



DOI: 10.5380/abclima

DETERMINAÇÃO DE TENDÊNCIAS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO CENTRO NORTE DA REGIÃO INTERANDINA DO EQUADOR

*Determination of trends in extreme climate events in the
north center of the interandean region of Ecuador*

*Determinación de tendencias de eventos climáticos extremos
en el centro norte de la región interandina del Ecuador*

Daysi Tatiana Andrango  

Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
daysiaq22@gmail.com

Xavier Zapata-Ríos  

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Ecuador
xavier.zapata@epn.edu.ec

Resumo: Por sua localização geográfica e características locais, o Equador, país localizado na costa oeste da América do Sul, é caracterizado por uma alta vulnerabilidade aos extremos climáticos, o que pode produzir um aumento nas perdas econômicas e humanas associadas a este tipo de risco climático. O objetivo é analisar o comportamento dos eventos extremos diários de temperatura e precipitação durante o período de 1965-2015. Após um controle de qualidade, realizado com o auxílio do pacote Climatol, 12 índices de mudanças climáticas recomendadas pela ECTCCDI, foram calculados através do software RClindex, com tendências obtidas pelo próprio software usando regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. Finalmente, foi encontrado um aumento na temperatura máxima (Tmax médio), na temperatura mínima (Tmin médio) e na temperatura mínima mais alta (TNX) com tendências significativas em toda a área de estudo. As taxas de precipitação mostram uma variação geral em toda a área.

Palavras-chave: Homogeneidade. RClindex. Tendências. Estações Meteorológicas

Abstract: Ecuador, a country located on the west coast of South America, is characterized by a high vulnerability to climate extremes due to its geographic location and local conditions, which can lead to an increment in economic and human losses. The objective of this study is to analyze the temporal trends of extreme daily temperatures and precipitation between the years 1965 and 2015. After a quality control analysis of the data using Climatol packages, 12 climate change indices recommended

by the ECTCCDI were calculated with the RCLimdex software and temporal trends were calculated applying linear regression by the method of least squares. It was found that the maximum temperature (mean Tmax), the minimum temperature (mean Tmin) and the highest minimum temperature (TNX) increased with significant trends throughout the study area. Precipitation indices show a generalized variation throughout the whole area.

Keywords: Homogeneity. RCLimdex. Trends. Weather station.

Resumen: Por su ubicación geográfica y características locales, Ecuador, un país ubicado en la costa occidental de América del Sur, se caracteriza por una alta vulnerabilidad a los extremos climáticos, lo que puede producir un aumento en las pérdidas económicas y humanas asociadas a este tipo de riesgos climáticos. El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento de los eventos extremos diarios de temperatura y precipitación durante el periodo 1965-2015. Tras un control de calidad realizado con ayuda del paquete Climatol, se han calculado 12 índices de Cambio Climático recomendados por ECTCCDI a través del software RCLimdex con tendencias obtenidas mediante regresión lineal por el método de mínimos cuadrados. Por último, se observa un incremento de temperatura máxima (Tmax medio), temperatura mínima (Tmin media) y temperatura mínima más alta (TNX) con tendencias significativas en toda el área de estudio. Los índices de precipitación presentan una variación generalizada en toda la zona.

Palabras claves: Homogeneidad. R Climdex. Tendencias. Estaciones Meteorológicas.

Submetido em: 10/05/2021

Aceito para publicação em: 21/05/2022

Publicado em: 10/06/2022

1. INTRODUÇÃO

Devido à sua posição geográfica e topografia variada, o Equador possui uma diversidade de climas que são influenciados por parâmetros que causam variações temporais e espaciais nas diferentes regiões do país (PALACIOS *et al.*, 2017 p.237). Isso faz do país um privilegiado e possuidor da maior biodiversidade do mundo (AGUIRRE, 2018). Entre os fatores que causam a variabilidade climática estão: as anomalias de temperatura da superfície do mar na região tropical, que modulam a “Zona de Convergência Intertropical” (ITCZ), e o fenômeno El Niño e La Niña (ENSO por sua sigla em inglês *El Niño* South Oscillation) (relacionados ao aquecimento ou resfriamento do Pacífico equatorial oriental em função do regime de ventos alísios) (ARMENTA *et al.*, 2019 p.7). A influência desses fenômenos globais tem causado seca e inundações, afetando o país social e economicamente (CADIER *et al.*, 1994).

Analisando os eventos passados, fica evidente que os maiores impactos sofridos pela sociedade se devem à presença de eventos climáticos extremos. No entanto, mudanças graduais nesses padrões também têm um alto potencial de impacto nos sistemas humanos e naturais, (ARMENTA *et al.*, 2019 p. 7).

O Equador é altamente vulnerável aos impactos das mudanças climáticas (ARMENTA *et al.*, 2019). De acordo com a “Terceira Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas no Equador” (MAE, 2017), espera-se um aumento da temperatura, maior ocorrência de secas e inundações, derretimento de geleiras, aumento e alterações dos padrões de precipitação. No contexto nacional, o Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI) indica aumento da temperatura média, máxima e mínima anual em algumas regiões do país.

Vários trabalhos foram desenvolvidos neste contexto, onde se encontraram tendências nas variáveis climáticas e um estreito controle exercido pelo ENSO, especialmente na costa do Equador, bem como a ocorrência de aquecimento significativo em todo o país independente do fenômeno ENSO (MORÁN-TEJEDA, 2016 p.2).

Domínguez-Castro *et al.* (2018) realizaram um trabalho interessante em Quito, capital do Equador, utilizando 125 anos (período 1891-2015) de observações de precipitação de uma estação terrestre, e o registro de cerimônias de oração nos Atos da Capela de Quito, de 1600 a 1822. Os autores inferiram que os períodos de seca mais importantes foram 1692-1701, 1718-1723, 1976-1980, 1990-1993 e 2001-2006, porém, não houve evidências climáticas relacionadas a tais eventos. Campozano *et al.* (2020) avaliaram as características espaço-

temporais das secas presentes e futuras no Equador sob as Estradas de Concentração Representativa (RCP) 4.5 e 8.5. Os resultados mostraram uma tendência ligeiramente decrescente para as secas futuras em todo o país, com uma maior redução para as secas moderadas, seguidas de eventos de seca severa e extrema.

Este trabalho tem como área de estudo o centro norte da região Interandina, e foram usados dados diários de precipitação e temperatura obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI) no período de 1965 a 2015, com o objetivo de encontrar tendências positivas e negativas na ocorrência de eventos climáticos extremos que acontecem na área de estudo. Este estudo fornece informações valiosas para a gestão da água e a tomada de decisões em face das mudanças climáticas no Equador, para o progresso econômico e o bem-estar da população equatoriana.

