

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**  
**ÁREAS DE DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS**

**ANÁLISE DE MUDANÇAS EM CORPOS D'ÁGUA, USO DA  
TERRA E COBERTURA VEGETAL COM EVENTOS CLIMÁTICOS  
EXTREMOS NO PÁRAMO DO EQUADOR (1998-2015)**

**Daysi Tatiana Andrango Quisaguano**

**Uberlândia – MG**

**2022**

**DAYSY TATIANA ANDRANGO QUISAGUANO**

**ANÁLISE DE MUDANÇAS EM CORPOS D'ÁGUA, USO DA  
TERRA E COBERTURA VEGETAL COM EVENTOS CLIMÁTICOS  
EXTREMOS NO PÁRAMO DO EQUADOR (1998-2015)**

Defesa de dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (PPGGEO/UFU), como requisito parcial a obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de área de dinâmicas territoriais e estudos ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

**Uberlândia – MG**

**2022**



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia  
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico; Número 516, PPGGEO				
Data:	22 de março de 2022	Hora de início:	14h:00m	Hora de encerramento:	18h:00m
Matrícula do Discente:	12012GEO004				
Nome do Discente:	Daysi Tatiana Andrango Quisaguano				
Título do Trabalho:	ANÁLISE DE MUDANÇAS EM CORPOS D'ÁGUA, USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL COM EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO PÁRAMO DO EQUADOR (1998-2015)				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Anfiteatro [On-line], Campus [Mconf RNP], da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: [Selma Regina Aranha Ribeiro - UEPG/PR](#); [Alan Silveira - IG/UFU](#) e [Claudionor Ribeiro da Silva - IG/UFU](#) orientador da candidata. Em função da Pandemia COVID-19, todos os membros participaram de forma on-line.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. [Claudionor Ribeiro da Silva - IG/UFU](#), apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de [Mestre](#).

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Claudionor Ribeiro da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/03/2022, às 17:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/03/2022, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **SELMA REGINA ARANHA RIBEIRO, Usuário Externo**, em 22/03/2022, às 17:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3455094** e o código CRC **B1DECFAS**.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Q8  
2022 Quisaguano, Daysi Tatiana Andrango, 1991-  
ANÁLISES DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA VEGETAL  
NATURAL DA TERRA COM EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO  
PÁRAMO DO EQUADOR [1998-2015] [recurso eletrônico] /  
Daysi Tatiana Andrango Quisaguano. - 2022.

Orientador: Claudionor Ribeiro.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de  
Uberlândia, Pós-graduação em Geografia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.183>

Inclui bibliografia.

1. Geografia. I. Ribeiro, Claudionor, 1975-, (Orient.).  
II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em  
Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabalho com todo meu amor aos meus pais, Aurora Quisaguano e Marcelo Andrango que são a maior benção da minha vida, pelo exemplo de luta e perseverança e por me apoiarem dia a dia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela benção da vida e pela saúde. A meus pais Aurora Quisaguano e Marcelo Andrango, que são as pessoas mais importantes da minha vida e que amo de todo o coração, por seu apoio, por sua confiança e por todo o amor que tem por suas três filhas.

As minhas irmãs, Vanessa e Mireya, por estar sempre comigo, por se tornar minhas melhores amigas, por todo seu apoio em cada etapa da minha vida. A minha avó Maria Mercedes Vega porque sei que é um anjo que me acompanha do céu. A meu avô Guillermo Quisaguano por suas orações e seu carinho.

Ao meu Orientador o professor Claudionor Ribeiro, pelas contribuições no desenvolvimento deste trabalho, pela confiança, pelo apoio e a dedicação expressa em cada diálogo. Também quero agradecer ao professor Roberto Rosa, que no começo foi meu orientador, e que me guiou no projeto da pesquisa. Ao professor Vicente de Paulo da Silva que sua amizade e carinho.

À UFU e ao programa CAPES, que me deu a oportunidade de viver esta experiência, especialmente pela formação acadêmica o crescimento profissional e pessoal.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI), pela disponibilidade de dados para o desenvolvimento deste trabalho, assim também à Ing. Sandra Torres, pesquisadora do INAMHI, pela colaboração fornecida nesta pesquisa.

Ao César por seu amor, por sua paciência, por incentivar meu crescimento individual, por se tornar um apoio fundamental da minha vida, por cada momento compartilhado, por cada sorriso, por cada experiência a seu lado.

A meus amigos, Gaby que foi a primeira pessoa que conheci quando cheguei ao Brasil, e se tornar um grande apoio neste caminho, a Camila por sua amizade seu carinho e por ser minha professora do português, ao Vital por ser uma pessoa incrível, por suas palavras e sorrisos que me alegraram dia a dia, a Noe por estar sempre pendente de mim, por cada conversa longa, e por cada palavra de fortaleza que ela me deu.

## RESUMO

O páramo está localizado na região interandina a uma altura de entre 3.000 e 4.200 metros acima do nível do mar, é considerado um ecossistema de alta montanha, com uma grande importância para o país e a região. Sua principal característica, embora não única, está relacionada com a capacidade de seus solos de captar, armazenar e distribuir água para as terras baixas, onde é utilizada por cerca de 2,5 milhões de pessoas, próximas e distantes do páramo, para irrigação, abastecimento de água potável, e geração hidrelétrica. No entanto, a área está passando por mudanças fortes pela influência de processos antropogênicos que podem perturbar o seu equilíbrio. Este estudo apresenta a análise das mudanças de uso e cobertura vegetal da terra ocorridas entre 1998 e 2015 na área do páramo, por meio da interpretação de imagens de satélite (Landsat TM, Landsat OLI), e dos índices de extremos climáticos. As imagens foram classificadas pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança e a partir desses mapas temáticos foi gerada a matriz de tabulação cruzada. A partir dessa matriz, foi possível identificar a superfície das coberturas e usos do solo para cada ano e com base nela, foram determinadas as taxas de mudança. Os resultados mostram que a vegetação diminuiu consideravelmente, enquanto as áreas povoadas, e as atividades agropecuárias aumentaram. Os indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação sobre o páramo foram organizados em observações de séries diárias, no período 1998-2015. A análise da tendência dos índices foi feita através de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados e depois especializado com interpolação pelo método do semivariograma. Os índices relacionados à temperatura mostram claramente tendências de aumento dos extremos de tal variável, sendo alguns valores extremos significativos e mostrando aumento de dias quentes (TX90p) e noites quentes (TN90p). Para os índices relacionados à precipitação, as tendências são variadas e existem poucos valores significativos, podendo-se observar uma diminuição dos dias secos (CDD) além de dias muito chuvosos (R95p) e da precipitação total (PRCPTOT). Por último, se fez uma análise conjunta tentando encontrar um relacionamento entre as mudanças da vegetação e uso do solo e o comportamento dos índices de extremos climáticos. Vale destacar que não se encontrou um padrão direto entre essas variáveis, no entanto, há índices com tendências coerentes ao indicador. As áreas que não apresentaram mudanças registram pequenas variações nas tendências da média da temperatura (TMAX média), e acontece algo semelhante nas áreas conservadas e recuperadas.



**Palavras-chave:** páramo, mudança, classificação supervisionada, tendências, índices, extremos climáticos.

## **ABSTRACT**

The paramo is a high mountain ecosystem of great importance, located in the inter-Andean at a height that oscillates between 3,200 and 4,700 meters above sea level. Its principal function, but not unique, is related to the capacity of its soil in absorbing rainwater like a sponge, and filters and releases it into other ecosystems. This water that comes from high lands is distributed to the lowlands, where it is used by millions of people near and far from the paramo for irrigation, drinking water supply, and hydroelectric generation. Unfortunately, the area is undergoing strong changes by the influence of anthropogenic processes that may disturb its balance. This study analyses land cover and land-use changes over the period 1998 to 2015 in the paramo area by satellite image interpretation (Landsat TM, Landsat OLI) and the use of the maximum likelihood algorithm, which also allowed the construction of thematic maps of land use and vegetation. The cross-tabulation matrix made it possible to identify the area of land cover and land use for each year and the rates of change were determined based on this. The results show that the vegetation has decreased considerably, while the populated areas, and the agricultural activities have increased. The indicators of climatic extremes of temperature and precipitation on the paramo were analyzed using data from daily series of meteorological observations provided by INAMHI for the period 1998-2015. The trend analysis of the used indexes is performed by linear regression using the least squares method and then specialized with interpolation based on the semivariogram method. Temperature-related indices evidence clearly increasing trends in the extremes of this variable, with some of them remaining statistically meaningful and exhibiting an increase on hot days (TX90p) and warm nights (TN90p). In the case of precipitation-related indices, there are varied trends with few significant values and a decrease in dry days (CDD), very rainy days (R95p) and total precipitation (PRCPTOT). Finally, a combined analysis was developed to find a relationship between changes in vegetation and land use and the behavior of climate extremes indices. It was not possible to find a direct pattern between these variables; however, there are indices with trends that are coherent with the vegetation cover index. The areas that did not change reflect only small variations in mean temperature trends (mean TMAX), and something similar was found in the conserved and restored areas.

**Keywords:** Páramo, change, supervised classification, trends, indices, climate extremes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Vegetação do páramo.....	8
Figura 2-Localização geográfica dos fundos de água no Equador.....	9
Figura 3-Corpos de água no páramo .....	11
Figura 4- Sítios arqueológicos.....	13
Figura 5-Esquema metodológico das análises de uso do solo e cobertura vegetal .....	16
Figura 6. Cobertura de imagens Landsat 5 para o Páramo.....	17
Figura 7- Comparação de imagens corrigidas e não corrigidas.....	19
Figura 8- Exemplo de ROIs para cada classe.....	21
Figura 9- Imagens obtidas no campo de cada classe de área de estudo .....	25
Figura 10-Metodologia dos cálculos de índices de extremos climáticos e a interpolação .....	26
Figura 11- Ilustração de dados disponíveis na série climatológica .....	27
Figura 12-Metodologia da análise conjunta .....	30
Figura 13- Porcentagem de mudança de uso da terra e cobertura vegetal .....	37
Figura 14-Registro histórico do índice IOS como indicador de eventos ENSO.....	52
Figura 15- Comportamento dos índices de temperatura na zona degradada.....	59
Figura 16- Comportamento dos índices de precipitação na zona degradada .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos satélites.....	4
Tabela 2. Bandas dos satélites Landsat 5 e 8.....	4
Tabela 3. Índices de extremos climáticos.....	5
Tabela 4. Definição das classes .....	15
Tabela 5. Parâmetros de calibração radiométrica.....	18
Tabela 6. Resolução Radiométrica, níveis de cinza e tamanhos .....	20
Tabela 7. Análise de separabilidade espectral no plano dimensional na imagem Landsat 5 ..	21
Tabela 8. Representação matemática da matriz de confusão .....	22
Tabela 9. Interpretação do Índice Kappa.....	23
Tabela 10. Pontos coletados no campo.....	24
Tabela 11. Matriz de tabulação cruzada de dois mapas em diferentes pontos no tempo .....	26
Tabela 12. Classificação das legendas para a mudança de uso de solo e vegetação.....	31
Tabela 13. Quadro comparativo dos índices climáticos e indicadores de mudanças.....	32
Tabela 14. Áreas classificadas utilizando a metodologia MAXVER.....	34
Tabela 15. Matriz de confusão utilizando o algoritmo MAXVER para o ano de 1998 .....	34
Tabela 16. Matriz de confusão utilizando o algoritmo MAXVER para o ano de 2015 .....	35
Tabela 17. Resultado dos coeficientes utilizados no mapeamento para o ano 1998 e 2015 ....	35
Tabela 18. Matriz de tabulação cruzada de dois mapas em diferentes pontos no tempo .....	36
Tabela 19- Crescimento da população na região Interandina.....	46

Tabela 20. Tendências estatisticamente significativos dos índices de precipitação.....	47
Tabela 21. Tendências estatisticamente significativos dos índices de temperatura .....	50
Tabela 22- Índices de temperatura -área sem mudança.....	55
Tabela 23- Índices de precipitação - valor sem mudança.....	57
Tabela 24- Índices de temperatura - área degradada .....	59
Tabela 25- Índices de precipitação - área degradada.....	61
Tabela 26- Índices de temperatura - área conservada e recuperada .....	63
Tabela 27- Índices de precipitação - área conservada e recuperada.....	65
Tabela 28- Índices de temperatura - área em transição .....	67
Tabela 29- Índices de precipitação - área em transição.....	67
Tabela 29. Tendências dos índices de precipitação.....	79
Tabela 30. Tendências dos índices de temperatura .....	80

## MAPAS

Mapa 1- Mapa de Localização da Área de Estudo .....	7
Mapa 2- Usinas hidroelétricas no Equador. ....	12
Mapa 3- Distribuição de estações meteorológicas .....	29
Mapa 4- Camada de pontos para extração de valores .....	31
Mapa 5- Mapa de uso de solo e cobertura vegetal do ano 1998 e 2015 .....	33
Mapa 6 -Mudança dos corpos de água na área de estudo.....	38
Mapa 7 -Mudança de afloramento de rocha/Eriales na área de estudo .....	39
Mapa 8 -Mudança de Geleiras na área de estudo .....	40
Mapa 9 -Mudança de áreas povoadas na zona de estudo .....	41
Mapa 10 -Mudança do solo de cultivo na zona de estudo.....	42
Mapa 11 -Mudança de vegetação natural na zona de estudo .....	43
Mapa 12 -Mudança de pastagem na área de estudo .....	44
Mapa 13 -Distribuição espacial das tendências dos índices de precipitação.....	49
Mapa 14 -Distribuição espacial das tendências dos índices de temperatura .....	53
Mapa 15- Indicadores de mudança.....	54
Mapa 16- índices de temperatura- área sem mudança.....	56
Mapa 17- índices de precipitação- área sem mudança .....	58
Mapa 18- índices de temperatura- área degradada .....	60
Mapa 19- índices de precipitação- área degradada.....	62
Mapa 20- índices de temperatura- área recuperada e conservada. ....	64
Mapa 21- índices de precipitação - área recuperada e conservada.....	66
Mapa 22- índices de temperatura - área em transição .....	68
Mapa 23- índices de precipitação - área em transição.....	69

## **LISTA DE SIGLAS**

- DEM:** Digital Elevation Model
- DN:** Digital Number
- DOS:** Dark Subtract
- ENSO:** El Niño South Oscillation
- ENVI:** Environment for Visualizing Imagens
- ETCCDI:** Expert Team on Climate Change Detection and Indices
- FONAG:** Fondo de Protección del Agua
- IGM:** Instituto Geográfico Militar
- INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
- INEC:** Instituto de Estadísticas y Censos
- IOS:** Índice de Oscilação Sul
- Landsat:** Land Remote Sensing Satellite
- MAE:** Ministerio de Ambiente del Ecuador
- MAXVER:** Máxima Verossimilhança
- MW:** Megawatt
- NASA:** National Aeronautics and Space Administration
- OLI:** Operational Terra Imager
- OMM:** Organización Mundial Meteorológica
- ROI:** Region Of Interest
- SENAGUA:** Secretaría Nacional del Agua
- TM:** Thematic Mapeer
- UTM:** Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	PROBLEMÁTICA.....	1
3.	OBJETIVOS.....	3
3.1	Objetivo Geral.....	3
3.2	Objetivos Específicos .....	3
4.	HIPÓTESE.....	3
5.	REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	3
5.1	Imagens do satélite.....	3
5.2	Eventos climáticos extremos .....	4
5.3	Índices de eventos climáticos extremos.....	5
6.	Área de estudo .....	6
7.	METODOLOGIA.....	13
7.1	Recursos Materiais.....	13
7.2	Delimitação da área de estudo .....	14
7.3	Definição de Classes de uso e cobertura vegetal natural da terra.....	14
7.4	Critérios de seleção de imagens de satélite.....	17
7.5	Pré-processamento de imagens .....	18
7.5.1	Correção atmosférica para dados de Landsat 5 e 8 .....	18
7.5.2	Conversão Radiométrica.....	19
7.5.3	ROIs (Regiões de interesse) .....	20
7.5.4	Análise de separabilidade .....	21
7.5.5	Classificação supervisionada.....	22
7.5.6	Pós Classificação .....	22
7.5.7	Mudança de uso e cobertura vegetal natural da terra .....	25
7.6	Análise de Índices Climáticos Extremos .....	26
7.6.1	Estações meteorológicas.....	27
7.6.2	Seleção de dados completos e contínuos.....	27
7.6.3	Análise e controle de qualidade.....	27
7.6.4	Homogeneização de séries de dados .....	28

7.6.5	Cálculo de índices de mudança climática.....	28
7.7	Análise conjunto de resultados .....	29
8.	RESULTADOS .....	32
8.1	Mudança de uso de solo e cobertura vegetal .....	32
8.2	Detecção de mudança .....	36
8.3	Índices de extremos climáticos .....	47
8.4	Análises conjunto.....	54
9.	CONCLUSÕES .....	71
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
11.	ANEXOS .....	79

## 1. INTRODUÇÃO

O Páramo é um ecossistema de alta montanha localizado entre 3.000 e 4.200 metros acima do nível do mar (MENA et al, 2006). Em geral, o páramo é caracterizado com clima frio e úmido, alta irradiação e nebulosidade. No entanto, essas condições climáticas podem variar em termos de distribuição das chuvas, temperatura, luminosidade, duração da luz do dia, umidade relativa e ventos.

A importância hidrológica do páramo é bem reconhecida e cada vez mais apreciada. A grande maioria das pessoas do Equador depende direta ou indiretamente da água do páramo para consumo, irrigação e geração de eletricidade (VÁSCONEZ et al., 2001). Cidades como Quito, Riobamba, Ambato e Cuenca dependem 100% da água potável que tem sua origem no páramo, incluindo algumas cidades costeiras (e.x. Guayaquil, Manta, Esmeraldas) na qual dependem em parte da disponibilidade de água do páramo (HOFSTEDE et al., 2014).

O páramo também é um território onde moram muitas comunidades indígenas que têm o páramo como sua fonte de subsistência (CAMACHO, 2014). O desmatamento, a expansão agrícola, a pastagem, a mineração, o manejo inadequado da água e a invasão urbana representam sérios riscos à sua longevidade (IUCN, 2010).

Diante do exposto, sabe-se que esse ecossistema é frágil e tem consequências na mudança das variações climáticas, por isso é interessante integrar nesta pesquisa uma análise do uso e cobertura com as variações climáticas que ocorrem há mais de 17 anos nessa área.

Este trabalho é importante para desenvolver informações básicas e necessárias no planejamento e adaptação às variações climáticas observadas no páramo do Equador, porque a importância social da área é indiscutível. As informações geradas servirão a várias instituições estatais que usam informações climáticas, hidrológicas e meteorológicas, e que são entidades principais no progresso econômico e no bem-estar da população equatoriana. Também permitirá que sejam implementadas táticas de adaptação para diminuir os efeitos adversos e tirar proveito dos efeitos benéficos resultantes das mudanças climáticas.

## 2. PROBLEMÁTICA

O páramo é um ecossistema vulnerável, principalmente devido à expansão de áreas agrícolas, práticas pecuárias, incluindo queima e pastoreio excessivo, introdução de espécies exóticas, mineração e caça. (BELTRÁN et al., 2009). As atividades pecuárias e a agricultura extensiva

desenvolvidas neste ecossistema, produz, entre outras alterações, a perda da cobertura vegetal natural, a contaminação da água e do solo com agroquímicos, a perda de cobertura edáfica pela ação de máquinas (tratores), e a diminuição da capacidade de retenção de água (VÁSCONEZ et al., 2001).

Além disso, esse ecossistema possui grande sensibilidade aos efeitos da variabilidade climática, sendo fonte de diversos conflitos sociopolíticos, devido à possível redução dos fluxos de água, mudanças no uso das terras e redução da biodiversidade (ISCH, 2012).

A principal função relacionada à sociedade é a capacidade dos solos de coletar, armazenar e distribuir água para as planícies, onde é usada por milhões de pessoas, próximas e distantes do páramo, para irrigação, água potável, geração hidrelétrica, entre outros (CAMACHO, 2014).

O aumento das atividades humanas acrescenta essencialmente a demanda pelos bens e serviços, que afetam, dependendo da intensidade. Quanto mais recursos são utilizados, maior quantidade de resíduos deve ser assimilada pelo ecossistema, o que pode gerar sério problema no páramo, onde as taxas de decomposição microbiana são particularmente baixas (MORALES-BETANCOURT, 2006). É claro que o páramo é um importante pilar para o desenvolvimento socioeconômico da cordilheira andina e que a conservação de seu sistema hidrológico é uma prioridade.

Esse importante espaço até agora não foi valorizado nas dimensões declaradas por nenhum dos atores dos quais depende seu uso produtivo e conservação (HOFSTEDE et al., 2014). Isso gerou uma gestão sem planejamento e regulamentação, pela falta de informações sobre os componentes nele desenvolvidos. Este ecossistema está passando por deterioração progressiva e isso leva a fortes impactos ambientais, sociais e econômicos, tanto dentro e no contexto nacional.

Existem mapeamentos de uso de solo e cobertura vegetal desenvolvidos para todo o território nacional (MAE-MAGAP, 2015). No entanto, nessa classificação o páramo foi considerado como uma única classe. Vale destacar que no páramo se desenvolvem várias atividades e merece ser analisada de forma particular, devido à sua grande importância. Por isso, este estudo é focado nas classes que compõem esta área.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Identificar as mudanças de uso e cobertura vegetal natural da terra usando imagens de satélite Landsat 5 e 8 nos anos 1998 e 2015 e correlacionar essas mudanças com a ocorrência de eventos climáticos extremos de dados diários de temperatura e precipitação observados no mesmo período, no páramo do Equador.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Mapear o uso e cobertura vegetal natural da terra de 1998 e 2015, mediante imagens dos satélites Landsat 5 e 8, usando o classificador de máxima verossimilhança.
- Calcular os índices climáticos extremos da série histórica de dados de precipitação e temperatura do INAMHI (Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia) usando o software Rclimindex.
- Verificar a existência de correlação das variações extremas de temperatura e precipitação (diárias) com as mudanças de uso da terra.

### **4. HIPÓTESE**

Este estudo foi conduzido a partir da hipótese de que as atividades antropogênicas desenvolvidas, podem estar causando mudança no uso e cobertura vegetal da terra, especialmente degradação predominante nas coberturas naturais do páramo na região interandina do Equador. Assim como uma possível relação entre o processo de mudança e a ocorrência de eventos climáticos extremos na mesma área.

