10}$
	TX90P (°C)	Porcentaje de días con Temperatura Máxima mayor al Percentil 90. Días cálidos o calurosos	$TX_{kj} > TX_{90}$

Al finalizar el análisis resultaron 5 índices que están asociados a temperaturas mínimas y 4 índices referidos a temperaturas máximas. Estos cálculos se realizaron en el programa RClimDex específicamente diseñado para este fin, que automatiza el cálculo y garantiza la consistencia con los protocolos del ETCCDI. Con el programa Microsoft Excel se organizó la base de datos y sus respectivas tablas de resultados. Los mapas resultantes se realizaron en el programa de Sistema de Información Geográfica ArcGIS (ESRI, 2025).

Resultados y Análisis

Los registros son observaciones de temperatura máxima y mínima del aire medidos en grados Celsius (°C) para un listado de 16 estaciones meteorológicas, cuyos registros resultaron aceptables para el control de calidad de la información. Las estaciones meteorológicas son: Bajo Grande, Balboa (FAA), Cañazas, Changuinola Sur, Chepo, David, Garachiné, Icacal, Laguna la Yeguada, Los Santos, Ojo de Agua, Paja de Sombrero, Pedasí, Santa Fe, Santiago y Valle Rico. La periodicidad es a nivel diario para 32 años que abarcan desde 01 de enero de 1988 hasta el 31 de diciembre de 2019.

En la siguiente tabla se muestran las características de las estaciones meteorológicas, como su nombre identificable del lugar poblado, número de identificación único, la provincia de localización, las coordenadas geográficas de Latitud y Longitud en grados decimales y la elevación dada en Metros Sobre el Nivel Medio del Mar (MSNMM).

Tabla 2

Listado de estaciones meteorológicas para análisis con RCLIMDEX

Nº	Estación Meteorológica	Número	Provincia	Latitud	Longitud	Elevación (MSNMM)
1	Changuinola Sur	91026	Bocas del Toro	8.96	-82.42	400
2	Bajo Grande	102009	Chiriquí	8.85	-82.55	2300
3	Paja de Sombrero	108018	Chiriquí	8.69	-82.32	388
4	David	108023	Chiriquí	8.4	-82.43	27
5	Icacal	113001	Colón	9.2	-80.15	11
6	Ojo de Agua	114010	Veraguas	8.2	-81.52	320
7	Cañazas	118002	Veraguas	8.31	-81.21	200

8	Santiago	120002	Veraguas	8.09	-80.94	88
9	Pedasí	126005	Los Santos	7.53	-80.02	47
10	Valle Rico	126010	Los Santos	7.62	-80.35	173
11	Los Santos	128001	Los Santos	7.94	-80.42	84
12	Laguna la Yeguada	132006	Veraguas	8.46	-80.85	640
13	Santa Fe	132033	Veraguas	8.51	-81.08	463
14	Balboa (FAA)	142017	Panamá	8.97	-79.55	10
15	Chepo	148001	Panamá	7.73	-80.82	30
16	Garachiné	162001	Darién	8.07	-78.37	10

Los 9 índices de extremos climáticos de temperatura del software RClimDex se desglosaron para los indicadores asociados al comportamiento en la temperatura máxima (temperatura del día) y los indicadores asociados al comportamiento en la temperatura mínima, este cálculo se realiza para cada una de las 16 estaciones meteorológicas que se evaluaron para el estudio, las cuales se describen a continuación:

Tabla 3

Valores calculados para los índices de extremos climáticos en las 16 estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	DTR	TNN	TNX	TN10P	TN90P	TXN	TXX	TX10P	TX90P
Bajo Grande	8.96	7.35	13.09	9	10	16.41	21.92	10	8
Balboa (FAA)	8.41	21.83	25.28	10	10	28.77	34.54	10	10