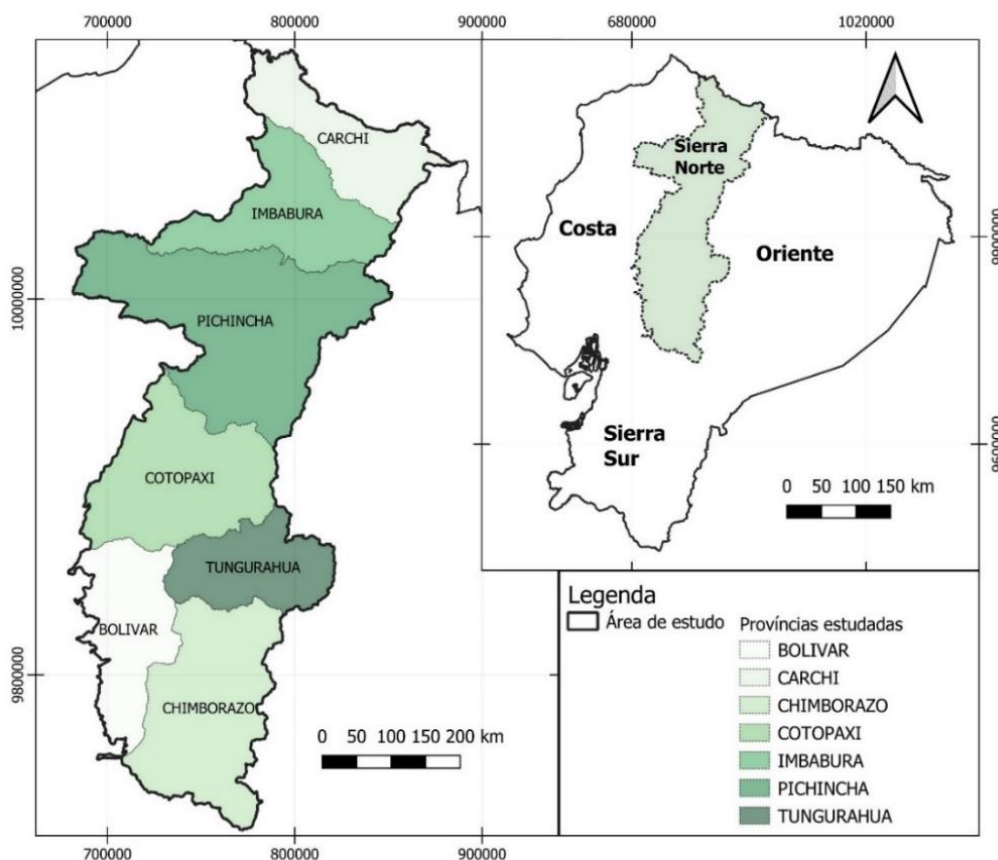
METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, foi usado o software RClindex que foi criado por Xuebin Zhang e Feng Yang do Departamento de Pesquisa Climática do Serviço Meteorológico do Canadá e tem sido usado em workshops CCI/CLIVAR sobre índices climáticos desde o ano 2001. “O funcionamento do software é bastante simples e pode ser resumido em três etapas: 1) Estabelecimento do ambiente do usuário, 2) Controle de qualidade dos dados climáticos diários, 3) Cálculo dos 27 índices básicos” (ZHANG & YANG, 2004 p. 10). O software RClindex analisa a série histórica de dados meteorológicos e calcula os índices climáticos que mostram as tendências do comportamento do clima ao longo do tempo (JARRÍN, 2016). Antes de inserir os dados no RClindex, eles passam por um processo de controle de qualidade que é condição fundamental para o cálculo dos índices. RClindex é capaz de calcular simultaneamente os 27 índices básicos e seus resultados são armazenados no formato Excel e os gráficos das séries anuais, juntamente com as tendências calculadas por regressão linear de mínimos quadrados. A partir desta análise, identifica-se, se existe uma alteração nos padrões normais dos parâmetros meteorológicos ao longo do tempo (JARRÍN, 2016; ZHANG & YANG, 2004). Embora neste trabalho foram calculados 12 índices de extremos climáticos.

A área de estudo escolhida está formada por 7 províncias (Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar e Chimborazo) que estão localizadas no centro norte da região Interandina do Equador (Figura 1), e constitui um setor muito importante na produção

agrícola. Nesta região realiza-se o cultivo de batata, hortaliças, cereais e atividades de pecuária para produção de carne e leite. Há também um predomínio de paramos¹, vulcões, montanhas, florestas, o que sugere a existência de áreas protegidas e grandes áreas úmidas. Um exemplo disso é o Parque Nacional do Cotopaxi, que lhe confere grande importância turística (Ministério da Coordenação de Produtividade, Emprego e Produtividade, 2011).

Figura 1- Área de estudo com as 7 províncias do centro norte da região Interandina



Elaboração: Andrango, 2022

Os dados diários de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI) e aqueles com um máximo de 20% de dados faltantes foram aceitos conforme recomendação do "Guia Climatológico Prático da Organização Meteorológica Mundial" no período de 1965 a 2015.

¹ O páramo está localizado na região Interandina a uma altura de entre 3.200 e 4.700 de altitude, é considerado um ecossistema de alta montanha.

Com o software Hydracces, foi possível observar a densidade de dados disponíveis e a porcentagem de dados perdidos no intervalo das séries temporais.

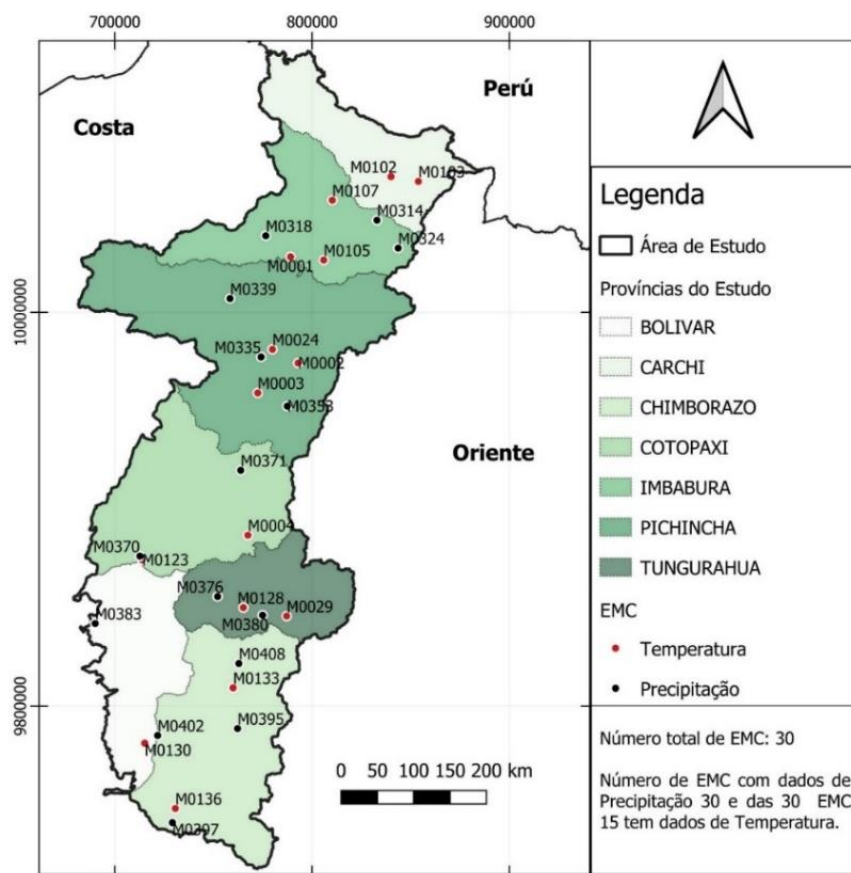
O primeiro controle de qualidade foi feito com RClindex, e o procedimento obedece à: primeiro identifica os dados ausentes que são inicialmente inseridos com -99,9 e os substitui em um formato interno que reconhece o software R (ou seja, NA, não disponível) e, segundo, substitui os valores irracionais e os valores extremos (“Outliers”) por NA, um exemplo disso são os valores de precipitações diárias menores que zero e a temperatura máxima diária menor que a temperatura mínima diária. Os valores extremos são quantidades diárias que estão fora de uma faixa definida pelo usuário. Essa seção é definida como n vezes o desvio padrão do valor do dia, ou seja, $[m\u00e9dia - n * padr\u00e3o, m\u00e9dia + n * padr\u00e3o]$, neste estudo foi definido a $n = 3$ (ZHANG & YANG, 2004 p.6). Os valores Outliers encontrados foram eliminados das séries temporais, após a verificação dos metadados.