### **5. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL**

#### **5.1 Imagens do satélite**

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 60. A missão, em sua maioria, foi gerenciada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pela U.S. Geological Survey (USGS) e envolveu o lançamento de oito satélites. O objetivo dos satélites é fazer observações dos recursos naturais terrestres, e capturar informações para identificar o uso da terra e cobertura vegetal.

Dentre toda a série de satélites, destaca-se o LANDSAT 5 e 8, por ser de interesse deste estudo. As imagens dos sensores desses satélites são imagens de resolução espacial média e possuem as seguintes características técnicas.

**Tabela 1.** Características dos satélites.

	Landsat 5	Landsat 8
Instrumento/Sensor	TM	OLI e TIRS
Lançamento	01/03/1984	02/11/2013
Resolução Temporal	16 dias	16 dias
Resolução Espacial	30 m	30 m
Resolução Espectral	8	11
Resolução Radiométrica	8 bits	16 bits

Base de dados: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Tabela 2.** Bandas dos satélites Landsat 5 e 8.

Band a	Landsat 5, TM		Landsat 8, OLI e TIRS		Band a
	Resolução espacial	Espectro da banda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial	Espectro da banda ( $\mu\text{m}$ )	
B1	30 m Azul	0,45-0,52	30m Azul Costeira	0,435-0,451	B1
B2	30 m Verde	0,520-0,600	30 m Azul	0,452-0,512	B2
B3	30 m Vermelho	0,630-0,690	30 m Verde	0,533-0,590	B3
B4	30 m NIR	0,760-0,900	30 m Vermelho	0,636-0,673	B4
B5	30 m SWIR	1,550-1,750	30 m NIR	0,851-0,879	B5
B7	30 m MIR	2,080-2,350	30 m SWIR	1,566-1,651	B6
-	-	-	30 m SWIR	2,107-2,294	B7
-	-	-	30 cirrus	1,363-1,384	B9

Base de dados: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

## 5.2 Eventos climáticos extremos

Segundo o IPCC (2012), os eventos climáticos extremos são a ocorrência de um valor de uma variável meteorológica ou climática acima (ou abaixo) de um valor limite próximo à extremo superior (ou inferior) do intervalo de valores observados da variável. As mudanças em eventos climáticos extremos podem estar relacionadas a mudanças na média, variância ou forma da distribuição de probabilidade, ou todas elas. Muitos eventos climáticos e climáticos extremos são o resultado da variabilidade natural do clima. A variabilidade natural continuará sendo um

fator determinante em eventos climáticos extremos no futuro, além dos efeitos das mudanças climáticas antropogênicas.

Um olhar para o passado mostra que extremos climáticos fazem parte da história da humanidade, desde os seus primórdios, decidindo destinos de populações e sua migração pelos continentes. No entanto, a vulnerabilidade atual não tem precedente. Com uma população crescente, uma urbanização cada vez mais acentuada que ocupa até áreas de risco, os extremos provocam impactos nunca antes observados (DA SILVA, 2014).

O Equador é altamente vulnerável aos impactos das mudanças climáticas e eventos extremos. Espera-se que as mudanças de temperatura e precipitação afetem muito os sistemas de produção e a população dependente deles (LUDEÑA, 2013).

### 5.3 Índices de eventos climáticos extremos

O Grupo de Especialistas em Detecção e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDI), formado em conjunto pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o projeto de variabilidade climática (CLIVAR) e a Comissão Conjunta de Oceanografia e Meteorologia Marítima (JCOMM), se uniram em coordenação Internacional para desenvolver, calcular e analisar uma série de índices para que pessoas de diferentes países e regiões possam calcular os índices exatamente da mesma maneira, para que suas análises se adaptem perfeitamente no cenário global (KARL et al., 1999; VÁZQUEZ, 2010). Na presente pesquisa usou-se os índices da Tabela 3.

**Tabela 3.** Índices de extremos climáticos

<b>Índice</b>	<b>Nome do índice</b>	<b>Definição</b>
Tn90p	Noites quentes	Porcentagem de dias quando TN>90th percentil
Tx90p	Dias quentes	Porcentagem de dias quando TX>90th percentil
TMAX média	Média da temperatura máxima	Valor médio da temperatura máxima
TMIN média	Média da temperatura mínima	Valor médio da temperatura mínima
R95p	Dias muito chuvosos	Precipitação anual total em que RR>95 percentis
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com RR<1 mm
CWD	Dias chuvosos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com RR≥ 1mm
PRCPTOT	Precipitação Total Anual	Precipitação Total Anual quando (PRCP≥1mm)

\*Tn=temperatura mínima, Tx=temperatura máxima, RR=precipitação

Base de dados: Vázquez-Aguirre, J (2010)

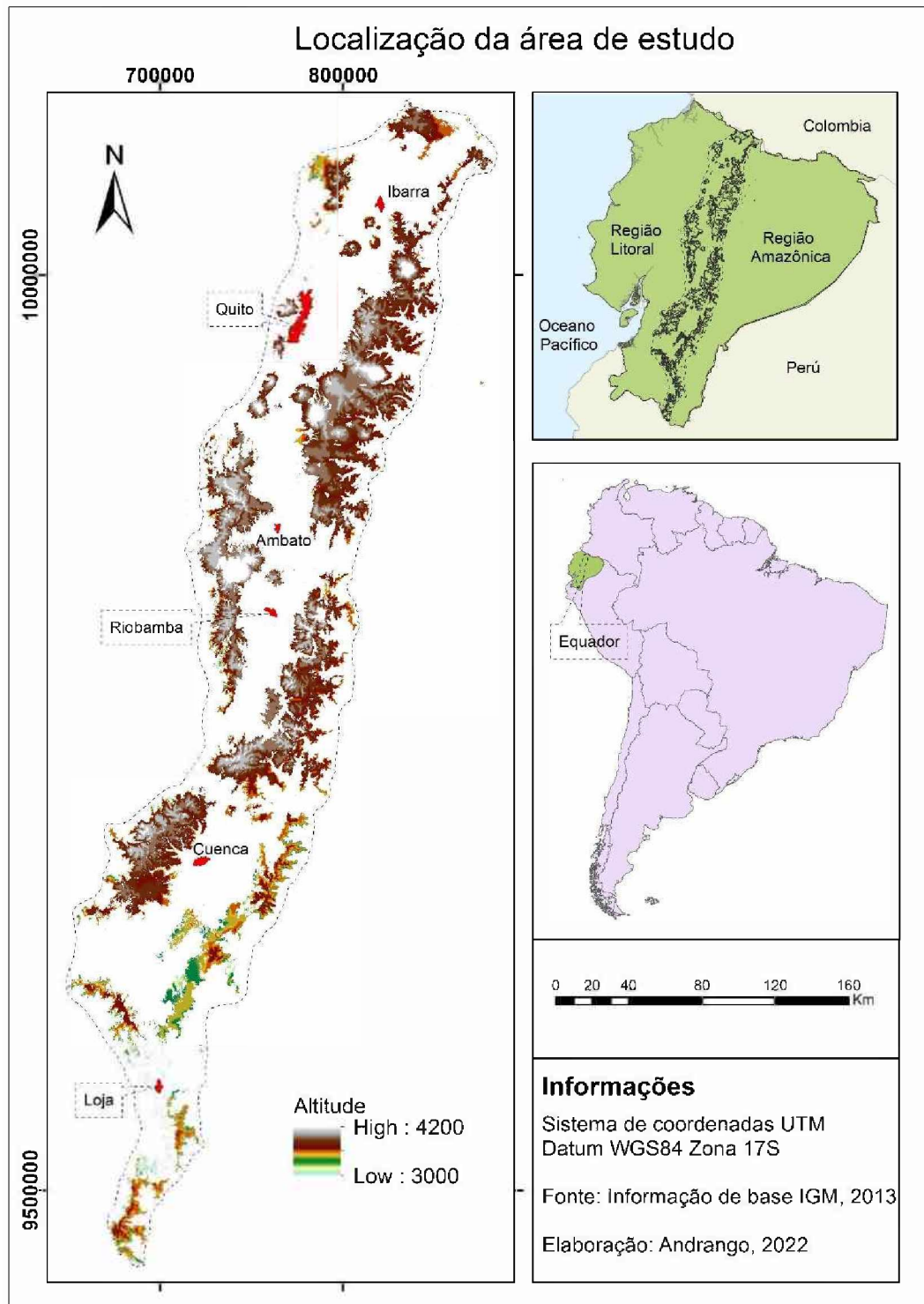
Para o cálculo dos índices foi usado o software livre R Studio com o pacote RClimdex que foi desenvolvido por Xuebin Zhang e Feng Yang do Departamento de Investigação Climática do Serviço Meteorológico de Canadá (ZHANG e YANG, 2004).

O RClimDex fornece uma interface gráfica de usuário amigável para calcular todos os 27 principais índices de mudança climática definidos pelo ETCCDI. Ele também realiza um controle de qualidade simples nos dados diários de entrada. O software foi usado pela primeira vez no Workshop da África do Sul na Cidade do Cabo, África do Sul, informação disponível em: <http://etccdi.pacificclimate.org/>.

O software RClimdex analisa a série histórica de dados meteorológicos e calcula os índices climáticos que mostram tendências no comportamento do clima ao longo do tempo (JARRÍN, 2016). Antes de inserir os dados no RClimdex, eles passam por um processo de controle de qualidade, condição fundamental para o cálculo dos índices.

## **6. Área de estudo**

O páramo está localizado ao centro do Equador na região Interandina (Mapa 1), entre 3.000 e 4.200 metros acima do nível do mar (MENA et al, 2001). O páramo possui uma área total de 11.080 km<sup>2</sup> (1.108.014,6) que é aproximadamente 7% do território nacional e engloba várias partes de quinze províncias do Equador (BELTRÁN et al., 2009). Esta área limita-se ao norte com a Colômbia; ao sul com o Peru; a oeste com a região Costa do Equador; e a leste com a Região Amazônica do Equador.



**Mapa 1-** Mapa de Localização da Área de Estudo

### 6.1 Ecossistema do páramo

O páramo é um ecossistema de altitude imerso em um espaço geossocial maior, conhecido como alta montanha equatorial, onde coexiste com outros sistemas de altitude. É uma formação ecológica específica dos Andes septentrionales (CAMACHO, 2014. p. 79).

Está localizado de forma descontínua nos neotrópicos, a partir de 3.000 de altitude aproximadamente até a linha de neve perpétua, aproximadamente 4.300 de altitude. Desde Venezuela e Colômbia, ao norte, passando pelo Equador, até o Peru, ao sul (Llambí et al., 2012).

O páramo é um ecossistema caracterizado por várias associações vegetais, das quais as mais eminentes são: frailejonales, pajonales, e florestas anãs ou atrofiadas. Plantas pertencentes aos gêneros *Plantago*, *Paepalanthus* e *Sphagnum* formam almohadillas e rosetas no solo, contribuindo para a formação de turfeiras (MORALES-BETANCOURT, 2006, p. 3). Uma imagem da vegetação natural do páramo pode ser vista na Figura 1.



Páramo do Angel, província do Carchi, norte da região interandina

**Figura 1-Vegetação do páramo**

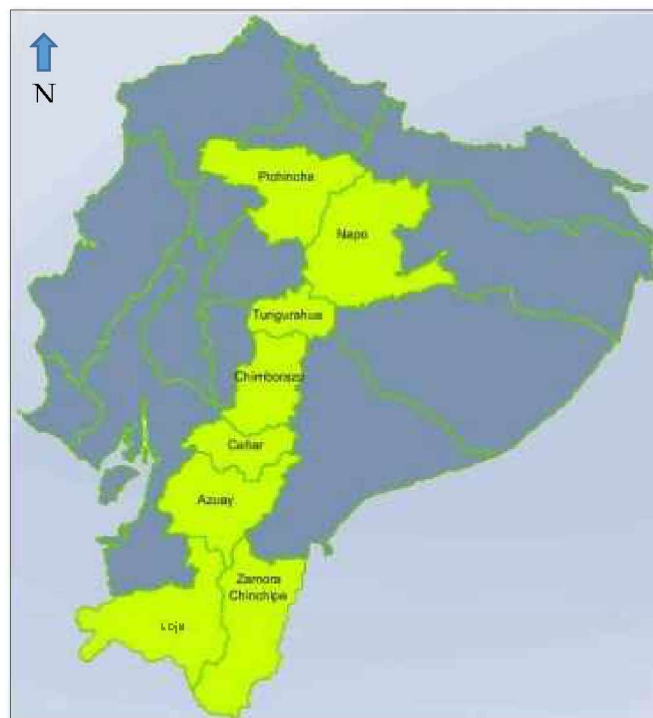
Fonte: Andrango, 2020

Em relação à fauna, existe grande variedade de Aves, Anfíbios, Mamíferos e Répteis. Entre os mamíferos, os camundongos da família Muridae constituem o grupo com maior riqueza específica, enquanto o margay (*Leopardus tigrinus*) só foi registrado no super páramo, acima de 4.100 m. Os artrópodes abundam principalmente nas folhas mortas dos frailejones, que agem como o lixo nas florestas. Também foram registradas 131 espécies de borboletas nesta área.

As atividades antrópicas são o principal fator de degradação do páramo. Essa degradação gera profundas alterações nas propriedades físicas e químicas dos solos e perda da vegetação natural deste ecossistema. Várias causas podem ser definidas: fogo, sobrepastoreio e culturas,

embora existam outros fatores (construção de estradas, casas e canais de irrigação) (POULENARD, 2000)

Devido a isso, várias instituições como é o Fundo de Proteção às Águas de Quito (FONAG) que foi criado no ano 2000, com o desafio de conservar as nascentes que abastecem a capital (CHARCHALAC-SANTAY, 2012. p 42). O FONAG administra 5.420 km<sup>2</sup> em áreas do páramo prioritárias para o abastecimento de água a cerca de 2,5 milhões de habitantes no Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), (CHAFLA et al., 2016). O projeto do FONAG, mostrou melhoria das condições ecológicas das áreas intervencionadas (flora e fauna), na prevenção de riscos de erosão, controle de enchentes e mitigação de efeitos das alterações climáticas. Vale destacar que o programa representa um exemplo significativo de implementação de esquemas de compensação para a geração de serviços ambientais. Adicionalmente, o programa foi estendido a outras cidades e províncias do país (Figura 2) com o nome de "Fundos de Água".



Cor verde, províncias onde se está desenvolvendo os programas do fundo da água

**Figura 2**-Localização geográfica dos fundos de água no Equador

## 6.2 Clima

O páramo tem o típico clima tropical de alta montanha (Hofstede et al., 2014). Devido à sua localização próxima à linha equinocial, a radiação solar diária é quase constante ao longo do ano. Essa constância resulta em uma baixa variabilidade sazonal da temperatura média do ar,

em contraste com o ciclo diário, que é totalmente acentuado. A temperatura média anual é de 10-12 °C, com variações mensais de 1 °C e flutuações diárias entre 6 e 18 °C (FRANCO et al., 2016). O gradiente térmico está na razão de 0,5°C e 0,7°C para cada 100 metros (PODWOJEWSKI, 2000). E os níveis de umidade relativa variam entre 65% e 85%, essas diferenças são baseadas na topografia local: exposição e altura. As precipitações são moderadas, variando de 700 mm a 3.000 mm. No entanto, a precipitação é extremamente variável no espaço e no tempo. Geralmente, as intensidades de chuva são baixas. O vento pode ser muito forte e altamente variável em direção, devido a encostas íngremes e topografia acidentada. Abaixo de 4.000 m de altitude, as geadas são raras e, quando ocorrem, ficam restritas a algumas horas antes do nascer do sol, (BUYTAERT et al., 2006).

### **6.3 Solos**

Apesar da complexa geologia e topografia, os solos do páramo são bastante homogêneos. (BUYTAERT et al., 2006). O tipo e as propriedades do solo são determinados principalmente por dois fatores: clima, e a existência de uma camada homogênea de cinzas de erupções vulcânicas quaternárias. O clima frio e úmido e a baixa pressão atmosférica favorecem o acúmulo de matéria orgânica no solo (GARCÍA et al., 2012).

Segundo o Mapa de Ordens do Solos do Equador desenvolvido pelo Ministério de Agricultura y Ganadería (MAG, 2014). Os solos do páramo são escuros e húmicos e têm uma estrutura porosa e aberta. Os solos são geralmente classificados como Andosols. Em áreas mais saturadas por água ou em áreas com menor influência vulcânica, desenvolvem-se Histossolos. Em áreas mais íngremes ou onde há afloramentos rochosos, há mais Entisols, (LLAMBÍ, 2012).

### **6.4 Água**

Como resultado da baixa densidade aparente e da estrutura aberta e porosa, os solos do páramo apresentam uma alta condutividade hidráulica e uma capacidade de retenção de água muito alta. De fato, muitos rios de páramos fornecem um fluxo de base sustentado ao longo do ano (BUYTAERT et al., 2004). O páramo é o maior fornecedor de água na região andina da Colômbia e do Equador e, em menor grau, na Venezuela e no Peru. Como a extração de água subterrânea é escassa e difícil, a água de superfície do páramo é o fornecedor mais importante para as grandes cidades, bem como para a maior parte da área agrícola (Figura 3). A água é destinada ao uso urbano, industrial e agrícola, no vale interandino conhecido como Serra e



Planícies Costeiras. Em muitos lugares, a extração de água é combinada com pequenas centrais hidrelétricas (BUYTAERT et al., 2006).

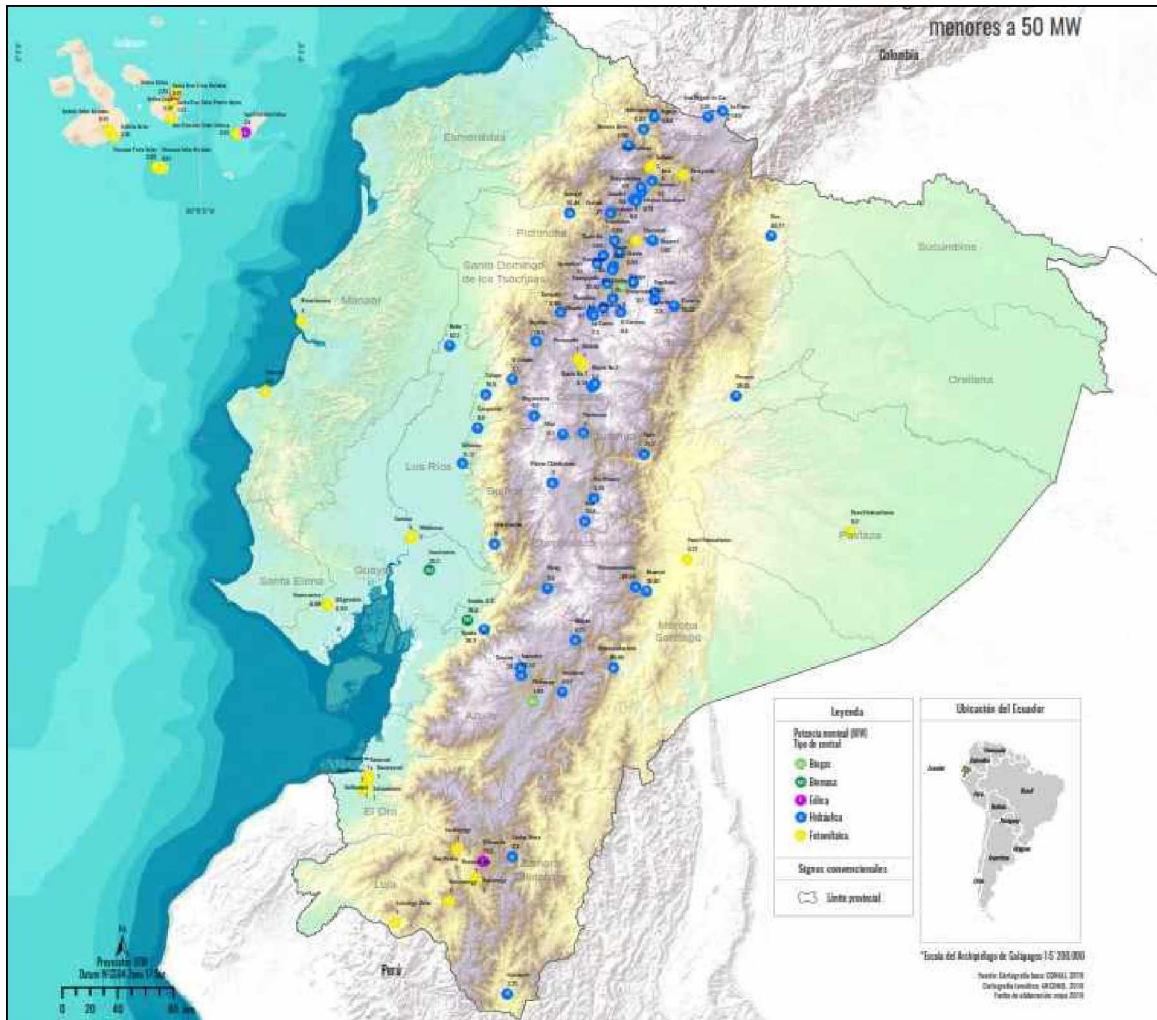


Lagoa de Mojanda, província de Imbabura, centro-norte da região interandina

**Figura 3**-Corpos de água no páramo

Fonte: Romero, 2020

Grande parte da geração hidrelétrica no Equador ocorre em usinas em altitudes médias (aprox. 2.000 msnm) em rios que nascem no páramo (HOFSTEDE et., al 2017). A construção de usinas hidrelétricas tornou-se um dos principais mecanismos de produção de energia, representando cerca de 74% da geração total do país, (Agencia de regulación y control de electricidad, (2018)). O potencial foi aproveitado nos últimos anos, tornando-se capacidade hidrelétrica instalada: 5.071 MW (5.041 MW de potência efetiva) em 71 usinas hidrelétricas, a maior parte das construções foram feitas na região interandina, como se observa no Mapa 2, (Agencia de regulación y control de electricidad, 2018).