Cañazas	10.33	18.87	23.97	10	9	28.83	34.02	10	6
Changuinola Sur	8.34	17.26	22.02	8	9	24.12	30.67	10	7
Chepo	8.16	18.49	21.07	7	8	25.07	29.98	11	3
David	8.74	21.09	23.36	10	9	27.94	32.84	11	5
Garachiné	7.99	21.12	25.13	10	10	29.02	33.14	10	9
Icacal	5.98	21.80	26.39	8	9	27.50	32.08	10	7
Laguna la Yeguada	8.57	19.63	25.80	10	10	28.97	34.41	10	9
Los Santos	9.02	20.26	22.94	7	10	28.94	32.22	7	4
Ojo de Agua	8.97	19.55	23.44	10	10	27.46	32.49	10	5
Paja de Sombrero	9.56	18.10	23.40	8	8	27.26	32.89	10	6
Pedasí	6.45	22.22	25.58	8	9	27.94	32.19	9	9
Santa Fé	10.23	16.35	21.12	11	10	26.22	31.41	11	9
Santiago	10.53	20.08	24.08	10	10	28.97	34.92	10	6
Valle Rico	8.34	18.30	22.45	9	10	31.25	31.25	10	10

Nota: Los valores expresados en la tabla se interpretan para cada indicador climático:

Rango Diurno de Temperatura (DTR - Diurnal Temperature Range)

Estaciones Meteorológicas con DTR Alto ($>10^{\circ}\text{C}$): Santiago (10.53°C), Santa Fe (10.23°C) y Cañazas (10.33°C). Es típico de zonas con la mayor parte del tiempo cielo despejado y poca humedad, donde el calor se disipa rápidamente por la noche; esto puede deberse a la orografía donde los 3 lugares presentan elevaciones mayores a los 100 MSNMM.

Estaciones Meteorológicas con DTR Bajo ($<10^{\circ}\text{C}$): Icacal (5.98°C) y Pedasí (6.45°C). Estos valores menores que los demás son característicos de zonas costeras o con alta nubosidad y humedad, donde el efecto marítimo amortigua el enfriamiento nocturno (Braganza et al., 2004). Icacal, con el DTR más bajo, es el que mejor demuestra la fuerte influencia marítima por su cercanía al mar y poca elevación (11 MSNMM).

Índices de Temperatura Mínima Absoluta (TNN y TNX)

Estaciones Meteorológicas con TNN mas bajo (Temperatura Mínima más Mínima): Santa Fé (16.35°C) y Bajo Grande (7.35°C) presentan los valores más bajos, puede estar relacionado con su altitud (con elevaciones mayores a los 400 MSNMM), también por su ubicación geográfica (zonas montañosas), esto los ubica en regiones propensas a fuerte influencia de masas de aire frío, lo que señala una alta vulnerabilidad a eventos de frío extremo.

Estaciones Meteorológicas con TNX más alto (Temperatura Mínima más Máxima): Las noches más cálidas se presentan en Icacal (26.39°C), Pedasí (25.58°C) y Balboa (FAA) con 25.28°C . Esto confirma la influencia marítima y urbana, en el caso de Balboa (FAA), que mantiene la temperatura mínima elevada durante la noche, un fenómeno

asociado a las Islas de Calor Urbanas y al calentamiento diurno; en los otros lugares se refiere a su cercanía o proximidad al mar o zonas costeras de bajo relieve.

Índices de Temperatura Máxima Absoluta (TXN y TXX)

Estaciones Meteorológicas con TXN mas bajo (Temperatura Máxima más Mínima): Santiago (34.92°C), Balboa (FAA) con 34.54°C y Laguna la Yeguada (34.41°C) experimentan la mayor cantidad de días más calurosos. Esto puede deberse a una combinación de factores como la radiación solar alta, efectos antrópicos o poca influencia marítima directa como es el caso de Santiago y Laguna la Yeguada.

Estaciones Meteorológicas con TXX mas alto (Temperatura Máxima más Máxima): Changuinola Sur (24.12°C) y Bajo Grande (16.41°C) tienen la mayor cantidad de días menos calurosos, lo que refleja la persistencia de un ambiente fresco con temperatura cálido y/o húmeda en Changuinola por su cercanía al mar y zonas montañosas y un clima más frío en Bajo Grande por su altura.