Para verificar a homogeneidade das séries climáticas, foi utilizada a ferramenta de software RHtest, desenvolvida e recomendada pelo grupo de ETCCDI. O programa executa o teste t de penalidade máxima, com um intervalo de confiança de 95%. Os resultados armazenam informações sobre os pontos de mudança, indicando se a série é, ou não homogênea, a data em que os pontos de mudança ocorreram e se são estatisticamente significativos (WANG & FENG, 2013). Dessa forma, as estações não homogêneas passaram ao processo de homogeneização.

Na homogeneização foi usado o pacote Climatol. O método é baseado na comparação entre cada série de dados com uma série de referência construída para a mesma estação através de interpolação de relações, diferenças ou valores padronizados das estações vizinhas. A comparação da série de dados com as suas séries de referências permite a detecção de erros pontuais, possíveis mudanças e tendências por meio de testes estatísticos (GUIJARRO, 2019). Os valores de referência calculados foram usados para preencher os dados faltantes da série de dados (CARVALHO *et al.*, 2016).

No final do tratamento das séries climatológicas, foram obtidas 30 séries com dados de precipitação e apenas 15 séries com os dados de temperatura máxima e mínima. A distribuição espacial das estações escolhidas para o estudo depois do tratamento está apresentada na Figura 2.

Figura 2- Distribuição espacial das 30 estações meteorológicas estudadas das 7 províncias do centro norte da região Interandina.



Elaboração: Andrango, 2022

Os índices de mudança climática foram desenvolvidos pelo Grupo de Especialistas em Detecção e Índices de Mudança Climática (ETCCDI), para calcular e analisar uma série de índices exatamente da mesma maneira, e que suas análises se encaixem perfeitamente no quadro global (KARL *et al.*, 1999; ETCCDI, 2013). Os seis índices de extremos climáticos derivados de dados de temperatura máxima e mínima diária utilizados nesta pesquisa foram: TMAX médio (valor médio da temperatura máxima); TXX (maior valor de temperatura máxima); TXN (menor valor de temperatura máxima); TMIN médio (valor médio da temperatura mínima); TNN (menor valor de temperatura mínima); TNX (maior valor de temperatura mínima). Os seis índices derivados de dados de precipitação diária foram: Rx5dia (precipitação máxima em 5 dias consecutivos mm/dias); R20mm (número de dias em um ano com precipitação ≥ 20 mm/dia); DCS (máximo número de dias consecutivos secos, ou seja, com precipitação total diária (PRCP < 1,0 mm/dia); DCU (máximo número de dias consecutivos

úmidos, ou seja, com $PRCP \geq 1,0$ mm/dia); PRCPTOT (precipitação total anual, quando $PRCP \geq 1,0$ mm - mm/ano), (VÁZQUEZ, 2010 p. 25).

Para o cálculo dos índices de mudanças climáticas foi usado RCLimindex, colocando as séries em formato de texto e inserindo informações do primeiro e último ano do período de estudo (1965-2015), a localização de cada estação, limites máximos e mínimos de temperatura diária, além do limite para a precipitação diária (QUAGLILO *et al.*, 2020).

Neste trabalho, foram consideradas como possíveis alterações climáticas as situações em que o índice apresentou tendência linear (positiva ou negativa) com alta significância estatística ($p \leq 0,05$), sendo ele obtido pelo próprio software através da regressão linear pelo método dos mínimos quadrados (SILVA *et al.*, 2017). O valor de significância estatística é interpretado como o nível de confiança que pode ser obtido na análise dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das tendências anuais dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura máxima e mínima correspondente às sete províncias da área de estudo e as quinze séries temporais no período de 1965 a 2015 estão apresentados na

Tabela 1. Os valores marcados com uma estrela apresentam alta significância estatística ($p \leq 0,05$).

Tabela 1- Tendências anuais dos índices de extremos de temperatura para o centro norte da região Interandina.

Provincia	Estações	Temperatura máxima			Temperatura mínima		
		TMAX médio	TXX	TXN	TMIN médio	TNN	TNX
Bolívar	M0130	0.02*	0.024	0.027*	0.024*	0.032	0.026*
Carchi	M0102	0.027*	0.065*	-0.02	0.006	0.001	0.013
	M0103	0.024*	0.025	0.058*	0.03*	0.036	0.053*
Chimborazo	M0133	0.033*	0.069*	-0.013	0.025*	0.007	0.015
	M0136	0.036*	0.063*	0.048	0.017*	0.036	0
Cotopaxi	M0004	-0.022*	-0.06*	0.012	0.041*	0.015	0.06*
	M0123	-0.025*	0.019	-0.073*	0.016*	-0.03	0.03*
Imbabura	M0105	0.014*	0.009	-0.004	0.005	-0.018	0.041*
	M0107	0.01	0.004	0.004	0.008	-0.023	0.011
Pichincha	M0001	0.024*	0.055*	0.005	0.018	0.028	0.007
	M0002	0.02*	0.052*	-0.008	0.02*	0.027	0.01
	M0003	0.016*	0.018*	0.009	0.024*	0.015	0.024*
	M0024	0.038*	0.094*	-0.027	0.031*	0.079*	0.034*
Tungurahua	M0029	0.027*	0.042*	-0.031*	0.069*	0.122*	0.041*
	M0128	0.006	0.048*	0.031	0.023*	0.067*	-0.016

* Estatisticamente significativo ao nível de 5% ($p \leq 0,05$)



Analizando a

Tabela 1, observa-se que para o índice TMAX médio, treze estações das sete províncias apresentaram tendências com significância estatística, sendo onze estações com tendências de aumento (M0130, M0102, M0103, M0133, M0136, M0105, M0001, M0002, M0003, M0024, M0029) correspondendo às províncias de Bolívar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Pichincha e Tungurahua; o maior aumento é de 0.038 °C/ano, na província de Pichincha. Enquanto duas estações (M0004, M0123) da província de Cotopaxi, apresentaram redução da temperatura máxima média. -0.022 °C/ano e -0.025 °C/ano respectivamente.

Neste mesmo índice, Armenta *et al.* (2016) que fizeram um estudo de projeções climáticas de precipitação e temperatura no Equador, indicam tendências apenas na província de Pichincha em duas estações, uma delas de aumento em um valor de 0,2 °C/ano e a outra com redução de -0,2 °C/ano. Observa-se que os resultados desenvolvidos são maiores do que os obtidos neste estudo. É importante mencionar que o percentual de similaridade em relação às estações meteorológicas utilizadas no estudo de Armenta *et al.* (2016 p.26) é de 69%. Isso indica que 11 das 15 estações utilizadas neste estudo coincidem com as estações utilizadas no trabalho de Armenta *et al.* (2016). Enquanto isso, os resultados apresentados por Morán *et al.* (2016) no trabalho *Climate trends and variability in Ecuador (1966-2011)*, mostram que as estações localizadas ao longo da cadeia montanhosa andina apresentaram um predomínio de aumento significativo no Tmax. Entre as estações mais representativas, eles citam Izobamba (M003). Resultado que corrobora os apresentados no presente trabalho.