Os círculos celestes do mapa, representam as usinas hidrelétricas existentes no Equador. Note-se que a maior presença está no centro norte da região interandina

**Mapa 2-** Usinas hidroelétricas no Equador.

Fuente: CONELEC, 2013

## 6.5 População

A colonização Inca iniciou a ascensão da fronteira agrícola, deslocando algumas comunidades especializadas no uso do páramo com a introdução de lhamas e alpacas, a modernização da agricultura (terraços, irrigação, novos cultivos), o que permitiu a ocupação de novos espaços mais altos (HOFSTEDÉ et al., 2002). Mais tarde, com a conquista espanhola, manteve-se um impacto semelhante no ecossistema do páramo. Os espanhóis introduziram ovinos, bovinos, equinos e muito intensamente, o cultivo de cereais. Os vales destinados aos nativos para cultivo foram desapropriados pelos novos conquistadores. Os indígenas foram obrigados a se estabelecer em áreas mais altas, expandindo a fronteira agrícola em direção às encostas das montanhas.

Os diferentes usos que as comunidades locais dão ao páramo são: agricultura, pecuária e queimadas associadas. Por sua vez, esses usos são os maiores impactos locais que afetam o ecossistema do páramo. Estudos estimam que 60% do páramo está em uso contínuo (SALTOS CÉLLERI, 2012 p 27).

### 6.6 Importância social e cultural

A importância social do páramo é marcada pelo fato de que é o lar de muitas comunidades indígenas, que trabalham principalmente nas atividades agropecuárias e fornecem de alguns alimentos à maior parte da população equatoriana. Além da produção de alimentos, o páramo proporciona importantes benefícios econômicos, a nível local e regional, com outras atividades como turismo e recreação, devido às áreas com paisagem, elementos naturais atrativos e sua representatividade dos Andes equatorianos (MENA et al., 2011).

A importância cultural do páramo não é amplamente reconhecida. Porém este ecossistema foi o lugar onde se formaram as vias de comunicação da cultura Inca. A famosa Trilha Incañan, ou Trilha Inca, entre Quito e La Paz, passou a maior parte de sua extensão sobre o páramo. Por esta razão, hoje algumas partes do páramo são importantes sítios arqueológicos (MOROCHO et al., 2019). O mais conhecido em Equador é Ingapirca, (Figura 4) localizada na província de Cañar no centro-sul da região interandina.



Ruínas de Ingapirca, província de Cañar, centro-sul da região interandina

**Figura 4-** Sítios arqueológicos  
Fonte: Romero, 2020

## 7. METODOLOGIA

### 7.1 Recursos Materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado os seguintes materiais:

- Imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 referentes a dois anos, 1998 e 2015, respectivamente, com uma porcentagem de nuvens < 20%.
- Software livre de processamento de dados QGIS for Desktop, versão 3.10.
- Software de Geoprocessamento ArcGis 10.8, Envi 5.3 e TerrSet
- Cartas topográficas, no formato vetorial shape desenvolvidos pelo Instituto Geográfico Militar (IGM), na escala regional de 1:50.000, Fundo de Proteção da Água (FONAG) e pela Secretaria de Água (SENAGUA).
- Série de dados diários de 1998 a 2015 de precipitação e temperatura do Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI)
- Software livre R Studio com o pacote RClimdex e Climatol para o processamento de índices climáticos extremos.

## 7.2 Delimitação da área de estudo

A pesquisa começou como a delimitação da área do estudo baseada no projeto “*Spatiotemporal patterns of burned areas, fire drivers, and fire probability across the equatorial Andes*” que foi obtido do modelo digital de elevação (DEM) e disponibilizado em formato shape (ZAPATA et al., 2021). Além disso, usou-se as curvas de nível na escala 1:50.000, apresentadas pelo Instituto Geográfico Militar do Equador, para fazer a delimitação com o critério da altura acima do nível do mar, proposto por Mena et al, (2001).

## 7.3 Definição de Classes de uso e cobertura vegetal natural da terra

O páramo é formado por várias classes de vegetação nativa como se registra no Projeto Páramo Andino y Herbario QCA. *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador* (BELTRÁN, et al 2009). As espécies que predominam são: Florestas Altimontanos Siempreverdes, Florestas Altimontanos de Polylepis, Florestas Montanos Pluviales, Pajonales Altimontanos, Pajonales Arbustivos, Pajonal Edafoxerófilo, Arbustal bajos e Matorrales, Arbustales e Frailejones, Matorrales Edafoxerófilos, Bofedales Altimontanos, Bofedales Altoandinos e vegetação geliturbada. Para efeitos do presente trabalho toda a classificação mencionada acima, permanecerá como vegetação natural, acompanhada de terra de cultivo (agricultura), pastagem (pecuária), áreas povoadas, água, geleiras e afloramento de rocha/Eriales (Zona sem flora e fauna originais, solo geralmente infértil e sem capacidade de regulação hídrica) (HOFSTEDE et al, 2002b).

**Tabela 4.** Definição das classes

<b>Classes</b>	<b>Características</b>
<b>Vegetação natural</b>	Constituída por vegetação herbácea natural de caráter permanente, composta principalmente por gramíneas como palha ( <i>Stipa ichu</i> ), festuca, calamagrostis; “arosetada”, “almohadilla” e musgo do gênero <i>Sphagnum</i> são típicos e aparecem como adaptações à altura. Além disso, são frequentes as espécies arbustivas e lenhosas, com relíquias de matas nativas, (CAMACHO, 2014. p. 80).
<b>Terra de cultivo</b>	O solo do páramo, devido ao seu alto teor de matéria orgânica, é solto e macio, tornando-o apto para a agricultura, que é uma das ameaças mais importantes, as áreas mais afetadas estão em altitudes mais baixas, (MORALES-BETANCOURT, 2006. P41).
<b>Pastagem</b>	O sistema de pastoreio de alta altitude foi realizado em algumas áreas do páramo, entre elevações de 3.700 na Cordilheira Ocidental e 3.500 de altitude na Oriental, até 4.300 de altitude. Caracteriza-se pelo uso permanente, baseado em pastagens naturais ou artificiais. É de grande importância, pois é a fonte de energia que alimenta os mamíferos, (CAMACHO, 2014. p. 83).
<b>Áreas povoadas</b>	Nas décadas de 1960 e 1970, com a implementação do processo de Reforma Agrária, formaram-se amplas bases coletivas e sociais das terras adjudicadas em poder dos indígenas, que se tornaram seu lar (RHON 2016).
<b>Geleiras</b>	A parte inferior do piso glacial ou gelado é o limite superior do ecossistema páramo, (CAMACHO, 2014. p. 79).
<b>Afloramento de rocha / Eriales</b>	São áreas secas sujeitas à erosão eólica com vegetação incipiente de baixo desenvolvimento, sem uso. Encontrados em encostas íngremes que aceleram processos erosivos. Em geral estão abaixo das montanhas nevadas numa faixa periglacial, quase deserta, onde sobem lentamente as espécies mais resistentes do páramo (DE LA TORRE et al, 2001.p 229).
<b>Água</b>	No páramo, a água pode ser armazenada em diferentes compartimentos, dependendo das escalas espaciais e temporais, em ecossistemas próprios, como lagoas de origem glacial e fluvioglacial, turfeiras que constituem áreas úmidas de grande interesse, aquíferos e no próprio solo, (TOTATIVE, 2011).

Um esboço da metodologia utilizada na análise de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal é apresentado no diagrama a seguir na Figura 5. A ilustração mostra os passos desde a seleção das imagens de satélite até a elaboração da cartografia dos mapas temáticos resultantes.

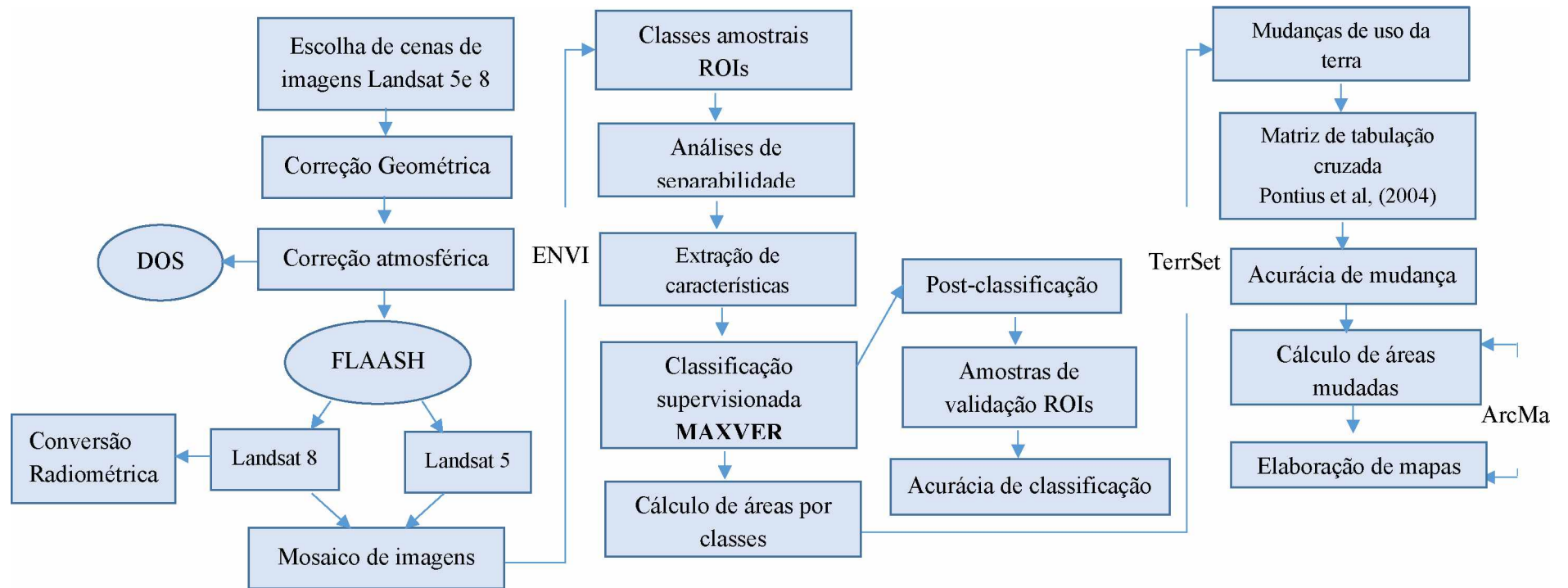
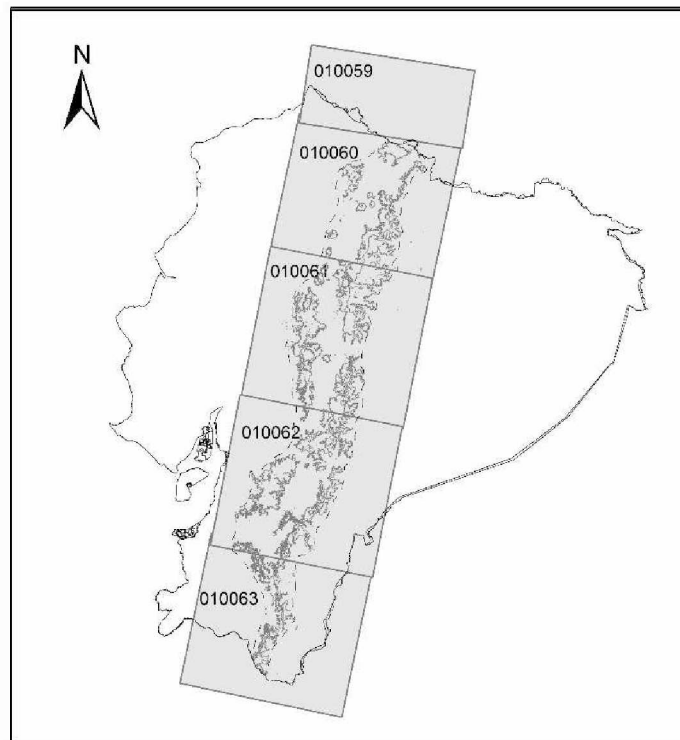


Figura 5-Esquema metodológico das análises de uso do solo e cobertura vegetal

#### 7.4 Critérios de seleção de imagens de satélite

Para o mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal, são empregadas seis imagens do satélite Landsat 5 e seis de Landsat 8 nos anos de 1998 e 2015, respectivamente, com projeção/Datum WGS 1984 UTM Zone 17N, (Figura 6). As cenas foram adquiridas do site <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Escolheu-se estes anos porque são os que têm a menor quantidade de nuvens entre 6 e 15%, além de ser um intervalo suficiente para a análise em questão. É importante mencionar que esta região se apresenta coberta por nuvens o ano todo, o que impossibilita escolher cenas com 0% de cobertura de nuvens. As cenas escolhidas são do mês de julho, agosto e setembro, o que corresponde à época seca na região interandina (VUILLE, 2000), além disso estes meses são de preparação de solo para os cultivos de: *Solanum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum tuberosum*, *Chenopodium quinoa*, e *Lupinus mutabilis* (batata, oca, olluco, mashwa, quinoa e tremoço por seu nome comum respectivamente), então tem solo exposto (terra de cultivo), (SUQUILANDA, 2011) para fazer uma identificação acertada do uso da terra. Na Figura 6 apresenta-se as cenas dos satélites Landsat 5 a saber: 010059, 010060, 010061, 010062, 010063.



As figuras cinzas são as 5 cenas de imagens de satélite Landsat 5 e 8, usadas na pesquisa

**Figura 6.** Cobertura de imagens Landsat 5 para o Páramo

## 7.5 Pré-processamento de imagens

### 7.5.1 Correção atmosférica para dados de Landsat 5 e 8

A correção atmosférica foi baseada na metodologia proposta por Arias et al., (2014). O processo foi desenvolvido no software ENVI, porque tem a funcionalidade adequada para processar corretamente os dados. A imagem foi aberta, inserindo os metadados (extensão *\_MTL.txt*), disponível para o LANDSAT 5 e LANDSAT 8, com a opção “*GeoTIFF com Metadados*”. O primeiro passo para a correção é a conversão para radiância. Para isso, foi utilizada a função “Calibração Radiométrica” disponível em *Caixa de Ferramentas / Correção Radiométrica / Calibração Radiométrica*; na sequência, foi escolhida a opção de imagem MultiSpectral, inserindo os valores de calibração radiométrica de acordo com os parâmetros do FLAASH, que estão especificados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Parâmetros de calibração radiométrica

<b>Campo</b>	<b>Calibração</b>
Tipo de calibração	Radiância
Intervalo de saída	BIL
Tipo de dados de saída	Flutuante
Factor de escala	0,10

Caixa de diálogo da calibração radiométrica, com parâmetros do FLAASH

A imagem obtida tem mudança dos valores dos números digitais (ND) para valores de radiância. Esta imagem preserva as informações provenientes dos metadados no formato BIL.

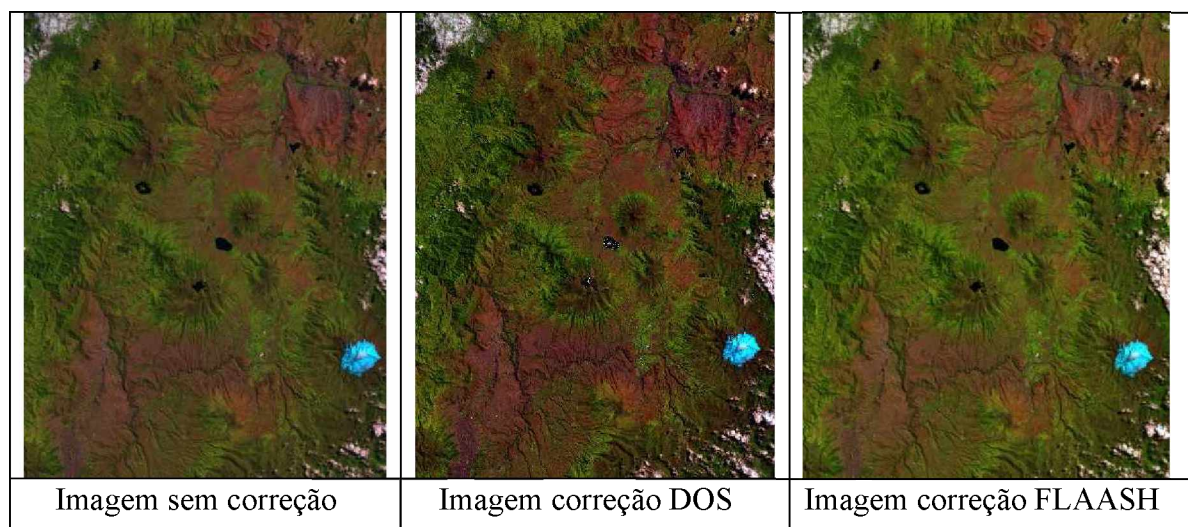
Com a imagem processada em radiância, foi feita a correção atmosférica com uso da ferramenta FLAASH, usando os seguintes parâmetros: fator de escala de calibração igual a 1, valores de latitude (lat) e longitude (long) e tamanho do pixel (30m) são coletados automaticamente pelo algoritmo; na opção (UNKNOWN-MSI) foram escolhidos os tipos de sensores neste caso TM5 e OLI; a altitude do solo (valor médio da elevação da área de estudo) foi configurada para 3 km. Além disso, a data e a hora do voo foram extraídas dos metadados para cada imagem a ser calibrada. O modelo atmosférico escolhido foi o “*tipo tropical*”, com o modelo aerossol do “*tipo rural*” para todas as imagens.

Para a extração de aerossol por meio do método Kaufman-Tanre, foram usadas as bandas 7 (2,223  $\mu\text{m}$ ) e 3 (0,660  $\mu\text{m}$ ) nas imagens Landsat\TM5 e as bandas 7 (2,201  $\mu\text{m}$ ) e 2 (0,482  $\mu\text{m}$ ) nas imagens Landsat\OLI 8. Para fazer isso, foi selecionada a configuração multispectral



e depois o método de extração de aerossol de duas bandas (KT), finalmente, se executou a correção atmosférica, a imagem resultante contém os dados em reflectância espectral.

Para efeitos de comparação, também foi feita a correção DOS (Dark Subtract) proposto por Chavez (1988), com o objetivo de conhecer qual tem melhor resultado, para obter um efeito satisfatório na classificação do uso do solo e cobertura vegetal. Para fazer a correção DOS foi utilizada a ferramenta *Dark Subtract* no software ENVI. Os resultados são expostos na Figura 7. Depois de fazer a comparação, entre as curvas espectrais corrigidas, e as mesmas com radiância não corrigida, para os mesmos alvos, além da inspeção visual. Concluiu-se que os melhores resultados foram obtidos com a correção FLAASH.



**Figura 7-** Comparação de imagens corrigidas e não corrigidas

Comparação entre as imagens não corrigidas (Esquerda), a corrigida com DOS (Médio) e a corrigida com FLAASH (Direita) para a composição das bandas 6,4,3 (RGB, respectivamente), com contraste linear 2% aplicado para a mesma região das imagens.

### 7.5.2 Conversão Radiométrica

Para obter uma classificação assertiva foi preciso fazer uma conversão radiométrica, pois o trabalho foi feito com imagens que têm a resoluções radiométricas diferentes (8 e 16 bits), como se mostra na Tabela 6. Para que ambas ficassem com a mesma resolução radiométrica, a imagem de 16 bits (Landsat 8/OLI) foi transformada para 8 bits. Para este processo, foi usada a metodologia descrita no trabalho de Da Silva, (2015), fazendo uso do software ENVI, com auxílio da ferramenta *Data Stretching* na qual se considerou o Min Out = 0, Max Out = 255. Esta operação em cada banda torna as tonalidades da imagem mais uniformes entre as zonas claras e escuras.

**Tabela 6.** Resolução Radiométrica, níveis de cinza e tamanhos

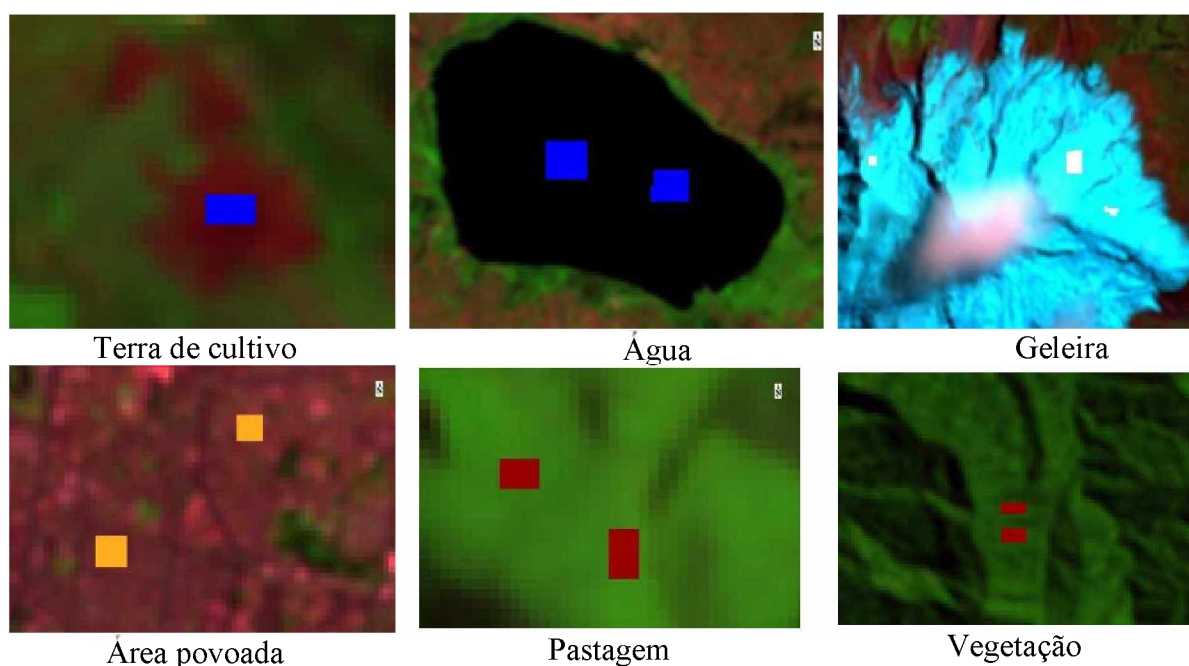
Tipo de dado	Escala	Total cores	Sensor
8 Bit	0-255	256 cores	TM
16 Bit	0-65535	65536	OLI

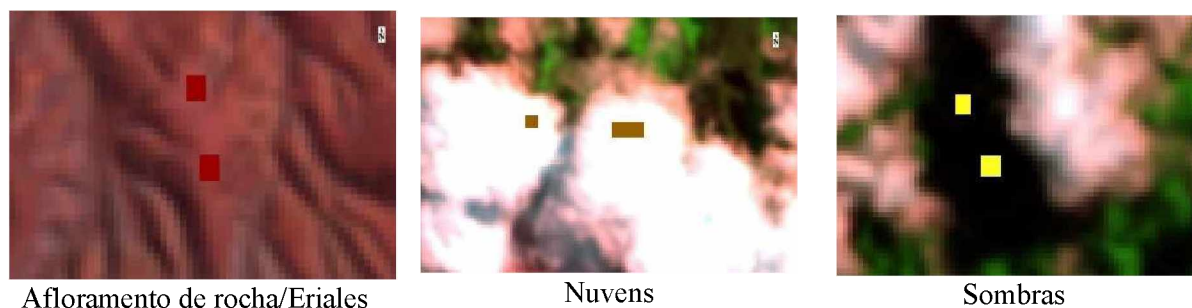
Fonte: Da Silva, (2015)

### 7.5.3 ROIs (Regiões de interesse)

Na captura dos ROIs, foi utilizado a ferramenta *ROI Tools* no software ENVI. Esta ferramenta permite coletar Regiões de Interesse para o treinamento e validação da classificação, permitindo uma avaliação final da acurácia do resultado. A ferramenta também controla a qualidade das zonas de ROIs através da separabilidade espectral. Para determinar os ROIs nas imagens de Landsat 5 foi usado a combinação de bandas 5(R),4(G),3(B) e 6(R),4(G),3(B), enquanto que, para as imagens de Landsat 8, a combinação 7(R),5(G),4(B). Isso foi feito com o objetivo de identificar visualmente, o uso da terra nas cenas.