Índices de Porcentaje de Días Fríos y Cálidos (TN10P, TX10P, TN90P, TX90P)

Estos índices detectan cambios en la distribución de los valores de la temperatura. Los mismos fueron calculados para un período climático de 1988-2019. Un valor esperado en un clima estable sería 10% para los percentiles 10 y 90. Valores consistentemente por debajo o por encima del 10% indican un cambio en la distribución de los días.

Estaciones Meteorológicas con TN10P (Noches frías o frescas). Porcentaje de días con $TN < \text{Percentil } 10$: Santa Fe (11%) y Chepo y Los Santos (7% c/u). El valor de 11% sugiere un ligero aumento en la frecuencia de noches frías en Santa Fe, mientras que un 7% en Chepo y Los Santos indica una clara disminución de las noches frescas. La mayoría de las estaciones están en 8-10%, esto es cercano a lo esperado para este

índice.

Estaciones Meteorológicas con TX10P (Días fríos o frescos).

Porcentaje de días con TX < Percentil 10: Chepo, David y Santa Fe (11% c/u) muestran un valor superior al 10%, indicando una mayor cantidad de días fríos o frescos. Por otro lado sólo en Los Santos (7%) presenta una marcada disminución de los días frescos. Esto sugiere un comportamiento heterogéneo a nivel espacial en el comportamiento de la temperatura máxima fría o fresca.

Estaciones Meteorológicas con TN90P (Noches Cálidas)

Porcentaje de días con TN > Percentil 90: La gran mayoría de estaciones meteorológicas tienen un valor de 9% o 10%. Algunas como Balboa (FAA), Garachiné, Laguna la Yeguada, Ojo de Agua, Los Santos, Santa Fé, Santiago y Valle Rico están en el 10%, indicando que la frecuencia de noches cálidas se mantiene en el valor de referencia. Ninguna estación meteorológica supera el 10%, pero varias están en 9%. Este índice muestra una señal más clara de calentamiento, la cual no es muy observable en estas estaciones meteorológicas.

Estaciones Meteorológicas con TX90P (Días Cálidos)

Porcentaje de días con TX > Percentil 90: Las estaciones meteorológicas muestran valores por debajo del 10% esperado. Chepo (3%), Los Santos (4%) y David (5%) presentan las reducciones más drásticas en la frecuencia de días cálidos. Esto podría indicar un aumento en la nubosidad, cambios en los patrones de viento, o una modificación en la distribución de las temperaturas máximas que no se evidencia claramente en los índices de extremos climáticos. Este es el indicador que muestra la señal más fuerte y consistente de cambio, pero no es consistente con los valores

resultantes, lo que da propuesta para una investigación más amplia.

Validación estadística para los indicadores de extremo climático

El análisis de la tendencia en una variable meteorológica mediante pruebas de hipótesis es un procedimiento estadístico que apoya a explicar los cambios en la variable, evidenciando o no cambios respecto al tiempo, colaborando en identificar regiones y temporadas vulnerables a dichos cambios; además de conocer sí el clima está cambiando o se mantiene estable (Roura-Pérez et al., 2016; Ruíz et al., 2016).

La prueba estadística que se aplica para estos análisis corresponde a una Prueba de Hipótesis para evidencias cambios o tendencia en los indicadores de extremos climáticos calculados con el programa RClimDex para 16 estaciones meteorológicas del país:

El análisis de tendencias para la serie histórica de temperatura se basó en la ecuación de regresión de la pendiente (β_1). La hipótesis nula ($H_0: \beta_1 = 0$) propone la ausencia de tendencia, es decir sin cambios en la pendiente la cual se rechaza a favor de la hipótesis alternativa ($H_1: \beta_1 \neq 0$) cuando el valor de probabilidad p_{valor} es inferior a 0.05, que es el nivel de significancia propuesto al 5%.

Planteamiento de la Hipótesis

$H_0: \beta_1=0$; No existe cambio en la tendencia del indicador de extremo climático

$H_1: \beta_1 \neq 0$; Existe cambio en la tendencia del indicador de extremo climático

Descripción de la significancia estadística

A continuación, se presentan los resultados organizados por el comportamiento de los índices.