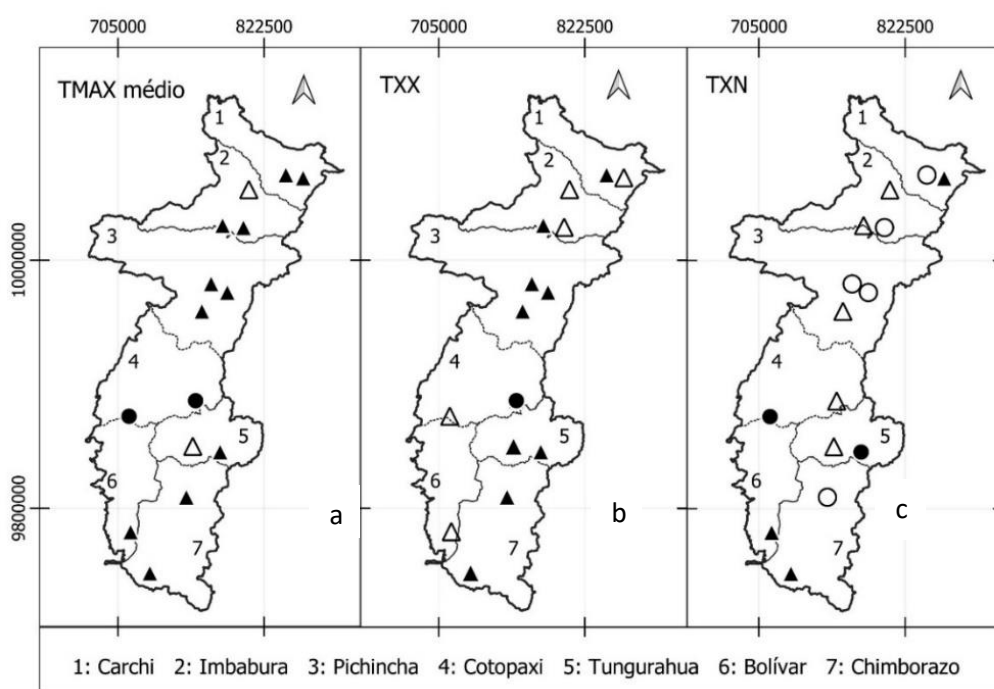
A análise do maior valor de temperatura máxima (TXX) mostra uma tendência positiva em nove estações (M0102, M0133, M0136, M0001, M0002, M0003, M0024, M0029, M0128) de quatro províncias da área de estudo (Carchi, Chimborazo, Pichincha e Tungurahua), sendo o maior valor 0.094 °C/ano, na província de Pichincha. Enquanto uma estação (M0004) da província de Cotopaxi apresenta redução de -0.06 °C/ano no maior valor de temperatura máxima. Os resultados apresentados mostram concordância com os encontrados acima no índice TMAX médio.

Em relação ao menor valor de temperatura máxima (TXN), este estudo mostra três estações (M0130, M0103, M0136) de três províncias (Bolívar, Carchi e Chimborazo) que apresentaram tendências com significância estatística positiva de até 0.058 °C/ano. Enquanto duas estações (M0123, M0029) de duas províncias, Cotopaxi e Tungurahua possuem tendências negativas com valores de -0.073 °C/ano e -0.031 °C/ano respectivamente.

Baseado nas tendências descritas na

Tabela 1, foi possível obter a configuração espacial das tendências da temperatura máxima para o centro norte da região Interandina. A Figura 3a apresenta a distribuição espacial das tendências do índice TMAX média. É possível notar que a maior parte da área de estudo apresentou tendências de aumento, no entanto, observa-se que apenas na província de Cotopaxi (4) apresenta tendências de diminuição. Na Figura 3b, está descrita a distribuição espacial do TXX que podem ser observadas tendências de aumento em todo o centro norte da região Interandina com uma exceção que apresenta tendência de redução na mesma província que o índice nomeado acima. Na Figura 3c, apresentam-se tendências variadas em toda a área de estudo.

Figura 3- Distribuição espacial das tendências dos índices de extremos climáticos baseados na temperatura máxima diária. TMAX médio (a), TXX (b), TXN (c).



- ▲ Tendência de aumento com significância estatística
- △ Tendência de aumento sem significância estatística
- Tendência de diminuição com significância estatística
- Tendência de diminuição sem significância estatística

Analisando o índice do valor médio da temperatura mínima (TMIN médio), onze estações de seis províncias apresentaram tendências significativas de aumento (M0130, M0103, M0133, M0136, M0004, M0123, M0002, M0003, M0024, M0029, M0128) com valores de até 0.069 °C/ano, na província de Tungurahua. Neste índice não se observa tendências negativas, só tendências positivas com significância estatística. Esses valores, em

algumas províncias, não estão de acordo com os apresentados no estudo de Armenta *et al.* (2016). Os resultados mostram aumentos de 0,01 a 0,03°C/ano, sendo o maior aumento na província de Pichincha, e sem alteração nas províncias de Cotopaxi e Bolívar. Também como uma diminuição na província de Chimborazo de -0,02°C/ano. As principais mudanças com este estudo podem ser devido ao número de anos analisados e ao número de estações meteorológicas utilizadas. Morán *et al.* (2016) mostraram que a evolução da T_{min} nas estações de todo o Equador apresenta tendência geral de aumento, os autores falam que é evidente que quase todas as estações mostram um aumento significativo neste índice. Além disso, eles também manifestam que as estações com valores significativos têm semelhança na estrutura espacial das estações com tendências positivas do índice T_{max}. Os resultados encontrados por Morán *et al.* (2016) são similares aos resultados encontrados neste estudo.

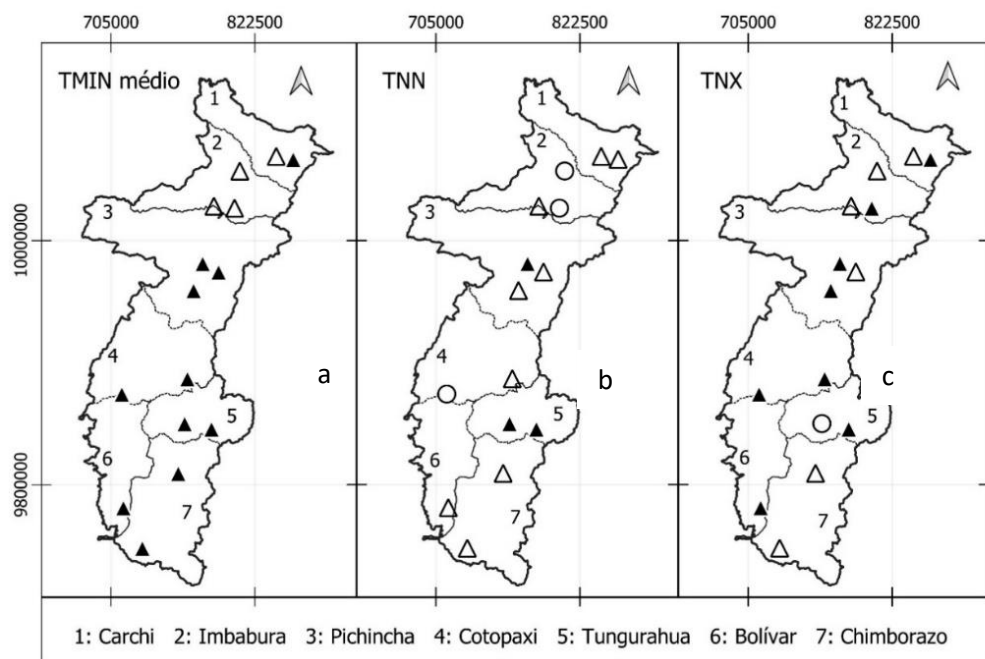
O índice de menor valor de temperatura mínima (T_{NN}) apresenta três estações (M0024, M0029, M0128) com tendências de aumento e com significância estatística. Estas estações estão nas províncias de Pichincha e Tungurahua e apresentam valores altos de 0.079 °C/ano, 0.122 °C/ano e 0,067 °C/ano, o maior está na província de Pichincha. Com isso, Armenta *et al.* (2016) mostra um aumento de uma estação na província de Carchi e duas em Pichincha superior a 0,03 °C/ano. Por outro lado, Muñoz (2013b) em seu trabalho de Análise Estatística com Climindex de Índices Climáticos para as Províncias de Pichincha e Napo, mostrou um aumento em Pichincha entre 0,05 a 0,15 °C/ano, cujo resultado está consonância com os encontrados no presente estudo.