Foram coletados 45 ROIs de amostra no caso de vegetação. Para as classes de pastagem e terra de cultivo foram coletadas 35 amostras. Para afloramento de rocha/eriales, áreas povoadas e água foram tomadas 25 amostras. E, por último, no caso de geleiras, nuvens e sombras, foram tomadas 10 amostras. Um exemplo da coleta de regiões de interesse é apresentado na Figura 8. Todos os ROIs estão bem distribuídos em toda a área de estudo. A maior parte da área de estudo tem vegetação, o que justifica maior quantidade de amostras.





**Figura 8-** Exemplo de ROIs para cada classe

#### 7.5.4 Análise de separabilidade

Para a geração de ROIs foi fundamental realizar a avaliação estatística por meio de uma análise de separabilidade, isso permite avaliar a separabilidade espectral entre as diferentes regiões de interesse (ROI), com o método de divergência transformada. Além disso, foi preciso verificar os valores de desvio padrão, alcance mínimo e máximo para cada classe.

O processo de análise de separabilidade foi feito no software ENVI com a ferramenta *ROI Tools*. Nessa análise foi possível verificar estatisticamente quais classes apresentaram separabilidade espectral entre si, ou seja, quão diferente são as amostras das diferentes classes. A separabilidade foi realizada mediante a divergência transformada que é um cálculo empírico variando entre 0 e 2. Quando existem valores maiores a 1,9 os resultados são ótimos, se o relatório mostra valores menores de 1, a separabilidade espectral é ruim, e precisa de ajuste para melhorar os resultados. Neste caso, a maior parte das classes apresentaram boa separabilidade, só no caso da terra de cultivo e afloramento de rocha/eriales, a separabilidade espectral é mais baixa, de 1,6, também no caso da terra de cultivo e vegetação, um exemplo da separabilidade espectral dos ROIS coletados da imagem Landsat 5 se vê na Tabela 7.

**Tabela 7.** Análise de separabilidade espectral no plano dimensional na imagem Landsat 5

Terra de cultivo T	<b>Pastagem T</b>	<b>1.88</b>
Vegetação T	Pastagem T	1.89
Terra de cultivo T	Vegetação T	1.94
Áreas Povoadas T	Terra de cultivo T	1.99
Água T	Pastagem T	1.99
Água T	Terra de cultivo T	1.99
Água T	vegetação T	1.99
Áreas Povoadas T	Pastagem T	2.00
Áreas Povoadas T	Vegetação T	2.00
Água T	Áreas Povoadas T	2.00

Fonte: Dados processado no ENVI

A informação foi gerada por interpretação visual e auxílio do shape de vegetação natural do ano 1990, desenvolvido pelo Ministério do Ambiente (MAE), shape de uso da terra na escala 1:25.000, disponível no portal de Infraestrutura equatoriana de dado geoespacial < <https://bit.ly/3Irhbz> >. Também foi usado como auxílio, o mapa de uso do solo no ano 2013-2014 na escala 1:100.000, (MAE, 2015).

### 7.5.5 Classificação supervisionada

A classificação temática foi feita usando o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER), que é um método de classificação supervisionada mais usado no estudo da cobertura vegetal segundo Marinho et al., (2017). O algoritmo faz a classificação baseado na probabilidade de um pixel pertencer a uma classe determinada (AHMAD et al., 2012). O método supõe que as classes têm a mesma probabilidade e as bandas têm distribuição normal. Então, foi preciso ter um conjunto de ROIs com dados bem escolhidos para obter ótimos resultados.

O processo foi feito no software ENVI, que tem a ferramenta automatizada para a classificação de imagens. A ferramenta permite inserir as imagens pré-processadas e os ROIs antes definidos para fazer a classificação.

### 7.5.6 Pós Classificação

A análise de exatidão do mapa do uso solo e vegetação gerados na classificação foi verificada com a matriz de confusão (Tabela 8). Para a fase de análise da estimativa de precisão, foi utilizada uma matriz de confusão, que consiste no cruzamento das classes dos dados do mapa de cobertura (localizados nas linhas) com as classes dos dados de referência (localizados na coluna). A Tabela 8 mostra como são organizados os dados da matriz de confusão. A partir da matriz pôde-se obter três estatísticas de avaliação da exatidão do mapeamento: Exatidão Global (Equação 1), Índice Kappa, (Equação 2), e Coeficiente Tau que foi proposto por Ma e Redmond (1995), para avaliar a exatidão do mapeamento (Equação 3).

**Tabela 8.** Representação matemática da matriz de confusão

Classificação	Dados de referência				Total nas linhas $n_{i+}$
	1	2	...	c	
1	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1c}$	$X_{1+}$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2c}$	$X_{2+}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
c	$X_{c1}$	$X_{c2}$	...	$X_{cc}$	$X_{c+}$
<b>Total nas colunas <math>n_{+i}</math></b>	$X_{+1}$	$X_{+2}$	...	$X_{+c}$	<b>n</b>

$$Po = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{N} \text{ (Equação 1)}$$

Onde

- $N$  = número total de unidades
- $x_{ii}$  = elemento da diagonal principal
- $c$  = número de classes presentes na matriz
- $i$  = número de colunas e de linhas.

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \text{ (Equação 2)}$$

$$Pc = \frac{\sum_{i=1}^c X_{i+} * X_{+i}}{N^2}$$

Onde

- $Po$  = exatidão global
- $Pc$  = proporção de unidades que concordam por casualidade
- $X_{i+}$  e  $X_{+i}$  = os totais marginais da linha  $i$  e da coluna  $i$ , respectivamente
- $N$  = número total de unidades

$$T = \frac{Po - \frac{1}{m}}{1 - \frac{1}{m}} \text{ (Equação 3)}$$

Onde

- $Po$  = exatidão global
- $m$  = número de classes

O índice Kappa foi proposto por Landis e Koch (1977), e é utilizado para verificar a confiabilidade dos mapas temáticos. A interpretação do índice Kappa é feita utilizando a Tabela 9.

**Tabela 9.** Interpretação do Índice Kappa

Valor Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssimo
0,00-0,20	Ruim
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Moderada-Boa
0,61-0,80	Muito Boa
0,81-1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977),

A matriz de confusão utiliza de amostras com dados de referência (ROIs). Na Tabela 10 encontram-se os dados, com coordenadas UTM e a descrição das classes e o local, utilizados como verdade de campo para o ano de 2015, isto é dado de referência (ROIs) para a matriz de confusão. Enquanto, em 1998 foi usado o mapa de uso de solo gerado pelo Ministério de agricultura e ganadería (MAG) de 1999. Algumas imagens da área de estudo são apresentadas na Figura 9.

**Tabela 10.** Pontos coletados no campo

Pontos	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Descrição	Local
Ponto 1	756335,77	9831418,7	3528	Terra de cultivo	Chimborazo
	756494,60	9831423,7	3583	Terra de cultivo	Chimborazo
	756624,58	9831449,4	3541	Terra de cultivo	Chimborazo
	756175,00	9831616,0	3546	Terra de cultivo	Chimborazo
Ponto 2	755398,23	9834775,5	3600	Pastagem (pecuária)	Chimborazo
	756177,05	9836373,8	3575	Pastagem (pecuária)	Chimborazo
Ponto 3	768233,77	9878448,7	2585	Corpo de água (El Yambo)	Cotopaxi
Ponto 4	821769,41	44232,69	2231	Vegetação natural	Imbabura
Ponto 5	174930,71	56719,73	2575	Terra de cultivo	Carchi
	175939,74	56820,55	2603	Terra de cultivo	Carchi
Ponto 6	191248,56	67224,36	2763	Pastagem (pecuária)	Carchi
Ponto 7	821827,63	41804,37	2200	Corpo de água (Yahuarcocha)	Imbabura
	807634,97	22872,37	2667	Corpo de água (San Pablo)	Imbabura
Ponto 8	773656,00	9990181	3259	Áreas povoadas	Pichincha
	768136,00	9962278	3598	Terra de cultivo	Pichincha
	768414,00	9962098	3549	Terra de cultivo	Pichincha
Ponto 9	166367,25	82426,43	3878	Corpo de água	Carchi
Ponto 10	831656,88	81176,34	3842	Vegetação natural	Carchi



(a) Terra de cultivo



(b) Pastagem



(c) Vegetação natural



(d) Corpo de água



(e) Áreas povoadas



(f) Eriales e geleira

**Figura 9-** Imagens obtidas no campo de cada classe de área de estudo

Fonte: Andrango, 2021

### 7.5.7 Mudança de uso e cobertura vegetal natural da terra

Segundo o estudo realizado por Pontius et al, (2004) a maneira mais pragmática de analisar a mudança da terra é obter mapas do tempo 1 (ano 1998) e do tempo 2 (2015); e examinar as mudanças com uma matriz cruzada para identificar as transições mais importantes de cada classe. A matriz de tabulação cruzada tradicional ou matriz de transição segue o formato da Tabela 11.

A matriz foi elaborada com auxílio da ferramenta Terrset, com base nos dados correspondentes aos mapas de uso do solo e vegetação de data 1 (1998) e data 2 (2015). As colunas da matriz representam a proporção (área) das categorias na data 1 (Co1), enquanto as linhas contêm a proporção (área) das categorias na data 2 (f2). A diagonal principal representa a persistência (em negrito) de cada uma das categorias, ou a proporção (área) de cada categoria que foi conservada entre Co1 e f2.

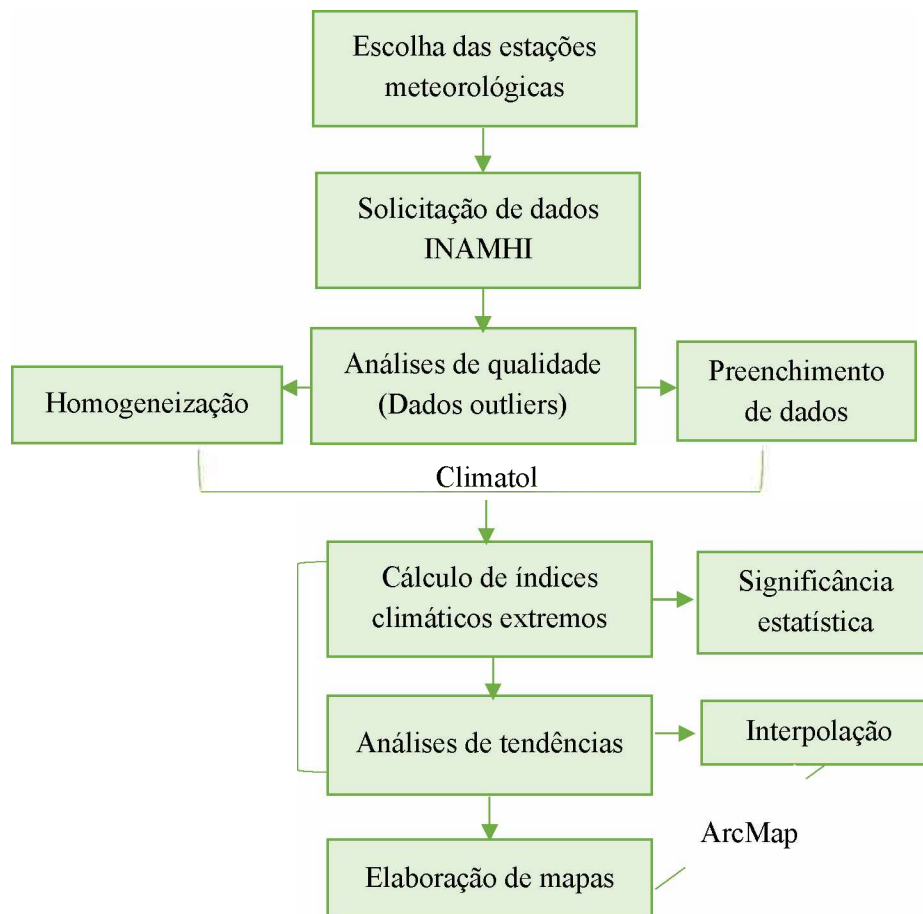
**Tabela 11.** Matriz de tabulação cruzada de dois mapas em diferentes pontos no tempo

	Data 2				Total data 1	Perdido
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4		
<b>Data 1</b>						
<b>Classe 1</b>	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$	$P_{1+}$	$P_{1+-} P_{11}$
<b>Classe 2</b>	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$	$P_{24}$	$P_{2+}$	$P_{2+-} P_{22}$
<b>Classe 3</b>	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$	$P_{34}$	$P_{3+}$	$P_{3+-} P_{33}$
<b>Classe 4</b>	$P_{41}$	$P_{42}$	$P_{43}$	$P_{44}$	$P_{4+}$	$P_{4+-} P_{44}$
<b>Total data 2</b>	$P_{+1}$	$P_{+2}$	$P_{+3}$	$P_{+4}$	1	
<b>Aumento</b>	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fonte: Pontius et al, (2004)

## 7.6 Análise de Índices Climáticos Extremos

A metodologia usada no cálculo de índices de extremos climáticos é baseada no diagrama mostrado na Figura 10.



**Figura 10-**Metodologia dos cálculos de índices de extremos climáticos e a interpolação

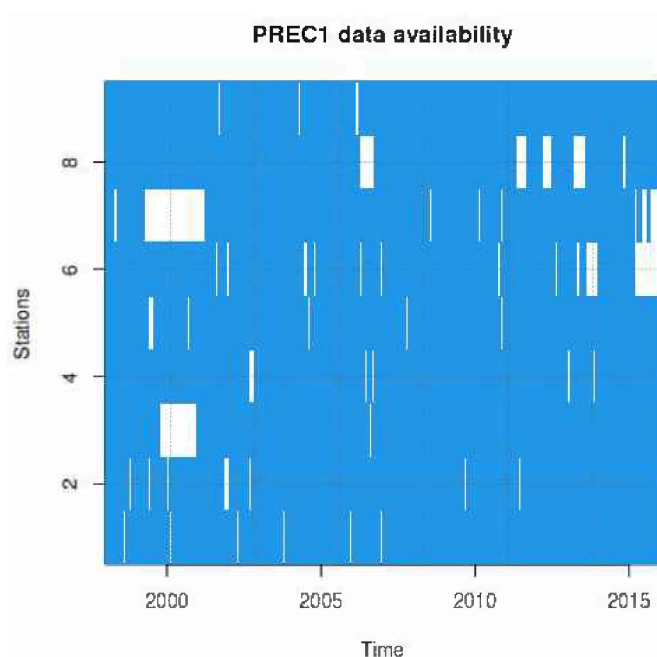


### 7.6.1 Estações meteorológicas

Para o cálculo dos índices climáticos, foram usados os dados de precipitação e temperatura com resolução diária, obtidos através da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), as estações meteorológicas escolhidas têm um período de dados entre os anos 1998 a 2015 e se encontram localizados acima de 2.900 metros de altitude. Para o primer análises se trabalhou com 35 estações meteorológicas que estavam de acordo com os parâmetros de tempo e altitude. Embora depois do controle de qualidade ficaram ótimas para o cálculo dos índices, 28 estações, as quais se ilustram no Mapa 3.

### 7.6.2 Seleção de dados completos e contínuos

A Figura 11, apresenta uma ilustração gráfica das séries de dados diários de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima de algumas estações meteorológicas. As séries aceitas foram aquelas mais completas e contínuas com um máximo de 20% de dados perdidos no tempo do estudo, conforme a recomendação da Organização Meteorológica Mundial.



**Figura 11-** Ilustração de dados disponíveis na série climatológica

A figura mostra na cor branca = dados ausentes, cor azul = presença de dados na série temporal de precipitação no período de 1998 a 2015.

### 7.6.3 Análise e controle de qualidade

O controle de qualidade foi feito como o software RClindex com o seguinte procedimento: primeiro, os dados ausentes são identificados e são inicialmente inseridos com -99,9, e os substitui em um formato interno que reconhece o R (ou seja, NA, não disponível) e, segundo,

substituí 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 região é definida como  $n$  vezes o desvio padrão do valor do dia, ou seja,  $[m\u00e9dia - n * padr\u00e3o, m\u00e9dia + n * padr\u00e3o]$  (ZHANG & YANG, 2004 p.6).

#### **7.6.4 Homogeneiza\u00e7\u00e3o de s\u00e9ries de dados**

Na homogeneiza\u00e7\u00e3o de dados climatol\u00f3gicos foi usado o pacote CLIMATOL, desenvolvido por Guijarro Pastor (2004). A biblioteca foi gerada no software livre R, com c\u00f3digo aberto, isso permite adaptar as condi\u00e7\u00f5es de cada estudo.

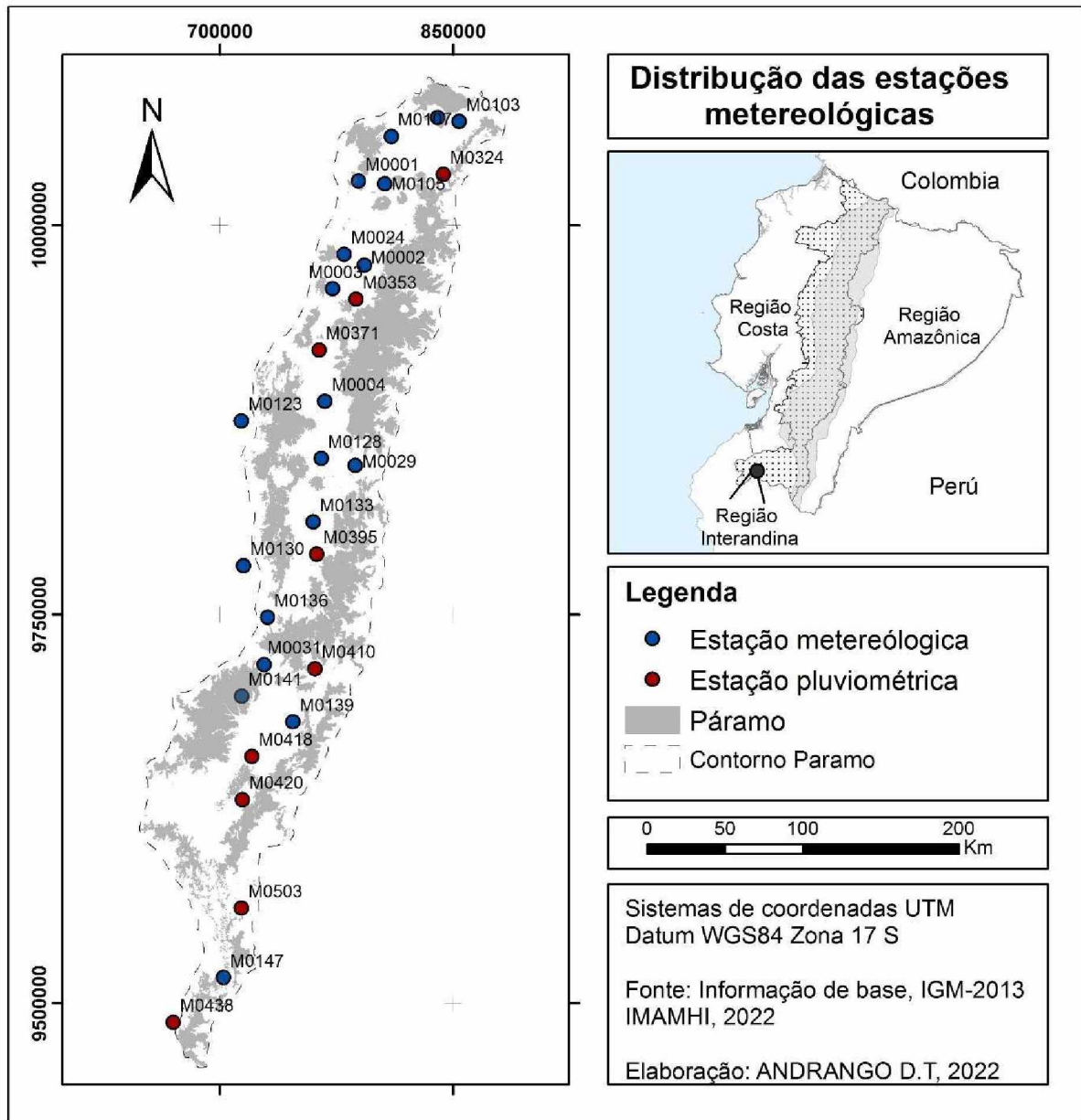
O m\u00e9todo de homogeneiza\u00e7\u00e3o \u00e9 baseado na compara\u00e7\u00e3o entre cada s\u00e9rie de dados com uma s\u00e9rie de refer\u00eancia constru\u00edda por meio de interpola\u00e7\u00e3o de rela\u00e7\u00f5es, diferen\u00e7as ou valores padronizados das esta\u00e7\u00f5es vizinhas (CARVALHO, 2016). A compara\u00e7\u00e3o da s\u00e9rie de dados com as suas s\u00e9ries de refer\u00eancias permite a detec\u00e7\u00e3o de erros pontuais, poss\u00edveis mudan\u00e7as e tend\u00eancias por meio de testes estat\u00edsticos gerados pela mesma biblioteca. Tamb\u00e9m os valores de refer\u00eancia gerados podem ser usados para preencher os dados faltantes da s\u00e9rie.