La mayoría de los índices analizados mostraron cambios altamente significativos, mostrando variabilidad climática en la temperatura del país:

Rango de Temperatura Diurna (DTR): En este indicador se identificó una disminución significativa ($\beta_1 = -$; $p_{\text{valor}} < 0.001$), lo que evidencia una reducción clara de la oscilación térmica diaria.

Frecuencia de episodios de extremos Fríos y Cálidos:

TN10P (Noches frías) y TX10P (Días fríos): mostraron tendencias significativas a la disminución ($p_{\text{valor}} = 0.01$ y $p_{\text{valor}} < 0.001$, respectivamente). Indica que a medida que pasa el tiempo se disminuye de manera significativa las noches frías; es decir el porcentaje de días con temperatura mínima menor al Percentil 10.

TN90P (Noches cálidas): presentó un aumento muy significativo ($\beta_1 = +$; $p_{\text{valor}} < 0.001$). Indica que a medida que pasa el tiempo aumentan de manera significativa las noches calientes; es decir el porcentaje de días con temperatura mínima mayor al Percentil 90.

TX90P (Días cálidos): Se observó una tendencia a la disminución que resultó significativa ($\beta_1 = -$; $p_{\text{valor}} < 0.001$).

Frecuencia de Temperaturas Mínimas Extremas:

TNN (Temperatura Mínima Absoluta): mostró una tendencia significativa al aumento ($\beta_1 = +$; $p_{\text{valor}} = 0.03$).

Frecuencia de Temperaturas Máximas Extremas:

Por el contrario, algunos índices de temperaturas máximas no mostraron cambios estadísticamente significativos en el período de estudio.

TNX (Temperatura Nocturna Máxima) y TXN (Temperatura Diurna Mínima) mostraron ligeras tendencias a la disminución que no son estadísticamente significativas ($p_{\text{valor}} = 0.12$ y $p_{\text{valor}} = 0.14$, respectivamente).

TXX (Temperatura Máxima Absoluta): no mostró ningún cambio significativo ($p_{\text{valor}} = 0.43$).

En análisis de los resultados para cada indicador de extremo climático indican que, se evidencia una disminución significativa del DTR, el cual es un índice de la oscilación térmica diaria, esto puede estar impulsado por un mayor calentamiento de la temperatura mínima (TNN) en comparación con la temperatura máxima (TXX), lo cual es un hallazgo característico del Calentamiento del aire asociado al Cambio Climático a nivel global. El aumento drástico de las noches cálidas (TN90P) junto con la disminución de días y noches frías (TX10P y TN10P), confirma un desplazamiento general del comportamiento térmico hacia condiciones más cálidas. La falta de una tendencia significativa en la frecuencia de los días cálidos (TX90P) y en la Temperatura Máxima Absoluta y Temperatura Nocturna Máxima (TXX y TNX) puede estar relacionada con factores de mitigación local, como un aumento en la cobertura nubosa o efecto de los aerosoles producto de los GEI. En conjunto, la evidencia apunta a un proceso de calentamiento evidenciado en el país, predominantemente impulsado por cambios en la temperatura mínima.

Conclusiones

Los índices de noches cálidas (TN90P) se mantienen cerca del valor de referencia, pero la presencia generalizada de valores de 9% sugiere un leve desplazamiento hacia condiciones más cálidas, coherente con las tendencias globales, atribuible a un Calentamiento Nocturno.

La reducción sistemática y a veces drástica del índice TX90P (días cálidos) es el hallazgo más significativo. Esto contradice la narrativa general de calentamiento global para las temperaturas máximas en esta región y período específicos, y merece un análisis de las causas, como posibles cambios en la circulación atmosférica regional o efectos de los aerosoles (Gases de Efecto Invernadero, GEI), lo cual atribuye un comportamiento atípico de los días cálidos.

Las estaciones meteorológicas como Bajo Grande y Santa Fé se destacan por sus bajas Temperaturas Mínimas Absolutas (TNN), identificándolas como zonas potencialmente más vulnerables a eventos de frío extremo con impactos en la agricultura y la salud, por lo que demuestran una vulnerabilidad a eventos de extremos fríos.