Por último, a análise do menor valor de temperatura máxima (T_{NX}) mostra uma só tendência positiva em oito estações (M0130, M0103, M0004, M0123, M0105, M0003, M0024, M0029) de seis províncias da área de estudo (Bolívar, Carchi, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha e Tungurahua), o maior valor de aumento é de 0.06 °C/ano, na província de Cotopaxi. Por sua vez, Armenta *et al.* (2016. p.23) apresenta um aumento na estação Pichincha de 0,03 °C/ano e uma diminuição de -0,02 °C/ano na província de Chimborazo. Nesta comparação os resultados na província de Pichincha têm concordância.

Com a

Tabela 1, se fez a configuração espacial das tendências da temperatura mínima para a área estudada. A Figura 4a apresenta as tendências do índice TMIN média. É possível perceber que em toda a área de estudo foram apresentadas tendências de aumento. A Figura 4b, está descrita a distribuição espacial do índice TNN e se notam as tendências de aumento distribuídas em todo o território. No entanto, existem três estações com tendência de redução não significativa estatisticamente. Na Figura 4c, apresenta tendências de aumento em todo o centro norte da região Interandina, com apenas uma estação com tendência à diminuição sem significância estatística.

Figura 4- (a,b,c) Distribuição espacial das tendências dos índices de extremos climáticos baseados na temperatura mínima diária. TMIN médio, TNN, TNX.

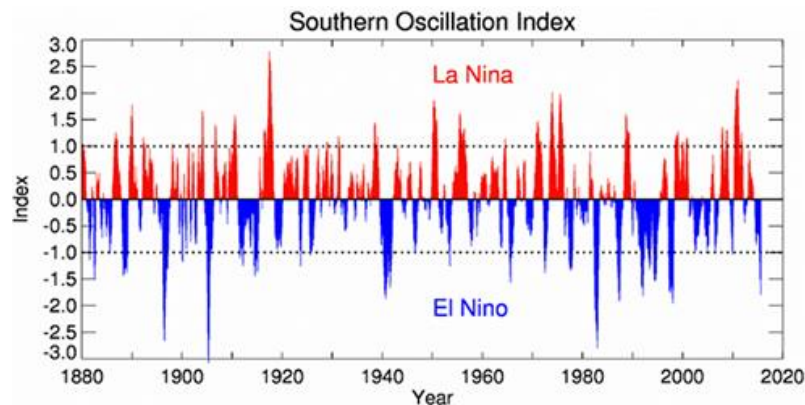


- ▲ Tendência de aumento com significância estatística △ Tendência de aumento sem significância estatística
- Tendência de diminuição com significância estatística ○ Tendência de diminuição sem significância estatística

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2021), é possível que a presença dos fenômenos de La Niña e El Niño, tenham efeitos temporários de resfriamento e aquecimento respectivamente e afetem as condições meteorológicas e climáticas regionais. No estudo feito por Hidalgo-Proañó (2017) mostra que na região interandina, quando ocorrem eventos quentes de El Niño, há um aumento significativo da temperatura, com exceção do El Niño ocorrido em 1982-1983, onde a temperatura nos aeroportos de Ibarra e Tulcán diminuiu

consideravelmente. Enquanto em eventos frios de La Niña é determinado que a temperatura do ar diminui no setor, porém os dados da estação Latacunga no evento La Niña do ano de 1985 não atendem a esse padrão. No entanto, ao longo do tempo os eventos foram apresentando tendências fora da faixa normal como se mostra na Figura 5. Então, existe a possibilidade que as variações encontradas neste estudo tenham uma relação com a presença dos fenômenos de La Niña e El Niño.

Figura 5-Registro histórico do índice IOS como indicador de eventos ENSO



Fonte: Instituto Oceanográfico y Antártico da Armada

Deve-se levar em conta que o aumento de temperatura em algumas estações, também pode se explicar **devido ao fenômeno conhecido como ilhas de calor**. A mudança no uso do solo, a perda de vegetação arbórea e a influência da morfologia urbana, geram um fenômeno chamado *Ilha de Calor* (CUBILLO *et al.*, 2020). A substituição da cobertura vegetal por alcatrão, asfalto, concreto e cimento está levando ao aumento das temperaturas superficiais. Segundo o Instituto Nacional de Estatística e Censos (INEC) o crescimento da população na região Interandina, mostra uma taxa de crescimento de 1,84%, chegando no ano de 2015, a mais de 7 milhões de pessoas nesta região. Esse dado dá uma ideia da demanda da população por uma área para a construção de moradias. Assim como o incremento da zona povoada. Um exemplo disso é o resultado apresentado por Carrión e Erazo, (2012), onde mostra que “Entre 1962 e 1980 a área urbana em Quito teve um crescimento próximo a 500%, isto na província de Pichincha. Vale destacar que ainda não há muitos estudos desenvolvidos neste tema, mas é uma possível explicação para aumentos de temperatura, conforme considerado neste estudo.

Os valores das tendências anuais dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação correspondente às sete províncias da área de estudo estão apresentados na

Tabela 2. Os valores marcados com uma estrela apresentam alta significância estatística ($p \leq 0,05$).

Tabela 2- Tendências anuais dos índices extremos de precipitação para o centro norte da região Interandina para o período de 1965 a 2015.

Provincia	Estação	Rx5dia	R20mm	DCS	DCU	R95p	PRCPTOT
Bolívar	M0130	-0.154	0.046	0.301	-0.039	0.732	-0.855
	M0383	-1.235	-0.208	-0.086	0.439*	-9.376	-10.102
Carchi	M0102	-0.286	0.025	-0.152*	-0.04	1.187	2.029
	M0103	0.196	0.028	-0.096	0.014	0.347	1.389
Chimborazo	M0133	-0.631	-0.086	0.096	-0.007	-2.474	-6.633
	M0136	0.175	0.026	-0.063	0.088	0.922	3.137
	M0395	0.669*	0.072*	-0.667*	0.141*	2.367*	9.674*
	M0397	0.084	0.017	0.097	0.364*	0.938	2.085
	M0402	1816*	0.323*	-0.558	1.174*	10.621*	37.325*
	M0408	-0.605*	-0.004	0.345	-0.047	-0.843	-4.949*
Cotopaxi	M0004	0.022	-0.018	-0.019	-0.001	-0.089	1.352
	M0123	-2.237	-0.318	-0.247	0.396*	-26.528	-25.615
	M0370	-0.057	-0.031	0.172	-0.532*	3.319	-3.325
	M0371	-2.027	-0.121*	0.049	0.051	-6.254*	-6.341
Imbabura	M0105	0.038	0.061	0.051	0.06	1.638	-1.308
	M0107	0.977	-0.08	-0.278	0.16	-0.924	3.445
	M0314	-0.351	-0.025	0.271*	-0.015	-0.82	-1.017
	M0318	-0.598	-0.123	0.13	-0.089	-2.654	-7.871*
	M0324	0.249	0.032	0.095	-0.113	0.192	-2.249
Pichincha	M0001	-0.548	-0.123	-0.058	-0.046	-4.791*	-6.759
	M0002	-0.382	-0.133	-0.091	-0.038	-4.356*	-8.139
	M0003	0.241	0.095*	0.121	0.039	2.986*	1.588
	M0024	0.594*	0.073	0.197	0.034	2.383*	1.559
	M0335	1.083*	0.325*	0.827*	0.021	4.442*	6.638
	M0339	0.352	0.004	0.211*	-0.12	2.152	-5.004
	M0353	0.539	0.15	0.317	0.642*	2.127	14.815
Tungurahua	M0029	-0.191	0.053	-0.107	-0.035	0.673	0.689
	M0128	0.182	0.032	-0.046	0.04	1.626	3.307
	M0376	-0.197	0.034	-0.174*	0.061	1.224	4.613*
	M0380	0.188	0.011	-0.113	-0.17*	0.912	-2.777