#### **7.6.5 C\u00e1lculo de \u00edndices de mudan\u00e7a clim\u00e1tica**

A metodologia apresentada \u00e9 baseada no guia para o c\u00e1lculo e uso dos \u00cdndices de Mudan\u00e7as Clim\u00e1ticas desenvolvida por Zhang et al. (2004). Os \u00edndices s\u00e3o calculados com aux\u00edlio do software RClindex. Quando as s\u00e9ries de dados est\u00e3o prontas \u00e9 preciso inserir no software, acompanhado do primeiro e \u00faltimo ano do per\u00edodo de estudo, a localiza\u00e7\u00e3o das esta\u00e7\u00f5es, limites m\u00e1ximos e m\u00ednimos de temperatura di\u00e1ria, assim como o limite para a precipita\u00e7\u00e3o di\u00e1ria.

Para a an\u00e1lise de tend\u00eancias estat\u00edsticas, o RClindex realiza a abordagem tradicional de “regress\u00e3o linear pelo m\u00e9todo dos m\u00ednimos quadrados”. A partir desta an\u00e1lise, observa-se se existe uma altera\u00e7\u00e3o nos padr\u00f5es normais dos par\u00e2metros meteorol\u00f3gicos ao longo do tempo (JARR\u00cdN, 2016 p.15; ZHANG & YANG, 2004 p.11). Para a interpreta\u00e7\u00e3o de signific\u00e2ncia estat\u00edstica \u00e9 usado o valor  $P$ ; se o valor  $P$  for menor que o n\u00edvel de signific\u00e2ncia, a hip\u00f3tese nula \u00e9 rejeitada. O valor considerado no presente estudo \u00e9 de 0,05 e 0,01, o que indica que os resultados possuem um n\u00edvel de confian\u00e7a de 95% e 99% respectivamente (FERREIRA et al., 2015).

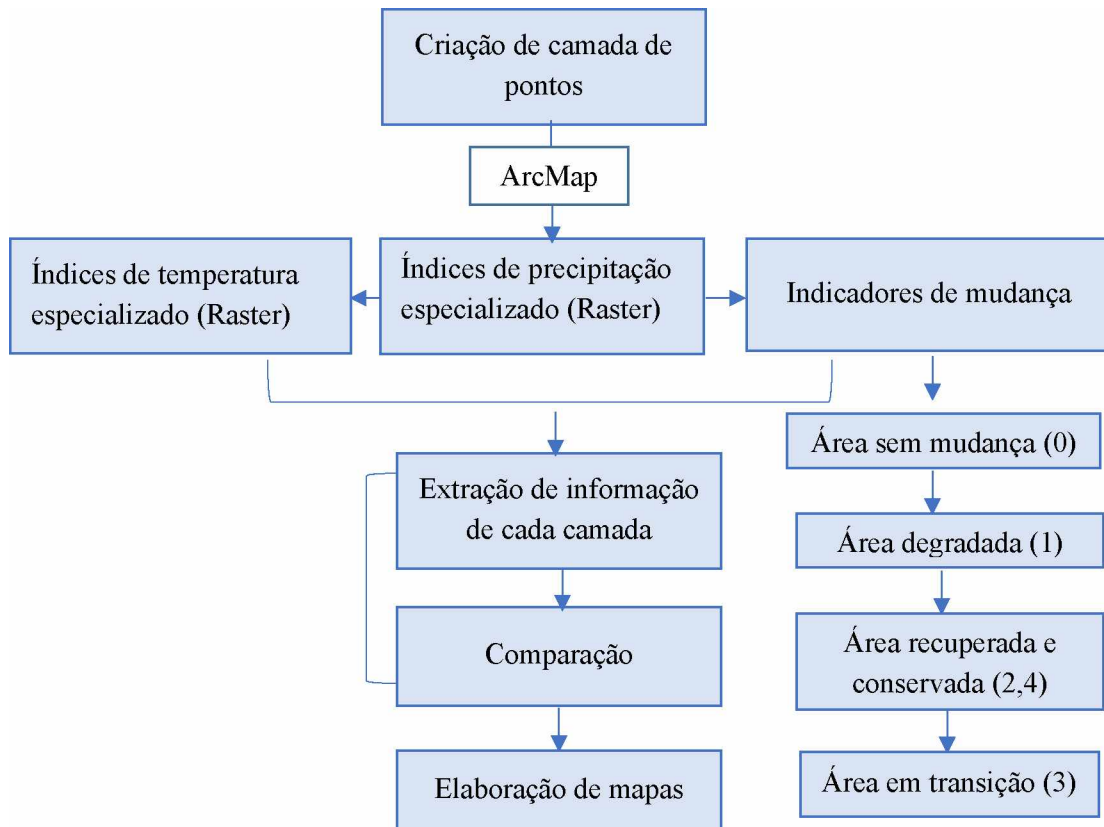
Depois de obter as tendências nos índices de mudança climática, é preciso fazer uma interpolação, para gerar superfícies contínuas (rasters) através de unidades amostrais pontuais (SOARES et al., 2008). O método escolhido é a krigagem no software ArcMap que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressado no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (MELLO et al., 2003).



**Mapa 3-** Distribuição de estações meteorológicas

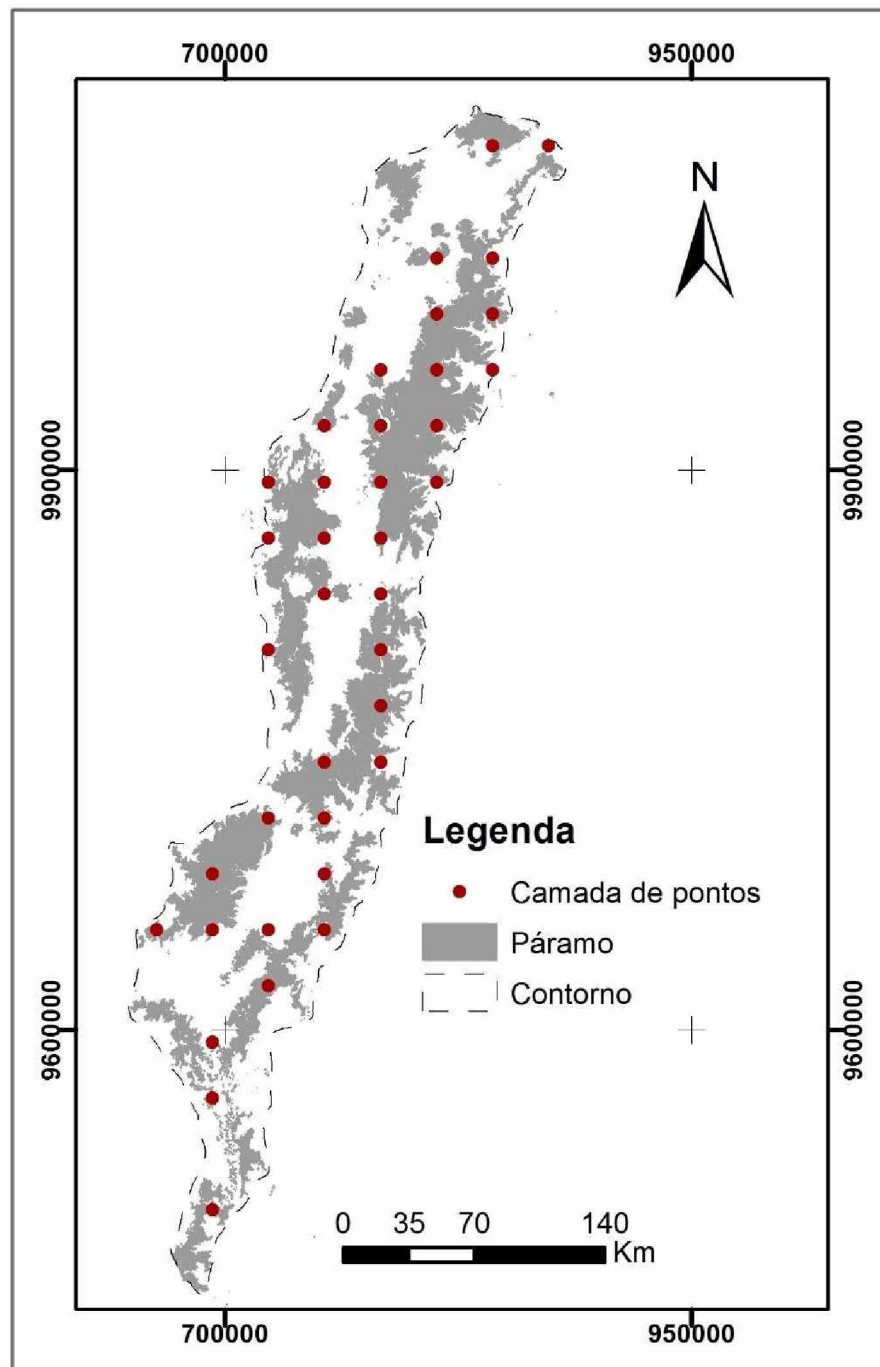
Os círculos representam as 28 estações meteorológicas que passaram o controle de qualidade e foram usadas no estudo. Círculo azul= dados de temperatura e precipitação, círculo vermelho= apenas dados de precipitação.

## 7.7 Análise conjunto de resultados



**Figura 12-**Metodologia da análise conjunta

Para obter os dados das variáveis dos produtos antes trabalhados usou-se o software ArcMap com a ferramenta *Data Management Tool/ Sampling/ Create Fishnet*, nessa ferramenta foi criada uma camada de pontos com uma distância de 20 km de separação entre cada ponto acima da área de estudo como se mostra no Mapa 4. Depois, com a ferramenta *Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract Multi Values to point*, foi extraído o valor do raster, ou seja, nível digital ou número digital de cada pixel, na posição pré-definida na camada de pontos. O mesmo processo é feito para os produtos obtidos (mudança de uso de solo e cobertura vegetal, e tendências de índices de eventos climáticos extremos). Em total, foi obtida a informação de 38 pontos distribuídos em toda a área de estudo. No caso de mudança de uso de solo foi classificado segundo a Tabela 12, para facilitar a comparação com as tendências encontradas na precipitação e temperatura.



**Mapa 4-** Camada de pontos para extração de valores

**Tabela 12.** Classificação das legendas para a mudança de uso de solo e vegetação

N	Indicador	Características
0	Sem mudança	Quando o mesmo tipo de vegetação e uso do solo é mantido ao longo do tempo. Neste caso, as áreas onde o uso da terra correspondia a culturas, pastagens e outros usos, e que atualmente permanecem com o mesmo uso.

1	Degradado	Quando as capacidades, funções, composição ou estrutura de um ecossistema são diminuídas. Mostra mudança no uso da terra, perda de cobertura vegetal nativa devido a pastagens, plantações e áreas povoadas.
2	Recuperado	Quando se passa de um uso da terra mais baixo para um mais alto; ou seja, quando se muda da agricultura, pastagens ou áreas sem vegetação para algum tipo de vegetação natural secundária.
3	Transição	Faz referência à superfície onde anteriormente se exercia alguma atividade agrícola, como as culturas, e atualmente é ocupada por pastagens e vice-versa, além da atividade agrícola por áreas povoadas.
4	Conservado	A cobertura vegetal primária ou secundária é mantida durante todo o período de estudo.
5	Outros	Sombras e nuvens identificadas na área de estudo.

Fonte: ROSETE-VERGÉS, (2007).

**Tabela 13.** Quadro comparativo dos índices climáticos e indicadores de mudanças

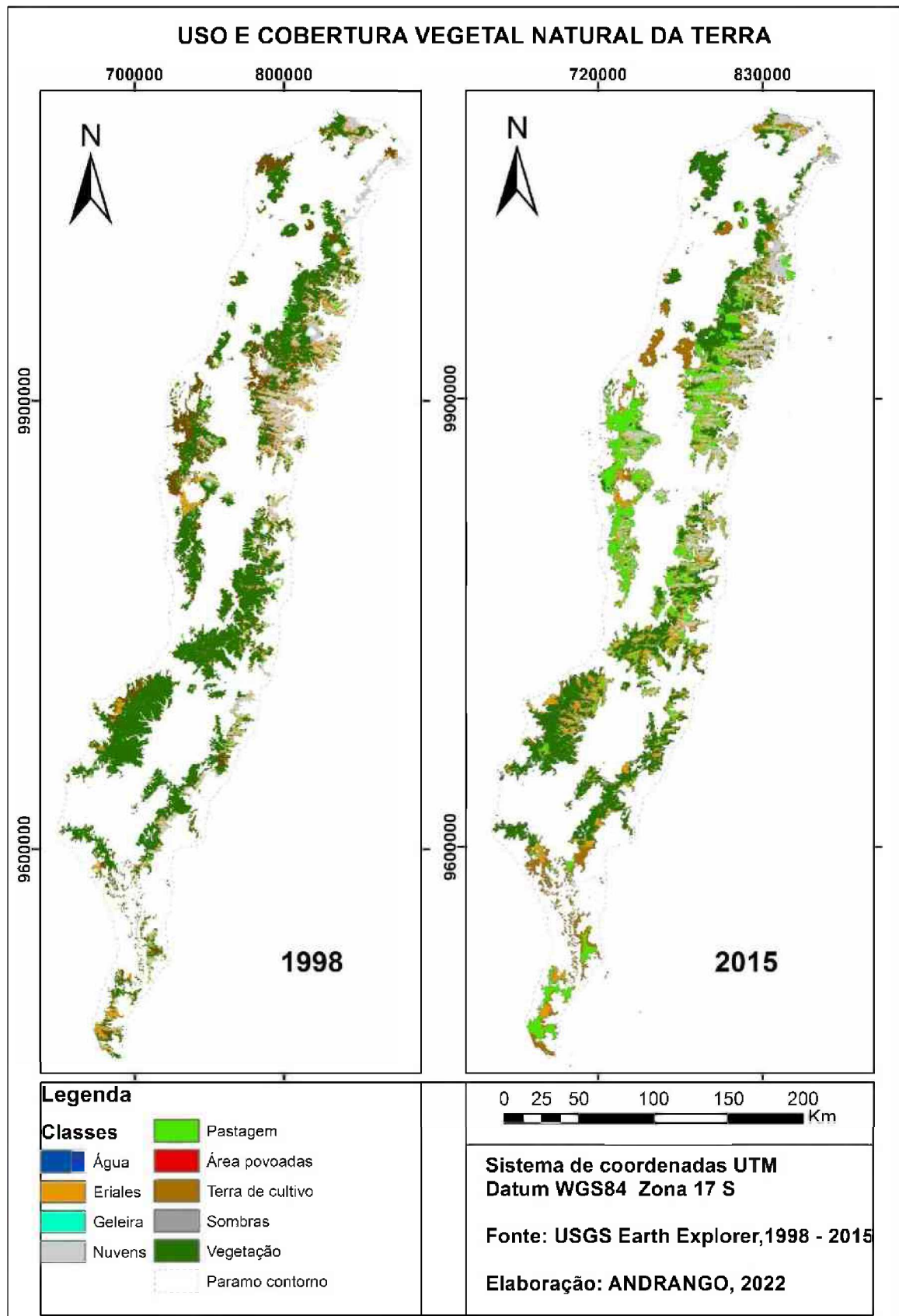
Índices climáticos	Indicador de mudança
Tendências de temperatura	Área sem mudança (0)
Tendências de precipitação	Área sem mudança (0)
Tendências de temperatura	Área degradada (1)
Tendências de precipitação	Área degradada (1)
Tendências de temperatura	Área recuperada e conservada (2,4)
Tendências de precipitação	Área recuperada e conservada (2,4)
Tendências de temperatura	Área em transição (3)
Tendências de precipitação	Área em transição (3)

Elaboração: O Autor

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Mudança de uso de solo e cobertura vegetal

A partir das amostras de treinamento identificados nas composições RGB de cada ano analisado (1998 e 2015) obteve-se as imagens de uso de solo e cobertura vegetal, utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER) para cada ano (Mapa 5).



Mapa 5- Mapa de uso de solo e cobertura vegetal do ano 1998 e 2015

A Tabela 14, descreve as áreas e porcentagem de cada classe de uso do solo classificadas no páramo para os anos de 1998 e 2015.

**Tabela 14.** Áreas classificadas utilizando a metodologia MAXVER

Classe	Área_ha (1998)		Área_ha (2015)	
Água	1379,4	0,09%	3276,0	0,21%
Eriales	148690,3	9,73%	207098,3	13,56%
Geleiras	4951,3	0,32%	50,2	0,00%
Pastagem	40661,0	2,66%	354665,6	23,22%
Áreas povoadas	77,5	0,01%	2237,9	0,15%
Terra de cultivo	197437,6	12,93%	177677,5	11,63%
Vegetação	879072,7	57,55%	531865,0	34,82%
Outros (sombras e nuvens)	255185,6	16,71%	250584,8	16,41%
Total	1527455,3	100%	1527455,3	100%

No ano de 1998 as classes que possuíam maiores áreas ocupadas no páramo eram vegetação com 879072,7ha (57,55%) e terra de cultivo com 197437,6 ha (12,93%). No ano de 2015 a vegetação continuou apresentando a maior área com 531865,0 ha (34,82%), mas mostrou perdas de - 22,7%. Outra classe que mostra importante mudança foi a pastagem com aumento de +20,5%.

A metodologia MAXVER identificou que o páramo teve aumentos importantes, nas áreas povoadas de 77,5 ha (0,01%) em 1998 a 2237,9 ha (0,15%) em 2015, incrementando +0.14%. De acordo com Vásconez et al., (2001) ante a necessidade que têm população rural de uma moradia e de entrar em uma economia de mercado fez que muitas pessoas construíram e aumentassem suas atividades agrícolas, como evidenciado na Tabela 14.

A confiabilidade do mapeamento, obtida pela matriz de confusão (Tabela 15 e Tabela 16), descreve que poucos erros foram encontrados no mapeamento feito pelo algoritmo MAXVER, nos anos analisados.

**Tabela 15.** Matriz de confusão utilizando o algoritmo MAXVER para o ano de 1998

Classes	Pastagem Validação	Vegetação Validação	Áreas povoadas Validação	Água Validação	Terra de cultivo Validação	Geleira Validação	Eriales Validação	Total
Pastagem T	180 2	261	0	4	73	0	13	2153
vegetação T	0	42388	1	18	60	0	0	42467
Áreas povoadas T	0	0	601	0	0	0	0	601
Água T	0	0	0	2006	0	0	0	2006
Terra de cultivo T	305	909	385	25	1129	3	363	3119



Geleira T	0	0	0	0	0	190	0	190
Eriales T	0	56	107	162	498	0	10432	11255
<b>Total</b>	<b>210</b> <b>7</b>	<b>43614</b>	<b>1094</b>	<b>2215</b>	<b>1760</b>	<b>193</b>	<b>10808</b>	<b>61791</b>

**Tabela 16.** Matriz de confusão utilizando o algoritmo MAXVER para o ano de 2015

Classes	Água Validação	Geleira Validação	Eriales Validação	Áreas povoadas Validação	Terra de cultivo Validação	Vegetação Validação	Pastagem Validação	Total
Água T	5002	0	0	0	0	30	0	5032
Geleira T	0	526	0	0	0	0	0	526
Eriales T	360	0	7471	0	0	0	0	7831
Áreas povoadas T	40	0	0	597	0	0	0	637
Terra de cultivo T	35	0	53	4	890	1939	27	2948
Vegetação T	6	0	0	0	0	15763	33	15802
Pastagem T	0	0	0	0	7	116	2828	2951
<b>Total</b>	<b>5443</b>	<b>526</b>	<b>7524</b>	<b>601</b>	<b>897</b>	<b>17848</b>	<b>2888</b>	<b>35727</b>

A matriz de confusão obtida para o mapeamento do uso do solo no ano de 1998 mostra que a classe que teve a maior confusão foi a vegetação. Mil duzentos e vinte e seis pixels pertencentes à classe vegetação foram classificados erroneamente na classe terra de cultivo, pastagem, e afloramento de rocha/Eriales obtendo assim erro de omissão de 2,08% para a classe terra de cultivo, erro de comissão de 0,6% para a classe de pastagem, e erro de omissão de 0,6% para afloramento de rocha/Eriales.

A matriz de confusão obtida para o mapeamento do uso do solo no ano de 2015 mostra que a classe que teve a maior confusão foi a vegetação, seguida por água. Dos mil cinquenta e cinco pixels pertencentes à classe vegetação foram classificados erroneamente na classe terra de cultivo, pastagem, e água, obtendo assim, erro de omissão de 10,8% para a classe terra de cultivo, erro de comissão de 0,65% para a classe de pastagem e erro de comissão de 0,17% para a água. Com o resultado da matriz de erro os coeficientes propostos foram calculados e os resultados interpretados (Tabela 17).