La influencia de la geografía local, se observó con la variabilidad en el DTR y la temperatura máxima y mínima absoluta (como el caso de Icacal y Santiago) lo cual indica la fuerte influencia de la topografía, la continentalidad y la proximidad al mar en el clima local panameño.

Es importante destacar que los indicadores mostraron que en las zonas del Arco Seco (provincias de Herrera y Los Santos) aunado a todo el sector Este de la provincia de Panamá y Darién han evidenciado altas temperaturas, lo cual se atribuye a la marcada influencia marítima.

Sin embargo, los días cálidos muestran aumentos significativos y se acentúa en el arco seco y se extiende hasta la Provincia de Darién y comarca Emberá.

Cabe señalar que la señal es de aumento en los registros de temperaturas extremas Temperaturas mínimas extremas, muestran una señal de aumento en el porcentaje de días con registros de noches cálidas (TN 10P%).

Se ha creado una base de datos georreferenciada con los nueve índices de extremos climáticos, relacionados a las temperaturas mínimas (Nocturnas) y Máximas (diurnas) en 16 estaciones meteorológicas de Panamá (ETESA- ACP).

Referencias Bibliográficas

- Anselin, L. (2005). Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook. *Center for Spatially Integrated Social Science*.
- Barros, V. (2005). *El Cambio Climático Global*. Buenos Aires, Argentina: Libros del Zorzal.
- Braganza, , K., Karoly, D., & Arblaster, J. (2004). Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters*, 31(13), L13217.
- Climdex. (2013). *Climdex*. Obtenido de <https://www.climdex.org/>
- CRC-OSA. (2022). *Centro Regional del Clima para el Oeste de Sudamérica*. Obtenido de CRC-OSA: <https://crc-osa.ciifen.org/que-es-el-crc/>
- Diccionario Oxford-Complutense. (2004). Ciencias de la Tierra. Editorial Complutense.
- ESRI. (2025). *ESRI*. Obtenido de <https://www.esri.com/es-es/home>
- ETCCDI. (06 de Octubre de 2020). Obtenido de ETCCDI: <https://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>
- IMHPA. (s.f.). *Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá*. Obtenido de Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá: <https://www.imhpa.gob.pa/es/estaciones-meteorologicas/p9>

- OMM. (2017). *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. WMO-No. 1203. Obtenido de WMO (World Meteorological Organization): <https://wmo.int/es>
- PROVIA/MEDIATION. (2015). *PROVIA/MEDIATION Toolbox - Detail Page*. Obtenido de © PROVIA / MEDIATION Adaptation Platform 2013 - 2015: <https://www.pik-potsdam.de/~wrobel/mediation-platform/toolbox/rclimindex.html>
- ROURA-PEREZ, P., ARENAS-SANCHEZ, J., SISTACHS-VEGA, V., & DIAZ-SISTACHS, D. (2016). TrendSoft: Software para el análisis de tendencia y puntos de cambio de variables climatológicas. *Revista Cubana de Meteorología-SCielo*, 26(3).
- Ruíz, O., Espejel, D., Ontiveros, R., & Enciso, J. (2016). Tendencia de temperaturas máximas y mínimas mensuales en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2535.
- Santiago-Lastra, J., López Carmona, M., & López-Mendoza, S. (2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai. Universidad Autónoma Indígena de México*, 625-633.
- Vazquez-Cuervo, J., & Li, X. (2008). Sea Surface Temperature Retrievals from Remote Sensing. En *Sea Surface Temperature Retrievals from Remote Sensing* (pág. 148). Remote Sensing, MDPI Journal.
- Yadav, R., Tripathi, S., Pranuthi, G., & Dubey. (2020). Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand. *Journal of Agrometeorology*, 22(1), 12-17.

Zhang, X., & Yang, F. (2004). *Climate Research Branch, Environment Canada.*

Obtenido de RClimDex (1.0) User Manual:

<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G., & Jones, P. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851–870.