* Estatisticamente significativo ao nível de 5% ($p \leq 0,05$)



Analisando a Tabela 2, observa-se que para o índice Rx5 dia apenas cinco estações meteorológicas apresentaram tendências com significância estatística, sendo quatro (M0395, M0402, M0024, M0335) com tendências de aumento nas províncias de Chimborazo e Pichincha com um valor de até 1.81 mm/ano em Chimborazo e uma (M0408) de redução de -0,605 mm/ano em Chimborazo da intensidade das precipitações de 5 dias consecutivos em um ano. Resultados semelhantes mostram Armenta *et al.* (2016) e Muñoz (2013b) na província de Pichincha com valores que variam de -0.6 mm/ano a 0.6 mm/ano, contrários aos resultados encontrados nesta pesquisa.

Em relação ao índice R20mm, as províncias de Chimborazo e Pichincha, também apresentam tendência de aumento, ou seja, que o número de dias em um ano com chuvas de intensidades superiores a 20 mm/dia nestas quatro estações (M0395, M0402, M0003, M0335) das duas províncias tem aumentado. Enquanto nas estações M0371 da província de Cotopaxi, observaram-se tendências de redução do número de dias no ano com precipitações superiores a 20 mm. Ressalta-se que nos trabalhos anteriores a análise desses índices não foi realizada.

O número máximo de dias consecutivos secos em um ano, representados pelo índice DCS, mostrou tendências de aumento em três estações (M0314, M0335, M0339) de Imbabura e Pichincha e de redução em estações (M0102, M0395, M0376) de Carchi, Chimborazo e Tungurahua. Uma tendência positiva também é evidenciada no estudo de MUÑOZ (2013b), mas menor de 0.2 dias/ano. Pelo contrário, Armenta *et al.* (2016) mostram uma redução em todas as províncias da área de estudo com um valor inferior a -0.3 dias/ano.

Para o índice DCU, seis estações apresentaram tendência com significância estatística, em Bolívar, Chimborazo, Cotopaxi e Pichincha. Enquanto apenas duas estações (M0370, M0380) em Cotopaxi e Tungurahua, mostraram tendências de redução do número de dias consecutivos úmidos.

O índice R95p demonstrou tendência positiva com significância estatística em cinco estações (M0395, M0402, M0003, M0024, M0335) das províncias de Chimborazo e Pichincha. Nas estações M0371, M0001, M0002 mostra-se redução de dias muito chuvosos. Armenta *et al.* (2016) não mostram tendências no índice de dias muito chuvosos, enquanto para dias

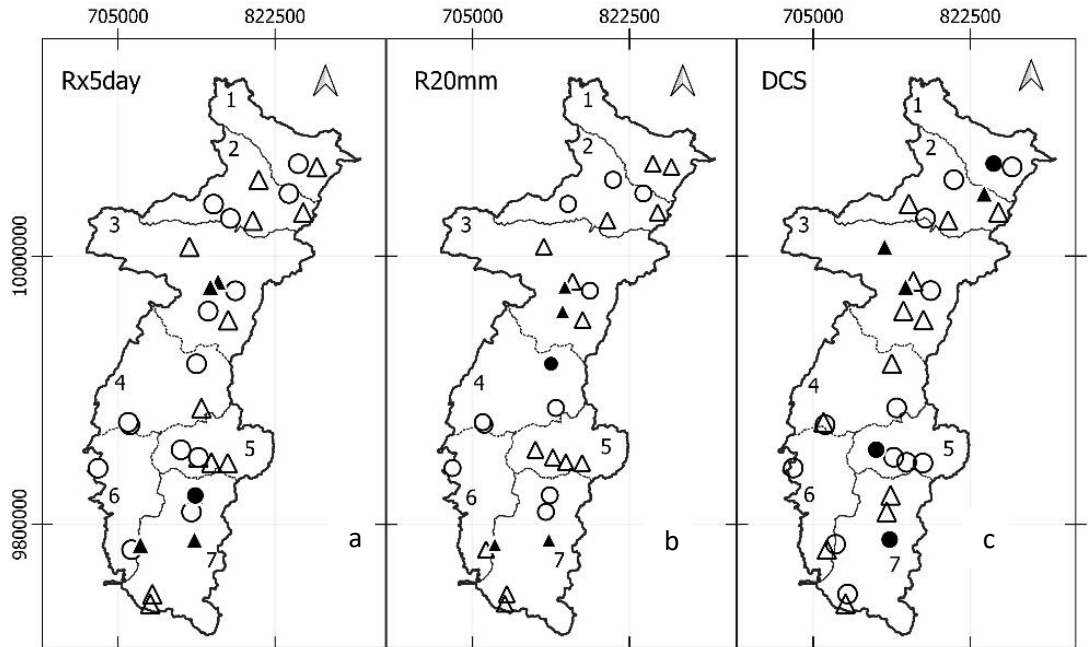
extremamente chuvosos mostra variação na tendência de -3.0 a 1.0 mm/ano nas províncias de Pichincha e Chimborazo.

A precipitação total anual, representada pelo índice PRCPTOT, mostrou tendências de aumento nas estações (M0395, M0402 e M0376) sendo que a maior é de 37.32 mm/ano na província de Chimborazo. Duas mostraram redução da precipitação na estação M0408 de -4.949 mm/ano e M0318 de -7.871 mm/ano. Ao fazer a comparação com Armenta et al. (2016), uma tendência negativa só é observada em Pichincha e Cotopaxi entre -4.0 e -6.0mm/ano. Por outro lado, os resultados encontrados neste estudo têm diferenças com os apresentados no estudo de Climate trends and variability in Ecuador (1966-2011) (MORÁN *et al.*, 2016), onde as estações localizadas na região interandina mostram tendências crescentes na precipitação total anual, e houve prevalência de coeficientes positivos (78%), mas sem tendências significativas no nível de confiança de 95%.

O resultado aqui apresentado é interessante, porque, neste caso, encontra-se 50% de coeficientes positivos e 50% negativos, com três estações tendências significativamente positivas e três negativas. Também é importante dizer que a pesquisa de Morán (2016) foi feita para todo o país (neste caso analisa-se toda região interandina). Além disso, o estudo também mostra observações para a estação chuvosa onde duas estações apresentam tendências positivas significativas, mas para a estação seca prevaleceram coeficientes negativos, embora a maioria deles não tenham sido significativos.