**Tabela 17.** Resultado dos coeficientes utilizados no mapeamento para o ano 1998 e 2015

Coefficiente	Resultado 1998	Resultado 2015	Interpretação
<b>Kappa</b>	0,89	0,89	Excelente
<b>Exatidão Global</b>	0,95	0,93	Excelente
<b>TAU</b>	0,94	0,91	Excelente

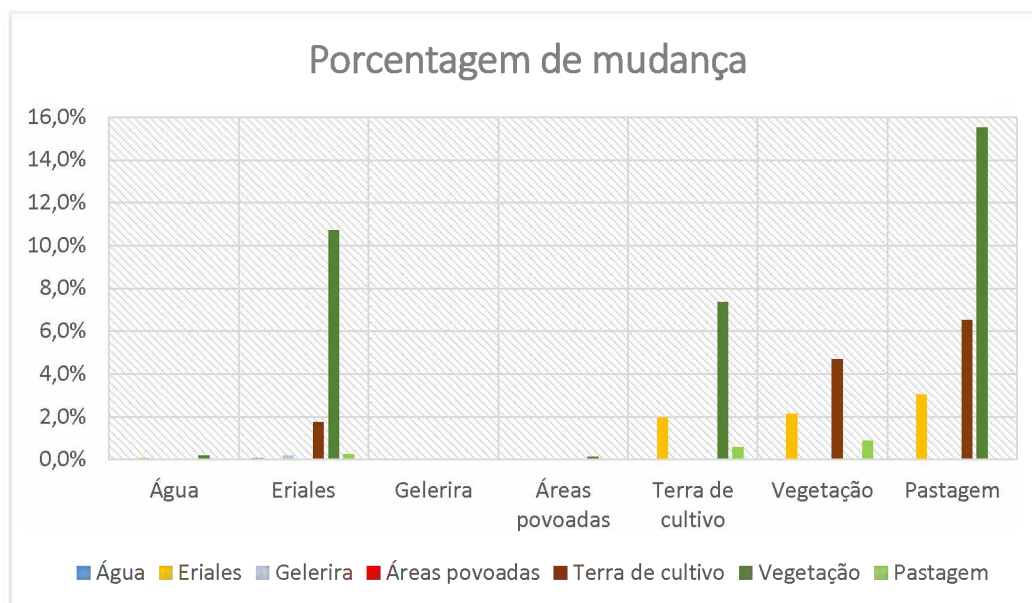
De acordo com o Índice Kappa, Exatidão Global e Coeficiente Tau a confiabilidade do mapeamento do uso do solo para o ano de 1998 foi determinada como excelente obtendo a confiabilidade superior a 94%. Resultado parecido com o mapeamento do ano de 2015 que obteve confiabilidade superior a 91%. Em geral, as análises feitas com as imagens de satélites Landsat tiveram resultados muito satisfatórios.

## 8.2 Detecção de mudança

A partir dos mapas obtidos para 1998 e 2015, foi obtida uma matriz de tabulação cruzada, (Tabela 18) que representa o procedimento mais utilizado em estudos de detecção de mudanças. A partir dessa matriz é possível observar a quantidade de superfície ocupada por cada uma das categorias nas duas datas mencionadas, além da persistência, das trocas entre as classes e dos ganhos e perdas totais de cada uma delas.

**Tabela 18.** Matriz de tabulação cruzada de dois mapas em diferentes pontos no tempo

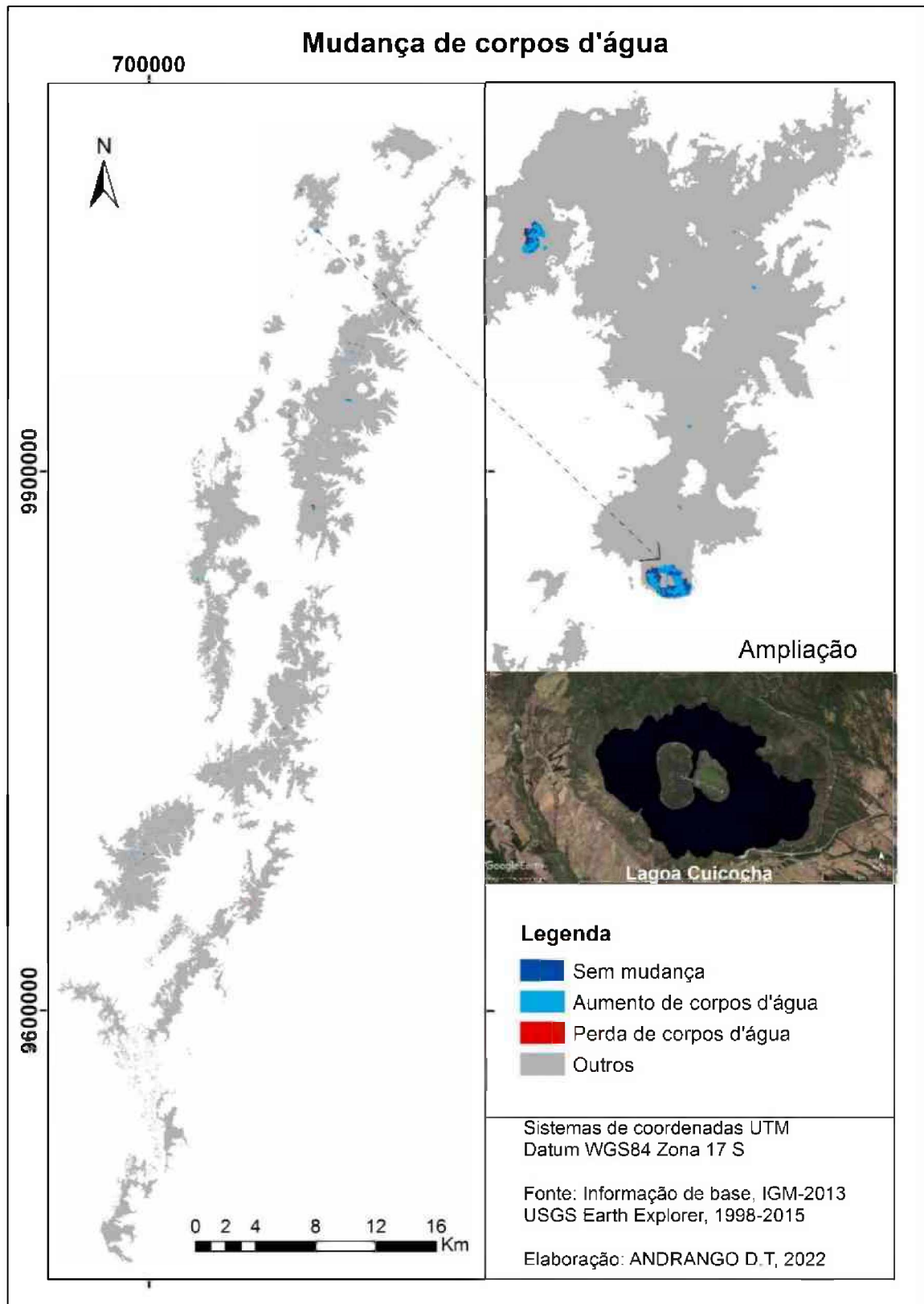
Classes	Água	Eriales	Geleira	Áreas povoadas	Terra de cultivo	Vegetação	Pastagem	Perda de superfície
Água	718,7	610,1	0,0	23,8	219,2	378,3	196,6	1427,9
Eriales	696,6	29511,4	0,0	250,7	21661,7	23570,0	33476,7	79655,6
Geleira	8,9	1920,5	36,4	23,0	255,3	493,6	403,7	3105,0
Áreas povoadas	0,0	26,2	0,0	0,8	8,6	18,9	17,5	71,2
Terra de cultivo	410,5	19307,1	15,1	497,4	31816,3	51821,2	72359,6	144410,9
Vegetação	1959,0	118879,1	0,0	1260,9	81406,9	405631,9	172043,8	375549,8
Pastagem	46,8	2748,5	0,0	12,4	6496,1	9702,8	17072,4	19006,7
<b>Aumento de superfície</b>	3121,8	143491,5	15,1	2068,1	110047,8	85984,7	278497,8	623226,9



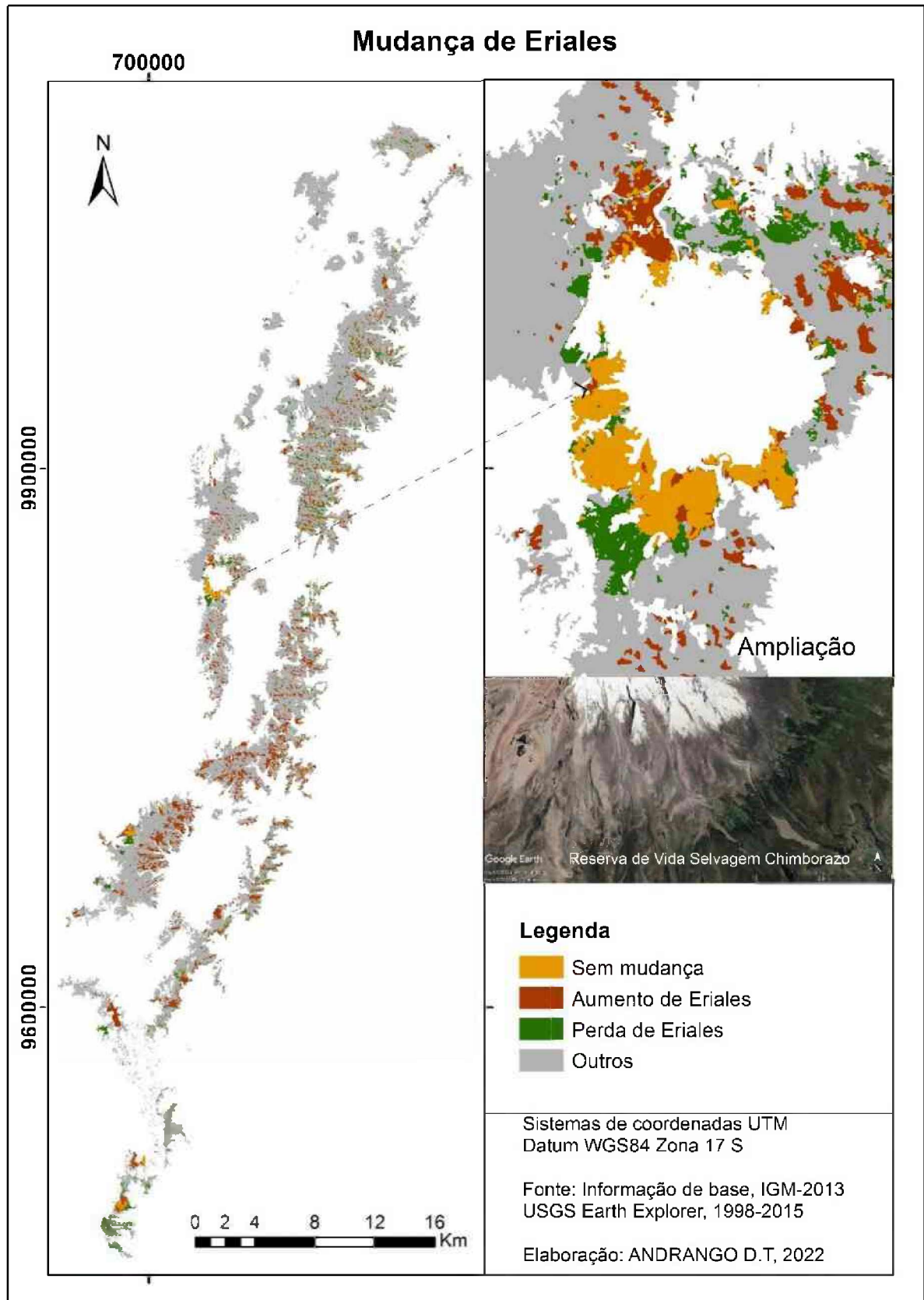
**Figura 13-**Porcentagem de mudança de uso da terra e cobertura vegetal

O interessante é analisar os dados fora da diagonal principal, pois permite identificar padrões dominantes e sistemáticos presentes na análise das mudanças. Na Tabela 18 pode se ver que a classe que perdeu a maior quantidade de superfície foi a vegetação com 60,26%, a mudança foi no primeiro lugar para pastagem, seguido de afloramento de rocha/eriales e terra de cultivo. Também se apresenta uma perda alta de terra de cultivo com 23,17%, a mudança foi para pastagem e vegetação. A classe de água perdeu menos superfície com 0,23% e foi trocada por afloramento de rocha/eriales. Em tanto, as classes que ganharam superfície foram, no primeiro lugar pastagem com 44,7% seguido de terra de cultivo com 17,7% e vegetação. Além disso, a Tabela 18 mostra que não houve incremento de geleiras, contrário à perda que tem o 0,5%. Na Figura 13, ilustra melhor a perda e aumento de superfícies por cada classe. Adicionalmente, é possível notar que as áreas povoadas tiveram um incremento de 0,3%, resultado que foi esperado pelo aumento da população e necessidade de novas moradias. No que se refere à mudança de eriales, nota-se um incremento de 23%, vale destacar que essa classe apresenta solo erodido, fraco, e afloramento de rocha.

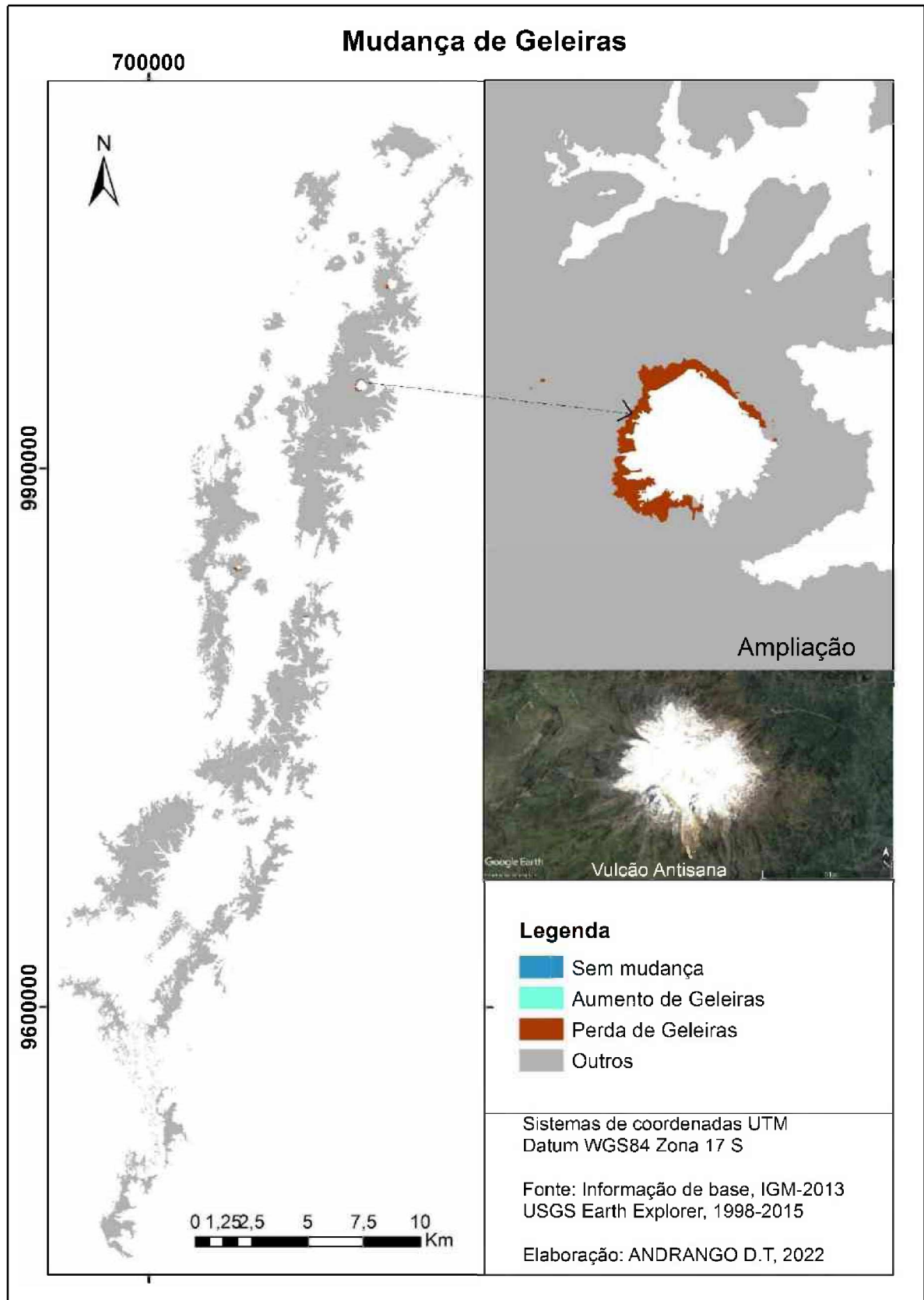
A seguir os Mapa 6 a Mapa 12 ilustram a perda e incremento de cada classe estudada no páramo. Mudanças em relação aos corpos de água. Mudanças das áreas de afloramento de rocha/eriales. Mudanças de geleiras, áreas povoadas. Mudança em solos de cultivos, em vegetação natural e nas áreas de pastagem no período 1998 até 2015, respectivamente.



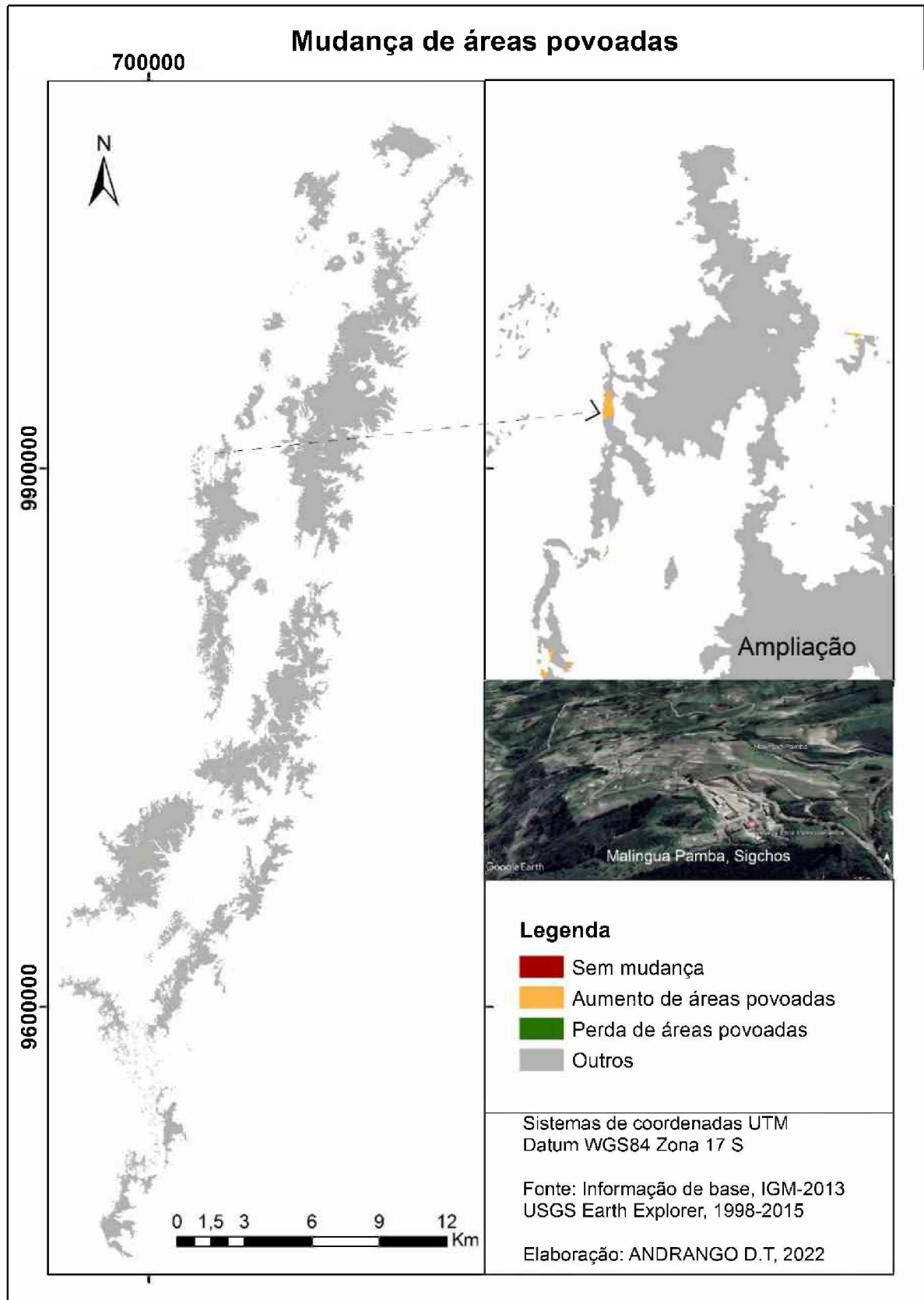
Mapa 6 -Mudança dos corpos de água na área de estudo



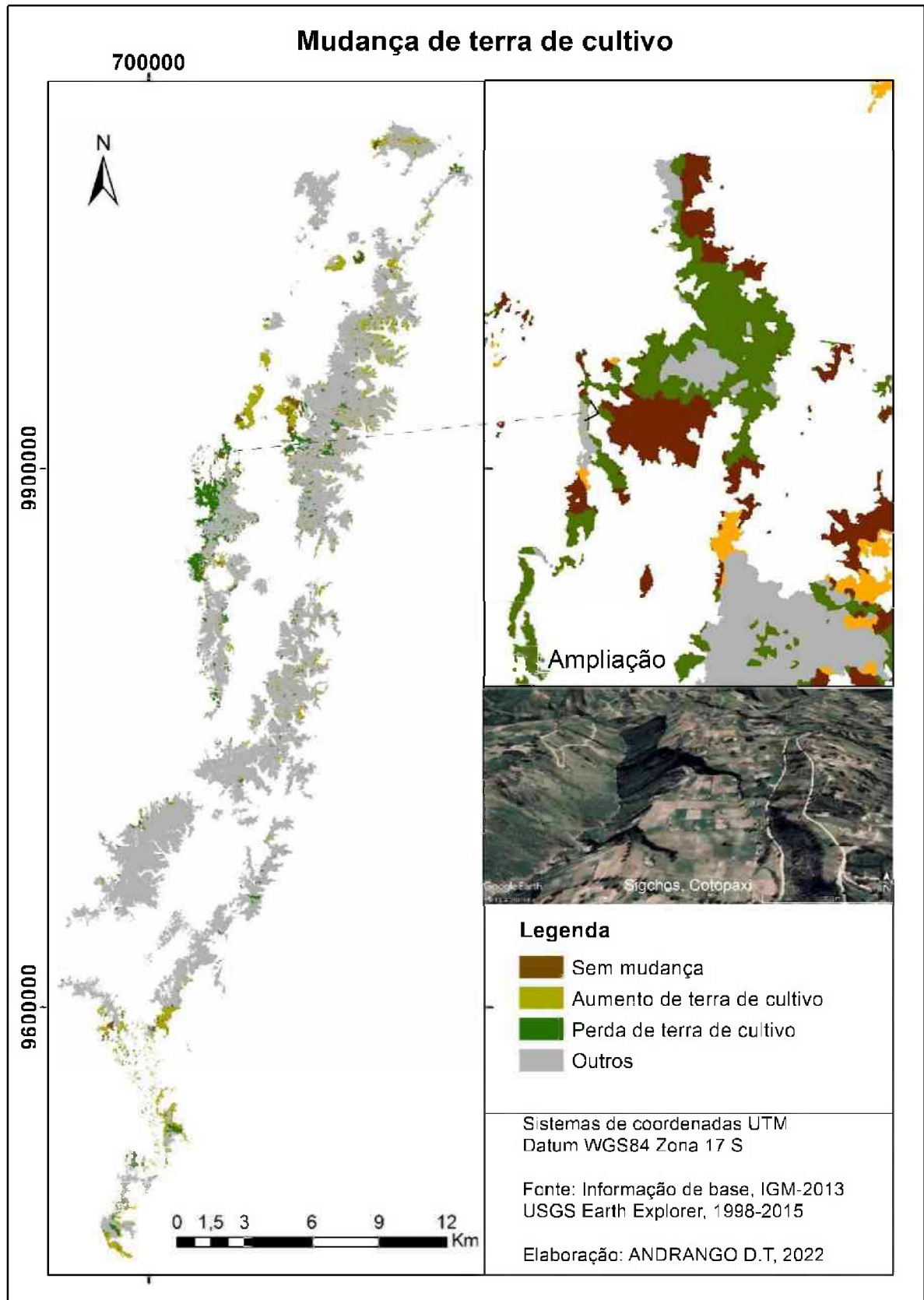
**Mapa 7** -Mudança de afloramento de rocha/Eriales na área de estudo



**Mapa 8** -Mudança de Geleiras na área de estudo

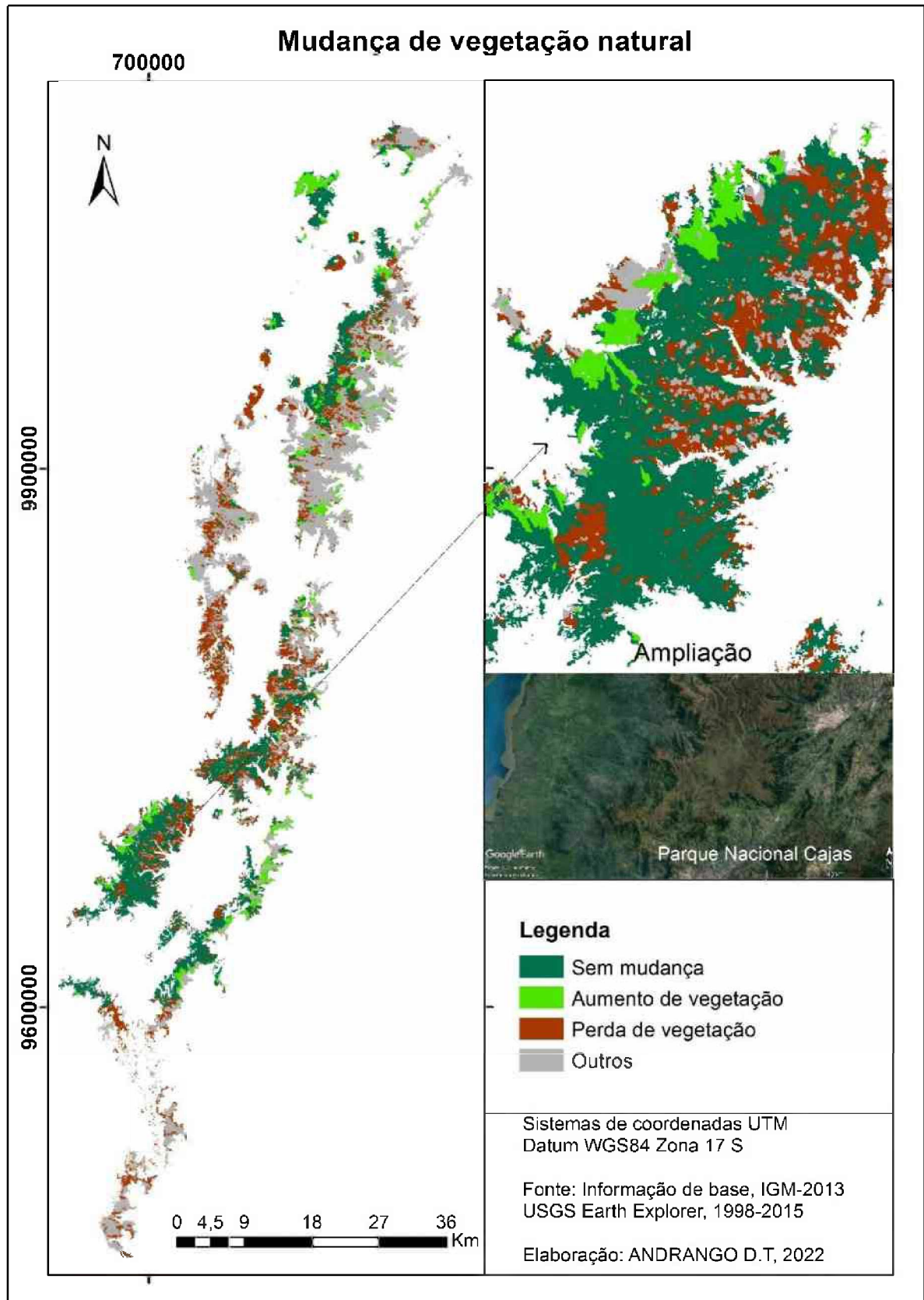


**Mapa 9** -Mudança de áreas povoadas na zona de estudo

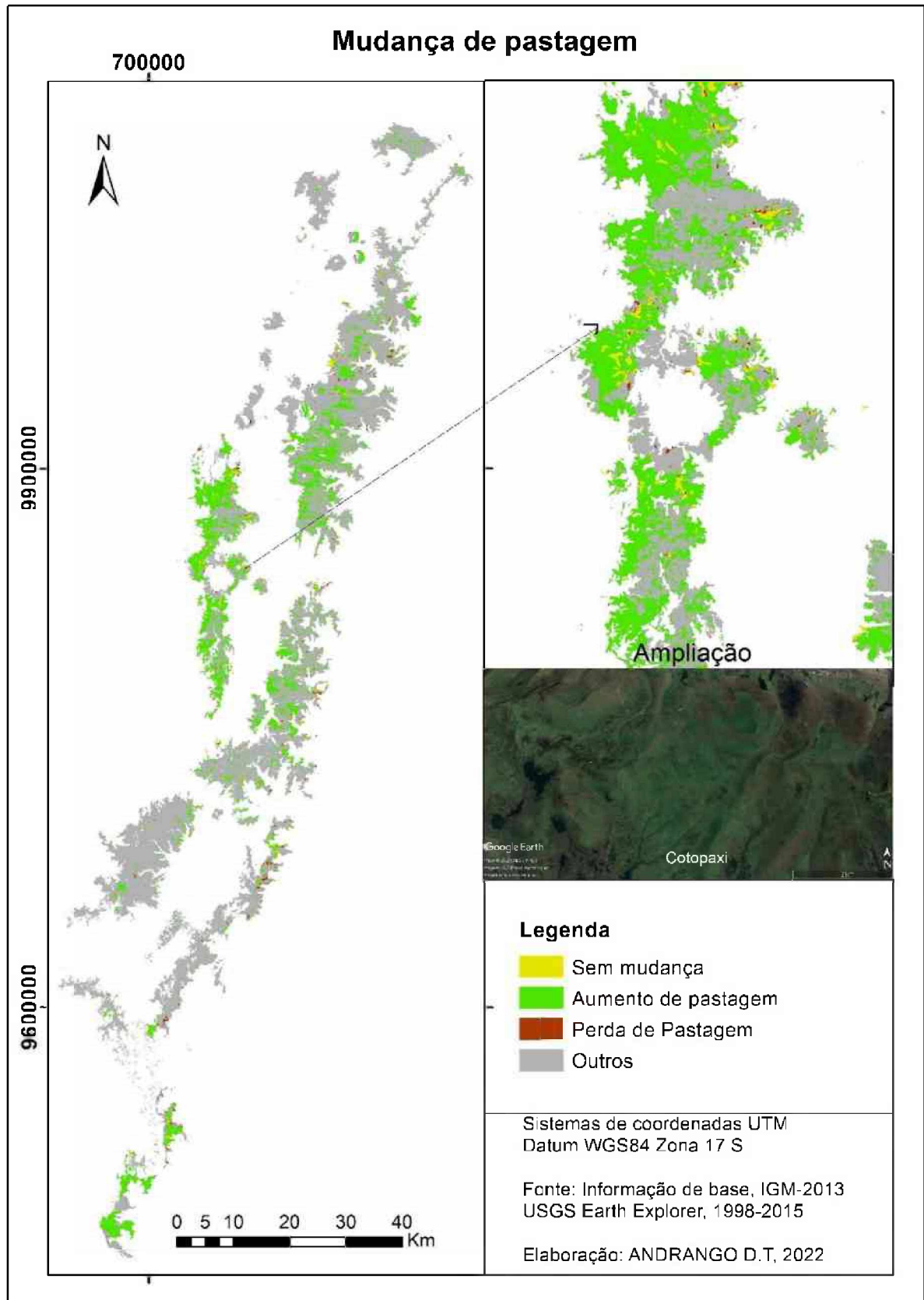


**Mapa 10 -Mudança do solo de cultivo na zona de estudo**





**Mapa 11** -Mudança de vegetação natural na zona de estudo



Mapa 12 -Mudança de pastagem na área de estudo

Existe um aumento na quantidade de corpos de água na área de estudo como apresentado na Tabela 18 e ilustrado no

Mapa 6. O incremento pode ser devido à construção de 71 usinas hidrelétricas e a maior parte delas foram feitas na região interandina, como se observa no Mapa 2. Este acontecimento pode explicar o aumento considerável dos corpos de água, porque deve-se levar em conta que no processo de obtenção de energia hidroelétrica foram construídas várias represas de água, que nas análises torna-se um incremento desta classe, (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

No que se refere ao afloramento de rocha ou também conhecido como eriales, mostra-se o incremento de 23% (Tabela 18). O Mapa 7 ilustra em cor marrom, as áreas que no ano 2015 torna-se como afloramento de rocha. O pastoreio intensivo causa erosão severa, diminuição da infiltração, ressecamento irreversível, perda de solo, alteração do micro relevo e criação de rotas de fluxo preferenciais (BUYTAERT et al., 2006). Segundo o mapa de Classificação de Solos do Equador do MAG, esta classe de solos ocupam uma área de 1.324.302 ha, isto representa 6% do território nacional, e grande parte dele está localizado em encostas íngremes (>40 a 70%) dos relevos montanhosos. Os autores também destacam que 520.573 ha têm vocação agrícola, esta afirmação respalda o resultado encontrado nesta pesquisa, que determina que existiu a perda desta classe de 9,8%, a mesma que em uma maioria considerável mudou para terra de cultivo.

No caso das geleiras, a perda é evidente. Existem estudos sobre a evolução das geleiras ao longo do tempo: o resultado é o Inventário Nacional das Geleiras do Equador. O primeiro inventário de geleiras foi realizado em 1980. A partir disso, o INAMHI realizou mais 3 inventários em 2005, 2010 e o último foi concluído em 2018. O último inventário, expôs que a cobertura das geleiras do Equador é de 43,5 km<sup>2</sup>. Comparando este valor com o primeiro inventário, onde a cobertura glacial era de 92km<sup>2</sup>, conclui-se que a perda média é de 40 a 50% da cobertura glacial segundo Cáceres, (2019). O Mapa 8 ilustra a perda das geleiras ao longo do tempo de 1998 até 2015, e corrobora os resultados apresentados pelos estudos feitos pelo INAMHI.

O Mapa 9 apresenta um aumento nas áreas povoadas, este é um resultado esperado devido ao aumento da população. Segundo o Instituto Nacional de Estatística e Censos (INEC) o aumento 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 (Tabela 19)

(VILLACÍS et al, 2012 p12). Esse dado dá uma ideia da demanda da população por uma área para a construção das moradias. Assim é possível notar o crescimento considerável das áreas povoadas.

**Tabela 19-** Crescimento da população na região Interandina

Região	2001	2010	Taxa de crescimento	Projeção 2015	Projeção 2020
Interandina	5.463.907	6.449.355	1,84%	7.273.937	7.847.136

Fonte: INEC, Censos da População e da Habitação 2001 y 2010

A terra de cultivo também passou por mudanças, como apresentado no Mapa 10. Segundo Morales-Betancourt, (2006), o sistema predominante entre 3.400-3.700 metros de altitude é a monocultura de batata em rotação com a atividade pecuária, enquanto acima deste limite há apenas pastagem extensiva. O autor também destaca que a fronteira agrícola tende a se deslocar cada vez mais em direção ao páramo alto, principalmente devido ao desenvolvimento de culturas mais resistentes às geadas e devido às mudanças climáticas globais. Atualmente, as principais culturas são batatas e pastagens para alimentação do gado; culturas de feijão, ervilha e cereais são mantidas com menos frequência.

No Mapa 11 apresenta a mudança de vegetação natural na área de estudo, a cor verde escura mostra a vegetação natural que não mudou ao longo do período. A cor marrom registra as perdas de vegetação, esse acontecimento se deve ao avanço da fronteira agrícola, que ganhou força a partir da Reforma Agrária de 1973, que foi emitido para a redistribuição das terras e o aumento da produção agrícola (FERNÁNDEZ, 2005). Outro fato importante citado por Gutiérrez, (2016) é onde menciona que o páramo é queimado periodicamente. O fogo é produzido principalmente pela ação humana, mas também naturalmente. As pessoas queimam o páramo para produzir brotos que são consumidos pelo gado, para expandir a fronteira agrícola e por motivos místicos. O autor ressalta que o páramo queima facilmente, pois as folhas secas da palha e de outras plantas são bom combustível, principalmente no verão, quando a umidade diminui.

Enquanto a cor verde-clara evidencia o aumento na vegetação de 13,8% (Tabela 18) que antes foram terra de cultivo, Eriales e pastagem passaram a ser recuperadas com vegetação nativa. A recuperação destas áreas pode ser devido às instituições que estão trabalhando com as áreas de armazenamento da água; como é o Fundo de Proteção às Águas de Quito (FONAG) que recupera áreas do páramo prioritárias para o abastecimento de água aos habitantes da capital

do Equador (CHAFLA et al., 2016). O programa foi bem-sucedido no trabalho de conservação e recuperação da vegetação por meio de esquemas de compensação. Também o programa foi desenvolvido em outras cidades do país (Figura 2) com o nome de "Fundos de Água". Apesar de que a perda da vegetação é consideravelmente maior, se registram áreas recuperadas devido aos múltiplos programas desenvolvidos.

Em relação ao setor pecuário, também se evidencia uma mudança nas áreas de pastagem (Mapa 12). Esta classe registrou o aumento de 44,7 % (278.497,8 ha). As áreas que mais mudaram para pastagem foram terra de cultivo e vegetação. Deve-se levar em conta que os cultivos nesta área são alternados com as atividades pecuárias e do mesmo jeito que a terra de cultivo mostra o aumento considerável. Vale destacar que uma década atrás os principais animais eram vacas, ovelhas e cavalos, para atividades agrícolas e para transporte. Entre as espécies menores, destacaram-se cobaias, galinhas e porcos. Atualmente, as vacas são a principal espécie, dedicada à produção de leite, e as espécies menores continuam sendo mantidas tanto para consumo familiar quanto para venda, (HILDAHL, et al. 2017).

### 8.3 Índices de extremos climáticos

**Tabela 20.** Tendências estatisticamente significativas dos índices de precipitação

Latitude	Longitude	Código	Nome da estação	CDD	CWD	R95P	PRCPTOT
-1,72	-78,66	M0133	Guaslan	-1,521**	-0,297*	-6,901*	-14,946*
-1,13	-79,08	M0123	El Corazón	-0,423	1,564*	-16,703	-16,608
-2,73	-79,07	M0141	El Labrado	-0,999**	0,152	4,885	7,372
-2,88	-78,78	M0139	Gualaceo	-0,041	-0,154	-17,821**	-35,904*
-3,08	-79,01	M0418	Cumbe	-0,844	-0,288	-16,106**	-7,949
-3,96	-79,07	M0503	S. Francisco-San Ramon	-0,705**	0,060	10,196	32,084*

\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ )

\*\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 99% ( $p \leq 0,01$ )

\*CDD = dias secos consecutivos, CWD= dias chuvosos consecutivos, R95P= dias muito chuvosos, PRCPTOT= precipitação anual total

A Tabela 20 apresenta as tendências de índices de extremos de precipitação CDD, CWD, R95p e PRCPTOT, com significância estatística respectivamente. De uma maneira geral, os índices de precipitação apresentam pequenos valores de tendência e, além disso, são observadas poucas tendências significativas. No Anexo 1 se apresenta os valores de tendências de todas as estações analisadas.

No que se refere à variabilidade pelo índice de dias secos consecutivos (CDD), apresenta-se que tal variabilidade tem significância estatística de 99% só em três estações da área de estudo, M0133 de -1,52dia/ano, M0141 de -0,999dia/ano e M0503 de -0,705dia/ano a diminuição dos dias é consideravelmente maior na parte norte do que o sul da região. Enquanto ao aumento dos dias secos consecutivos, constata-se que há valores na parte média da área de estudo. O Mapa 13 ilustra melhor a distribuição espacial destas tendências. O resultado tem coerência com o índice de R95P na estação M0133 apresentando também uma diminuição nos dias muito chuvosos.

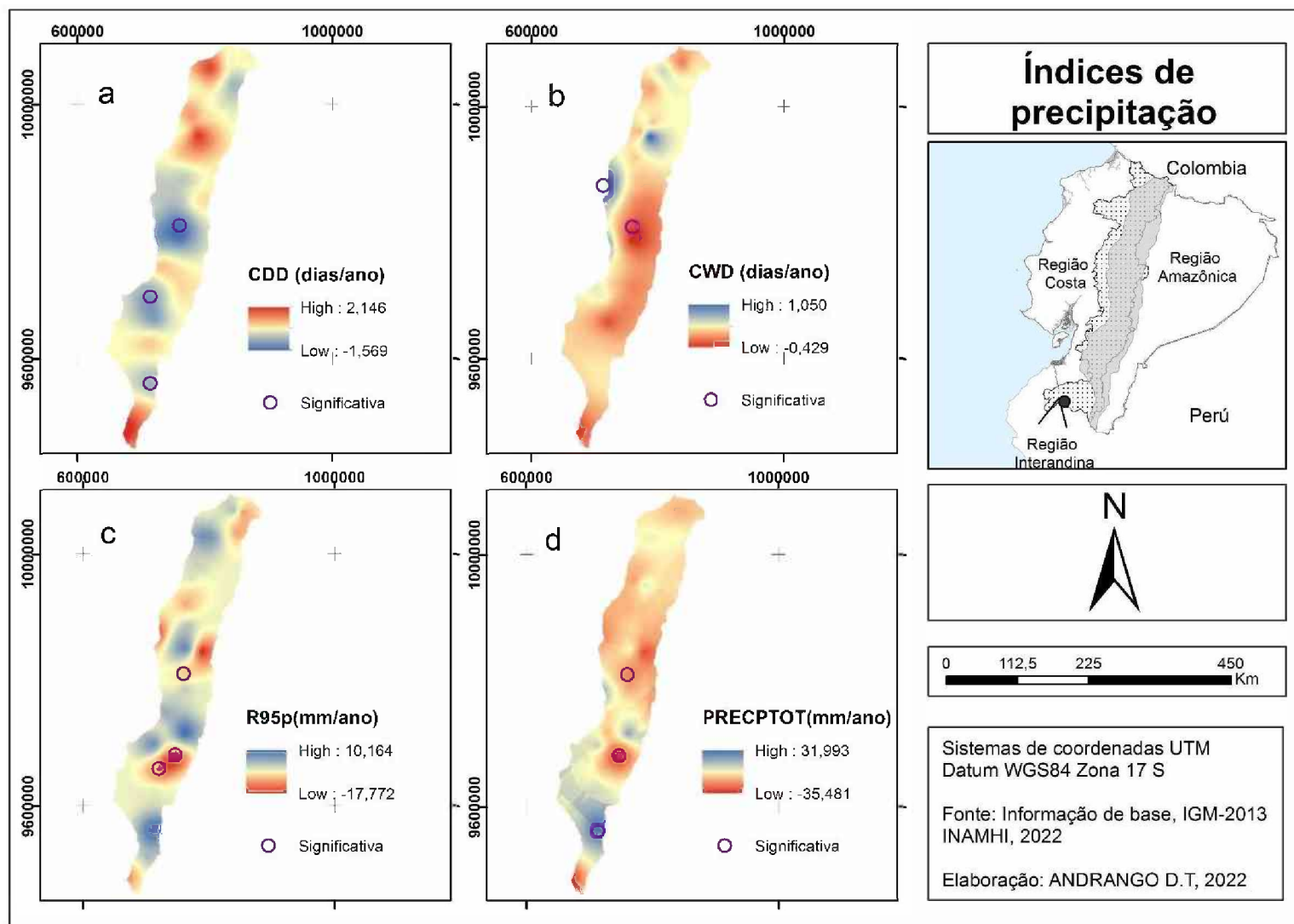
Em relação à análise de tendência dos dias chuvosos consecutivos CWD observa-se que há tendências diferentes, mas as estatisticamente significativas são duas, as estações; M0133 de -0,297 dia/ano e M0123 de 1,564 com significância estatística de 95%. Enquanto a maior parte da área apresenta tendência de diminuição e está distribuída em toda a área de estudo, exibido o Mapa 13 (b). Cabe ressaltar que a tendência no caso da estação M0133, apresenta diminuição em todos os índices, mostrando-se incoerência com os outros resultados, enquanto que na estação M0123 mostra tendência positiva nos dias chuvosos consecutivos e tendências negativas nos dias secos consecutivos, estes valores apresentam coerência nos resultados.