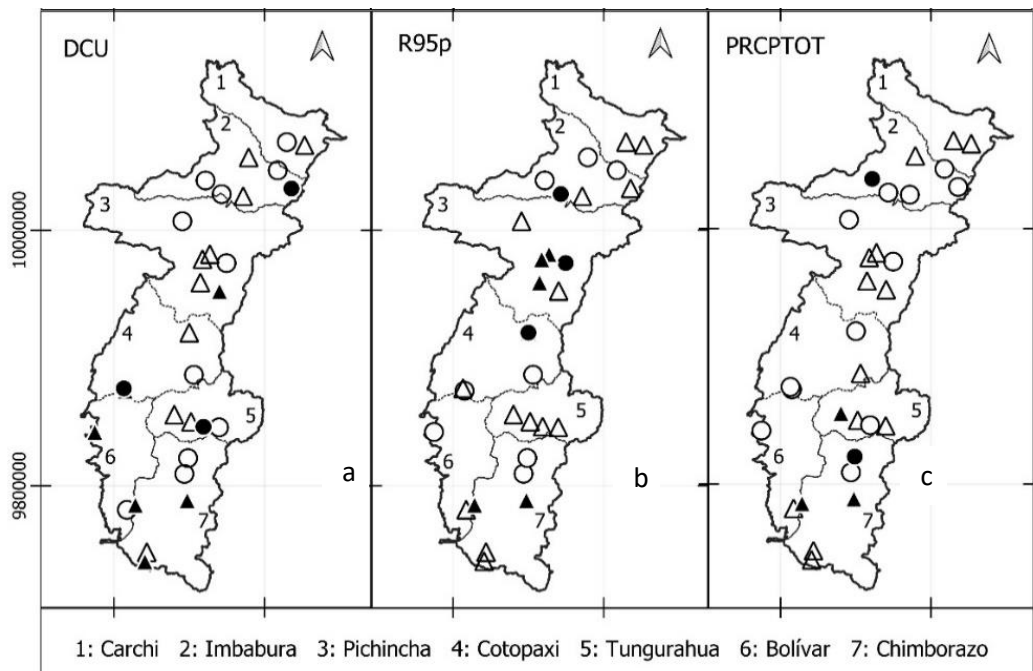
Baseado nas tendências descritas na Tabela 2, mostra-se uma ilustração espacial das tendências dos índices de precipitação para todo o centro norte da Região Interandina. A Figura 6 (a, b, c) e Figura 7 (a, b, c) apresentam a distribuição espacial das tendências do índice Rx5dia, R20mm, DCS, DCU, P95p, PRCPTOT, onde claramente podem notar que em todos os índices as tendências são muito variadas, por exemplo, no primeiro observa-se que as tendências à redução são maiores. Todavia, no segundo índice (R20mm), a maior parte dos índices apresenta tendências positivas e, finalmente, os outros apresentam muita variação entre tendências de aumento e de redução.

Figura 6- Distribuição espacial das tendências dos índices de extremos climáticos baseados na precipitação diária. Rx5dias(a), R20mm(b), e DCS(c).



▲ Tendência de aumento com significância estatística △ Tendência de aumento sem significância estatística
● Tendência de diminuição com significância estatística ○ Tendência de diminuição sem significância estatística

Figura 7- Distribuição espacial das tendências dos índices de extremos climáticos baseados na precipitação diária. DCU(a), R95p(b) e PRCPTOT(c).



▲ Tendência de aumento com significância estatística △ Tendência de aumento sem significância estatística
● Tendência de diminuição com significância estatística ○ Tendência de diminuição sem significância estatística

A análise de precipitação tem relação com as referências apresentadas na pesquisa *Observed and Projected Hydroclimate Changes in the Andes* (PABÓN *et al.*, 2020), onde é indicado que as tendências na precipitação anual nos vales interandinos do norte da América do Sul mostram sinais opostos, ou seja, não apresentam um padrão homogêneo. Também o autor afirma que as mudanças hidroclimáticas observadas nos Andes estão possivelmente relacionadas às mudanças associadas às variações climáticas globais. Segundo Armenta *et al.* (2019) a amplitude da variabilidade da precipitação, especialmente nos meses da estação chuvosa se deve principalmente à influência dos fenômenos El Niño - La Niña, que ocasionam anos com maior ou menor precipitação mensal em relação à média do período 1981-2015.

As tendências resultantes podem representar uma ameaça à sociedade ou aos sistemas naturais, como manifesta Schoolmeester *et al.* (2016) no seu trabalho “*Outlook on climate change adaptation in the Tropical Andes mountains*”. Além disso, os autores citaram que toda a região Andina é um dos hotspots de biodiversidade mais vulneráveis às mudanças climáticas. As atividades humanas determinam diretamente a paisagem em grande parte dos Andes Tropicais e colocam uma pressão significativa sobre os frágeis ambientes montanhosos. Josse *et al.* (2009) manifestam que a atividade humana transformou 22% da área diretamente. Então, é possível que as tendências presentes nesta região tenham algum tipo de relação com as mudanças do uso da terra derivado das atividades humanas.

Manifesta-se a importância de se fazer um estudo que esclareça se existe relação entre as atividades com as mudanças encontradas. Também é importante que as autoridades desenvolvam planos para diminuir a perda dos ecossistemas que, segundo Feeley *et al.* (2010) as temperaturas mais quentes, estão chegando a áreas com maiores altitudes, onde os climas geralmente são mais frios. Um modelo baseado em biomas prevê que as áreas atualmente cobertas por páramos se tornarão adequadas para florestas tropicais de montanha. A previsão é preocupante porque os páramos representam reservatórios naturais da água que são à base dos recursos hídricos para uma grande porcentagem da população do país que usa a água para consumo direto e indireto.

CONCLUSÕES



Após o controle de qualidade, trabalhamos com 30 estações meteorológicas para a precipitação e 15 de temperatura com distribuição geográfica adequada, utilizando séries temporais suficientemente longas (precipitação 1965-2015 e temperatura 1975-2015), portanto, os resultados que apresenta este estudo são mais sólidos em termos de tendências em longo prazo. As séries temporais longas são muito importantes para as análises do clima e suas mudanças. Para isso, a manutenção das estações meteorológicas históricas é fundamental.

Ao analisar as tendências estatísticas dos dados históricos das 30 estações distribuídas na área de estudo, e pode-se concluir, com 95% de confiança, que há mudanças significativas no comportamento da temperatura nas últimas duas décadas. As tendências de precipitação também mostram mudanças em menos estações meteorológicas, em comparação com o parâmetro da temperatura.

Na temperatura mínima, constatou-se que os valores mínimos de temperatura mínima estão aumentando em um valor entre 0,067 a 0,122 °C/ano para as províncias de Pichincha e Tungurahua. Isto tem uma relação com o valor médio da temperatura nessas mesmas províncias.

Na temperatura máxima, observou-se que os valores mínimos de temperatura máxima estão aumentando em um valor entre 0,018 e 0,094 °C/ano para a província de Pichincha. Enquanto uma estação de Cotopaxi (M0004) diminui a uma taxa de -0,06 °C/ano. O resultado obtido é consistente com as tendências positivas e negativas do valor médio da temperatura máxima.

Na análise dos valores máximos de temperatura mínima e máxima, fica evidente que está aumentando em um valor de até 0,094 °C/ano para todas as províncias da área de estudo. Enquanto só em Cotopaxi uma estação (M0004) indica tendências à redução.

Nos resultados dos índices de precipitação, observa-se uma variabilidade da precipitação. Em geral, na estação da província de Chimborazo (M0395) observa-se que apresenta tendência em todos os índices analisados, assim como a estação (M0402) da mesma província não mostra mudança em apenas um índice (DCS). Nesta província, quatro das seis estações analisadas apresentam tendências com significância estatística.

A província de Pichincha também mostra variabilidade nos índices de precipitação em sete das estações estudadas e, o mais relevante é o índice de dias muito chuvosos, seguido de

precipitação máxima em 5 dias consecutivos e número de dias em um ano com precipitação ≥ 20 mm/dia.

As mudanças nas tendências que foram achadas podem estar relacionadas às mudanças nas atividades humanas, assim como a mudança da cobertura vegetal e uso da terra. Para corroborar esta relação, precisa-se fazer um estudo conjunto que enriqueça as análises das causas da ocorrência de eventos climáticos extremos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI) pelos dados utilizados no estudo e à EPN, UFU y CAPES pelo suporte financeiro e técnico.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, Z. Biodiversidad ecuatoriana: estrategias, herramientas e instrumentos para su manejo y conservación. **Universidad Nacional de Loja. Primera Edición**. Loja, Ecuador, 2018.
- ARMENTA, G. E., SOFIEA, C., GORDILLO, F., GUERRERO, A., & VILLA, J. L. Análisis de las amenazas climáticas futuras en las cuencas hidrográficas: Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo. **Revista Científica Axioma**, n. 21, p. 5-21, 2019.
- ARMENTA, G. **Análisis de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos para Ecuador**, 2016.
- CADIER, É. GÓMEZ, G., CALVEZ, R., & ROSSEL, F. **Inundaciones y sequias en el Ecuador**. Conferencias por los 20, p. 107-116, 1994.
- CAMPOZANO, L., BALLARI, D., MONTENEGRO, M., & AVILÉS, A. Future meteorological droughts in Ecuador: decreasing trends and associated spatio-temporal features derived from CMIP5 models. **Frontiers in Earth Science**, v. 8, p. 17, 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00017>
- CARRIÓN, F; ERAZO ESPINOSA, J. La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. **Bulletin de l'Institut français d'études andines**, n. 41 (3), p. 503-522, 2012. <https://doi.org/10.4000/bifea.361>
- CUBILLO, P., ORELLANA D., MAIGUA P. Análisis De La Distribución Espacial De La Temperatura Superficial Y La Valoración De Criterios Que Influyen En La Isla De Calor Urbano (Icu) En El Distrito Metropolitano De Quito. Centro de Información Urbana de Quito, CIUQ. Quito, 254 pp. 2020.
- DE CARVALHO, J. R. P., NAKAI, A., de OLIVEIRA, A. F., & ASSAD, E. Análise de homogeneidade de temperatura mínima mensal para o Estado de São Paulo. **Embrapa Informática Agropecuária-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2016.



DOMÍNGUEZ-CASTRO, F; GARCÍA-HERRERA, R; VICENTE-SERRANO, S M. Wet and dry extremes in Quito (Ecuador) since the 17th century. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 4, p. 2006-2014, 2018. <https://doi.org/10.1002/joc.5312>

EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [ETCCDI] (2013). Climate Change Indices. Disponível em <<https://www.wcrp-climate.org/etccdi>> Acesso em 20 de abril de 2017

FEELEY, K, J.; SILMAN, Miles R. Land-use and climate change effects on population size and extinction risk of Andean plants. **Global change biology**, v. 16, n. 12, p. 3215-3222, 2010.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02197.x>

GUIJARRO, J, A. Homogeneización de series climáticas con Climatol. 2019.

HIDALGO-PROAÑO, M. Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. **CienciAmérica**, v. 6, n. 2, p. 42-47, 2017.

JARRÍN PÉREZ, F, X. Análisis de Índices Climáticos a Partir de Datos Instrumentales Meteorológicos Para Determinación de Cambio Climático en las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí (Mestrado en Ciencias Ambientales), Departamento de matemáticas, ESPOL. Guayaquil, 2016.

JOSSE, C., CUESTA, F., NAVARRO, G., BARRENA, V., CABRERA, E., CHACÓN MORENO, E., ... & Tovar, A. Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, 2009.

KARL, T, R.; NICHOLLS, N; GHAZI, A. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. In: Weather and climate extremes. **Springer, Dordrecht**, p. 3-7, 1999. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2

MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. **Convención Marco de las Naciones Unidas, Cambio Climático**. Comité Nacional sobre el Clima, 2017.

MINISTERIO DE COORDINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EMPLEO Y COMPETITIVIDAD. Agendas para la Transformación Productiva Territorial, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/3oU9b6A>> Acesso em: 10 de abril de 2017.

MORÁN-TEJEDA, E., BAZO, J., LÓPEZ-MORENO, J. I., AGUILAR, E., AZORÍN-MOLINA, C., SANCHEZ-LORENZO, A., ... & VICENTE-SERRANO, S. M. Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 11, p. 3839-3855, 2016.

<https://doi.org/10.1002/joc.4597>

MUÑOZ, A. Análisis estadístico con Climdex de índice climáticos para las provincias de Pichincha y Napo. 2013b. Disponível em: < <https://bit.ly/3E7l13A> >. Acesso em: 15 de abril de 2017.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM), (2021), Estado del clima en 2021: los fenómenos extremos y sus principales repercusiones. Disponível em: <https://bit.ly/3D4JuW5>

PABÓN-CAICEDO, J. D., ARIAS, P. A., CARRIL, A. F., ESPINOZA, J. C., BORREL, L. F., GOUBANOVA, K., ... & VILLALBA, R. Observed and projected hydroclimate changes in the Andes. **Frontiers in Earth Science**, v. 8, p. 61, 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00061>

PALACIOS-ESTRADA, M; MASSA-SÁNCHEZ, P; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, V-A. **Cambio climático y contaminación ambiental como generadores de crisis alimentaria en la América andina: un análisis empírico para Ecuador**. *Investigación Operacional*, v. 39, n. 2, p. 234-249, 2017.

QUAGLILOLO, C., PEZZOLI, A., IGNACCOLO, R., & DAVILA, J. L. S. Time-lagged inverse-distance weighting for air temperature analysis in an equatorial urban area (Guayaquil, Ecuador). *Meteorological Applications*, v. 27, n. 4, p. e1938, 2020. <https://doi.org/10.1002/met.1938>

SERRANO CHANO, J, J. Regionalización espacial de series climáticas mensuales casos de estudio: Cuenca del río Guayllabamba. Hidrologia, EPN, Quito, 2011b.

SCHOOLMEESTER, T.; SARAVIA, M.; ANDRESEN, M.; POSTIGO, J.; VALVERDE, A.; JUREK, M.; ALFTHAN, B. and GIADA, S. Outlook on Climate Change Adaptation in the Tropical Andes mountains. Mountain Adaptation Outlook Series. United Nations Environment Programme, GRIDArendal and CONDESAN. **Nairobi, Arendal, Vienna and Lima**. www.unep.org, www.grida.no, www.condesan.org, 2016.

SILVA, R; OMENA BARBOSA; MONTENEGRO, S M; SOUZA, W M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, p. 579-589, 2017.

<https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>

VÁZQUEZ AGUIRRE, J L. **Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México**, No. F/574.5222 V3, 2010.

WANG, X, L.; FENG, Yang. RHtestsV4 user manual. **Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada**, v. 28, 2013.

ZHANG, X; YANG, F; SANTOS, J Ls. RClimDex (1.0). Manual del usuario. *Climate Research Branch Environment Canada*. Versión en español: Santos, JL CIIFEN, 2004.