Quanto ao outro índice mostrado na Tabela 20 (R95p) relacionado a chuvas intensas constata-se que na maior parte da área de estudo apresenta tendência negativa, mas só três estações têm tendências estatisticamente significativas, trata se da estação M0133 de -6,901 mm/ano com 95% de significância estatística e as estações M0139 de -17,821 mm/ano e M0418 de -16,106 mm/ano com o 99% de significância estatística. Os valores encontrados neste índice estão relacionados com a quantidade de dias chuvosos consecutivos e o total de precipitação média anual, note-se que os resultados encontrados têm coerência entre os mesmos.

O índice de precipitação total (PRCPTOT) mostra diminuição na tendência em toda a área de estudo, e três são estações com significância estatística de 95%; M0133 com -14,946 mm/ano, M0139 com -35,904 mm/ano e M0503 32,084 mm/ano. Vale destacar que as tendências mostram concordância entre os índices R95P, e CWD em toda a região de estudo, mesmo que os valores das tendências não sejam estatisticamente significativos.

Em geral, para os índices de precipitação, poucas ocorrências de tendências significativas de aumento ou diminuição foram constatadas, a maior parte apresenta tendência negativas, isto pode ser analisado como uma seca no páramo, no período de estudo. Como foi apresentado no estudo de “Clima de la Región Sur del Ecuador: historia y tendencias” no caso da

precipitação na região sul, as tendências não estão claramente definidas (SAMANIEGO-ROJAS, 2015. p 53).



a- Dias secos consecutivos (CDD), b- dias chuvosos consecutivos (CDW), c- dias muito chuvosos (R95p), d- precipitação total (PRCPTOT).

**Mapa 13** -Distribuição espacial das tendências dos índices de precipitação



**Tabela 21.** Tendências estatisticamente significativas dos índices de temperatura

Latitude	Longitude	Código	Nome da estação	TMAX média	TMIN média	tx90p	tn90p
-1,98	-79,06	M0130	Chillanes	-0,108*	-0,220*	-2,328	-2,520**
0,60	-77,82	M0103	San Gabriel	-0,031	0,055*	-0,355	1,057*
-1,72	-78,66	M0133	Guaslan	0,076	0,160**	0,976**	0,862*
-2,28	-78,92	M0136	Chunchi	0,031	-0,154**	0,527	0,061
-1,02	-78,59	M0004	Rumipamba-Salcedo	-0,007	0,022	0,425	1,410**
0,52	-78,21	M0107	Cahuasqui-Fao	0,023	0,044	0,844*	0,469
0,26	-78,40	M0001	Inguincho	0,029	0,034*	0,221	0,838**
-0,23	-78,37	M0002	La Tola	0,007	-0,020	-0,007	-0,291*
-0,37	-78,55	M0003	Izobamba	0,047	-0,020	1,070**	0,658
-0,17	-78,48	M0024	Quito Inamhi-Iñaquito	0,050	0,066**	0,930**	0,924**
-1,39	-78,42	M0029	Baños	-0,092**	0,023	0,801*	0,192
-1,35	-78,62	M0128	Pedro Fermin Cevallos	-0,033*	0,033*	-0,264	0,360
-2,55	-78,95	M0031	Cañar	-0,013	0,057**	-3,376	1,554**
-2,73	-79,07	M0141	El Labrado	-0,001	0,061**	0,333	1,283**
-2,88	-78,78	M0139	Gualaceo	-0,015	0,020*	-0,171	1,253**
-4,37	-79,17	M0147	Yangana	-0,004	0,044*	-0,472	1,544**

\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ )

\*\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 99% ( $p \leq 0,01$ )

\*TMAX = Temperatura média máxima, TMIN= Temperatura média mínima, tx90p=dias quentes, Tn90p=noites quentes.

Os valores de tendência de temperatura estão apresentados no Anexo 2, e na Tabela 21 mostra-se os valores que exibiram significância estatística.

O índice da média da temperatura máxima (TMAX média) apresenta tendência diferentes na área de estudo, mas as tendências estatisticamente significativas são negativas como no caso da estação M0029 com  $-0,092$  °C/ano com 99% de significância, enquanto as estações de M0130 de  $-0,108$ °C/ano e M0128 de  $-0,03$ °C/ano com 95% (Tabela 21). No Mapa 14 (c) mostra a diminuição da média da temperatura máxima na parte norte e sul da área, enquanto o centro apresenta tendências positivas, mas aquelas não são estatisticamente significativas.

A média da temperatura mínima (TMIN média), que é a temperatura registrada na noite, ao contrário da temperatura máxima apresenta maior significância estatística. No norte da área de estudo, na estação M0130 pode se ver uma tendência de  $-0,220$  °C/ano com 95% de significância e estação M0136 de  $-0,154$  °C/ano com 99% de significância estatística. Quanto a tendência positiva observa-se o aumento dessa variável nas estações M0103 de  $0,055$ °C/ano, M0001de  $0,034$ °C/ano, M0128 de  $0,033$ °C/ano, M0139 de  $0,020$ °C/ano e M0147 de  $0,044$

°C/ano com significância estatística 95%. A Tabela 21 apresenta também incremento nas tendências na estação M0133 de 0,160°C/ano este valor é consequente com o índice de noite quentes (Tn90p) na mesma estação, a mesma coisa acontece nas estações M0024 de 0,066°C/ano, M0031 de 0,057°C/ano e M0141 de 0,061°C/ano, cada uma de elas com um nível de significância de 99%. Estas tendências acentuadas podem se ver de melhor maneira no Mapa 14 (b).

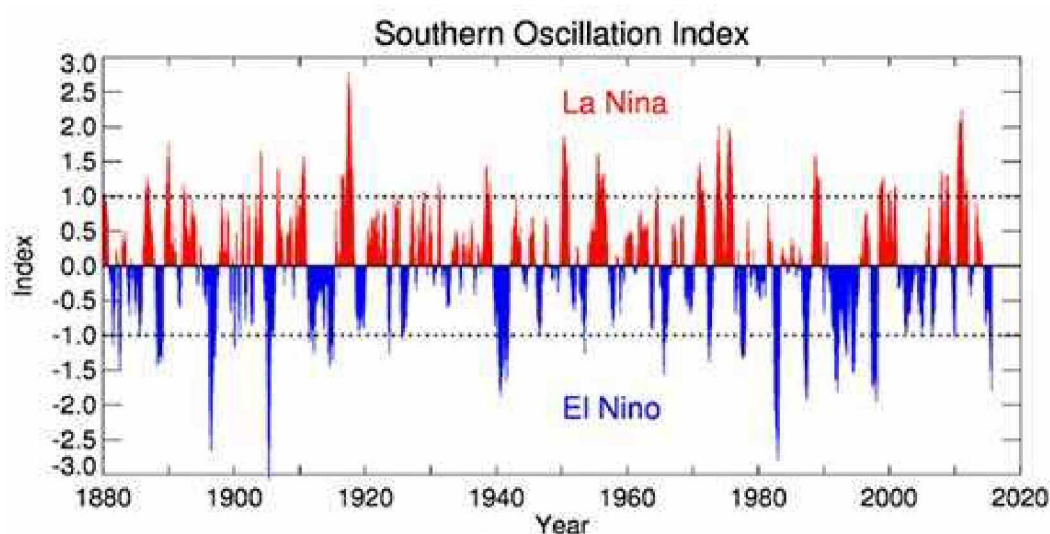
Na Tabela 21 também se apresenta as tendências do índice TX90p (dias quentes), constata-se que os valores positivos da mesma são consistentes aos aspectos de aquecimento observados no índice anterior (média da temperatura máxima). Com o nível de significância de 99%, podem-se observar, que para as estações M0133, M0003, M0024 as tendências positivas estatisticamente significativas são de: de 0,976%/ano, 1,070%/ano e 0,930%/ano respectivamente. Quanto ao aumento dos dias quentes (TX90p) com a significância de 95%, foram as estações M0107 com 0,844 %/ano e M0029 com 0,801%/ano. Novamente, cabe ressaltar que a tendência dos dias quentes e a média da temperatura máxima apresentam coerência, mas é o índice de dias quentes que está mais acentuado com maior significância estatística. Também se observa diminuição nas tendências, os maiores valores foram encontrados nas estações M0130 de -2,328 %/ano, M0123 de -1,1%/ano e M0031 de -3,376%/ano, mas estes valores não apresentaram significância estatística, estas tendências estão distribuídas em toda a área de estudo como se vê no Mapa 14 (d).

Com relação ao índice de noites quentes (TN90p), observa-se uma tendência acentuada de aumento dessa variável. Para esse índice, vê-se que os valores de tendência são diferentes para toda a região de estudo. A tendência de aumento das noites quentes foi, para as estações M0103 de 1,057%/ano, M0133 de 0,862%/ano com o nível de significância de 95%, conforme pode ser visto na Tabela 21. Enquanto a tendência de aumento das noites quentes com nível de significância de 95%, foram nas estações de M0004 de 1,410%/ano, M0001 de 0,838%/ano, M0024 de 0,924%/ano, M0031 de 1,554%/ano, M0141 de 1,283%/ano, M0139 de 1,253%/ano e M0147 de 1,544%/ano. O Mapa 14 (a) apresenta o maior incremento na parte sul da área de estudo, este resultado respalda o estudo feito por SAMANIEGO-ROJAS, (2015) onde se analisou a estação San Francisco, localizada no flanco oriental da Cordilheira Real, no sul da região, e se determinou que a temperatura apresenta uma tendências de incremento de 0,22 °C por década desde o ano 1948. Também se encontrou tendências de diminuição na quantidade de noites quentes, na estação M0130 de -2,520%/ano com o nível de significância

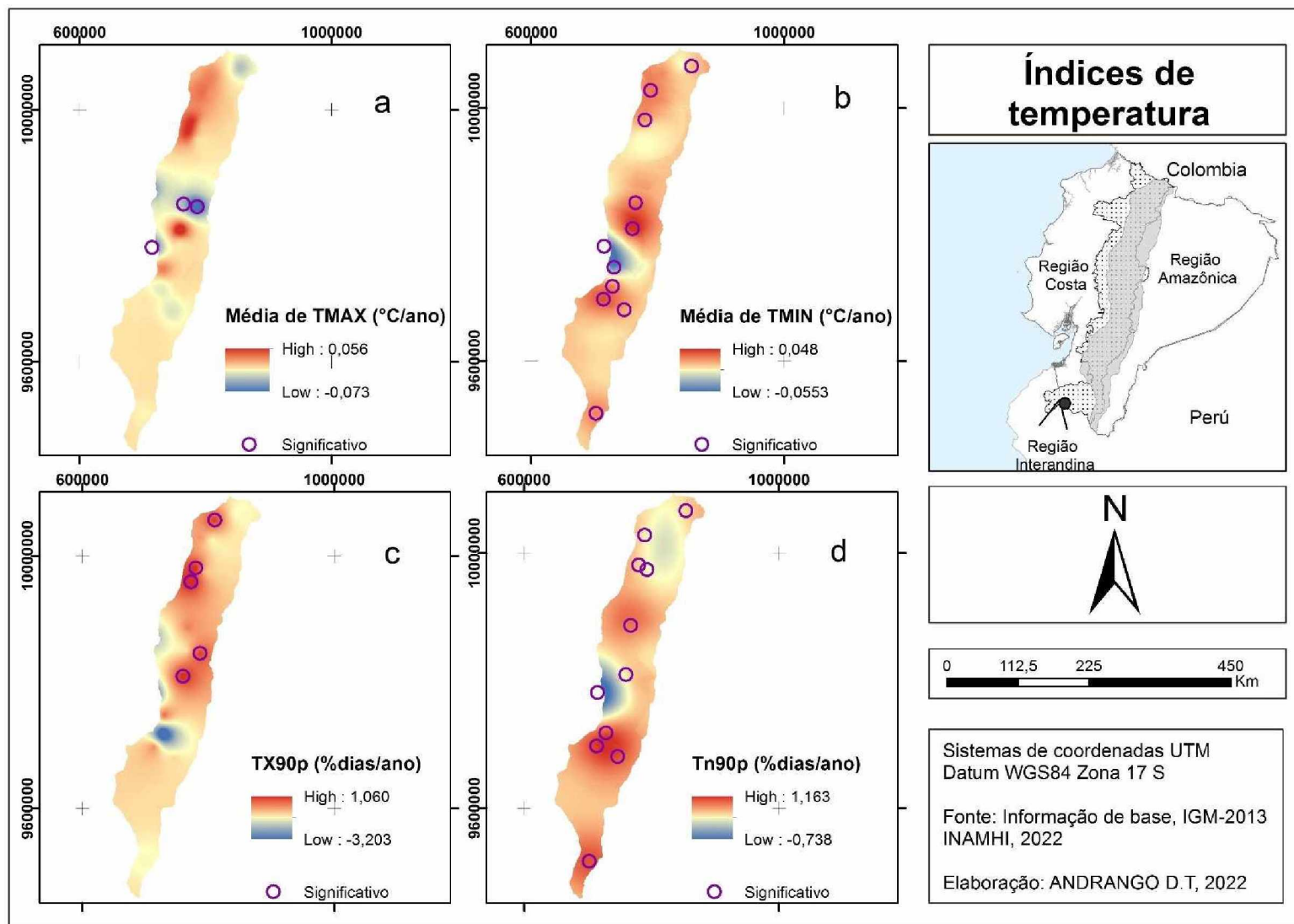
de 99% e na estação M0002 de -0,291%/ano com um 95% de significância, localizado na parte média da área de estudo.

As variações encontradas nos índices de precipitação e temperatura no começo do período de estudo podem ter um relacionamento indireto com a ocorrência do fenômeno de El Niño que teve uma forte presença em 1997-1998, durante doze meses, começando em maio de 1997 e terminando em abril de 1998, afetando 60% da população equatoriana, ou seja, aproximadamente 7 milhões de pessoas, principalmente nas províncias de região costeira (VÉLEZ et al., 2015). A Figura 14, mostra o comportamento dos eventos ENSO na região Niño 3,4, calculado pelo índice IOS, em um período de tempo entre 1880 a 2020 (PINTO, 2016). Também se observa na Figura 14 que no período de estudo houve alterações no índice de La Niña e de El Niño. No estudo realizado por Hidalgo-Proaño (2017) mostra que o evento de El Niño na região interandina aumentou significativamente a temperatura, com exceção do evento nos anos 1982 e 1983, onde a temperatura diminuiu. O autor concluiu que estes eventos nem sempre cumprem com um padrão de comportamento.

O Hidalgo-Proaño (2017) também analisou o comportamento da precipitação com a presença dos eventos de El Niño e La Niña, e encontrou que para a região interandina, no evento de El Niño, a precipitação diminui. Porém, com o evento forte de El Niño, existe um aumento na precipitação, como aconteceu no ano 1982. Este resultado tem concordância com os índices de precipitação achados no trabalho. Vê-se na Figura 14 que há eventos, onde a maior parte não são fortes, então ocorre uma diminuição de precipitação. Em eventos frios de La Niña, as chuvas aumentam, com exceção dos anos 1985 e 1996, nos quais não cumpre o padrão.



**Figura 14-**Registro histórico do índice IOS como indicador de eventos ENSO

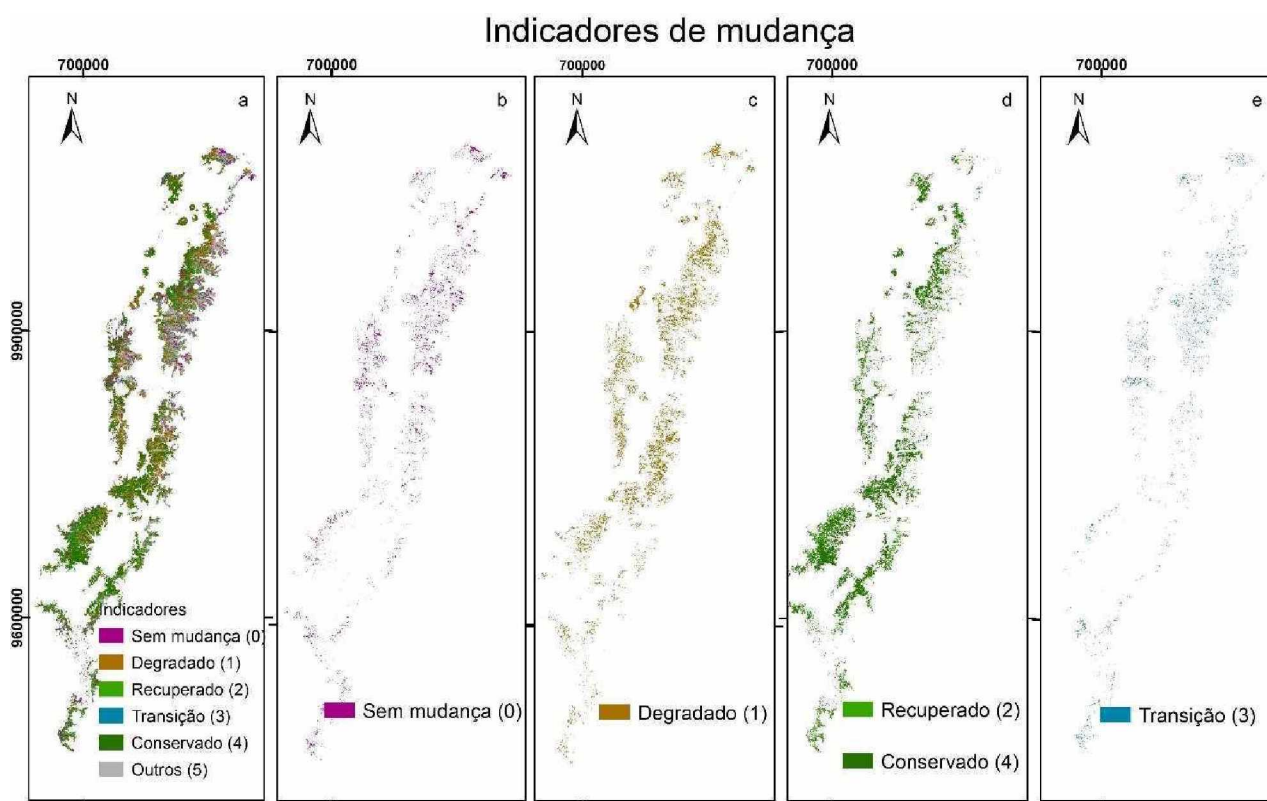


a- Média da temperatura máxima (Média de TMAX), b- Média da temperatura mínima (Média de TMIN), c- dias quentes (Tx90p), d- noites quentes (Tn90p).

**Mapa 14** -Distribuição espacial das tendências dos índices de temperatura

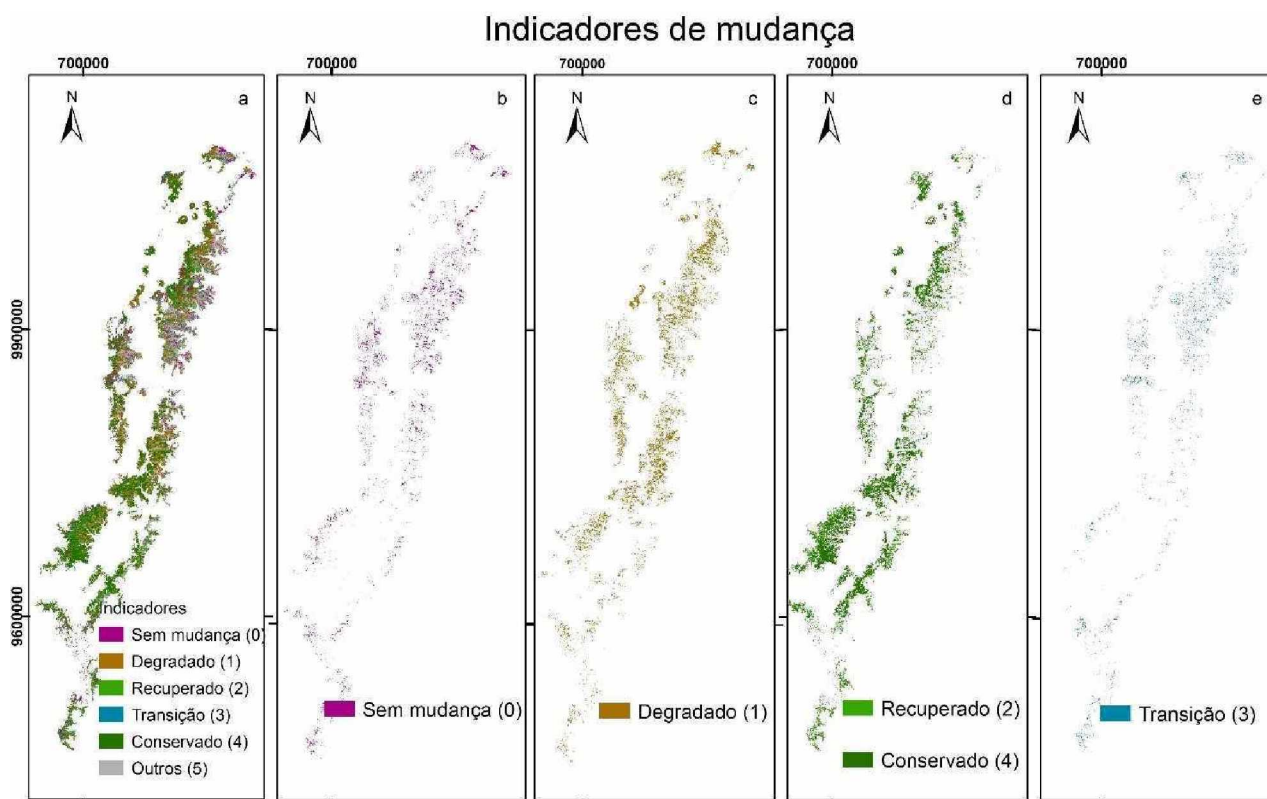
## 8.4 Análises conjunto

Para o análise conjunto foi feito o mapa com os indicadores apresentados na Tabela 12, e separados por cada indicador como se ilustra no



a= classificação das áreas com mudanças, b= área que não apresentou mudança, no período de estudo, c= área que mostrou degradação, d= área onde evidenciou-se recuperação e conservação da vegetação natural, e= áreas que estiveram em transição.

Mapa 15. Cada camada foi sobreposta aos mapas de tendência climáticas de temperatura e precipitação de acordo como se apresenta na Tabela 13, para analisar a relação entre as mudanças e a ocorrência de eventos climáticos extremos.



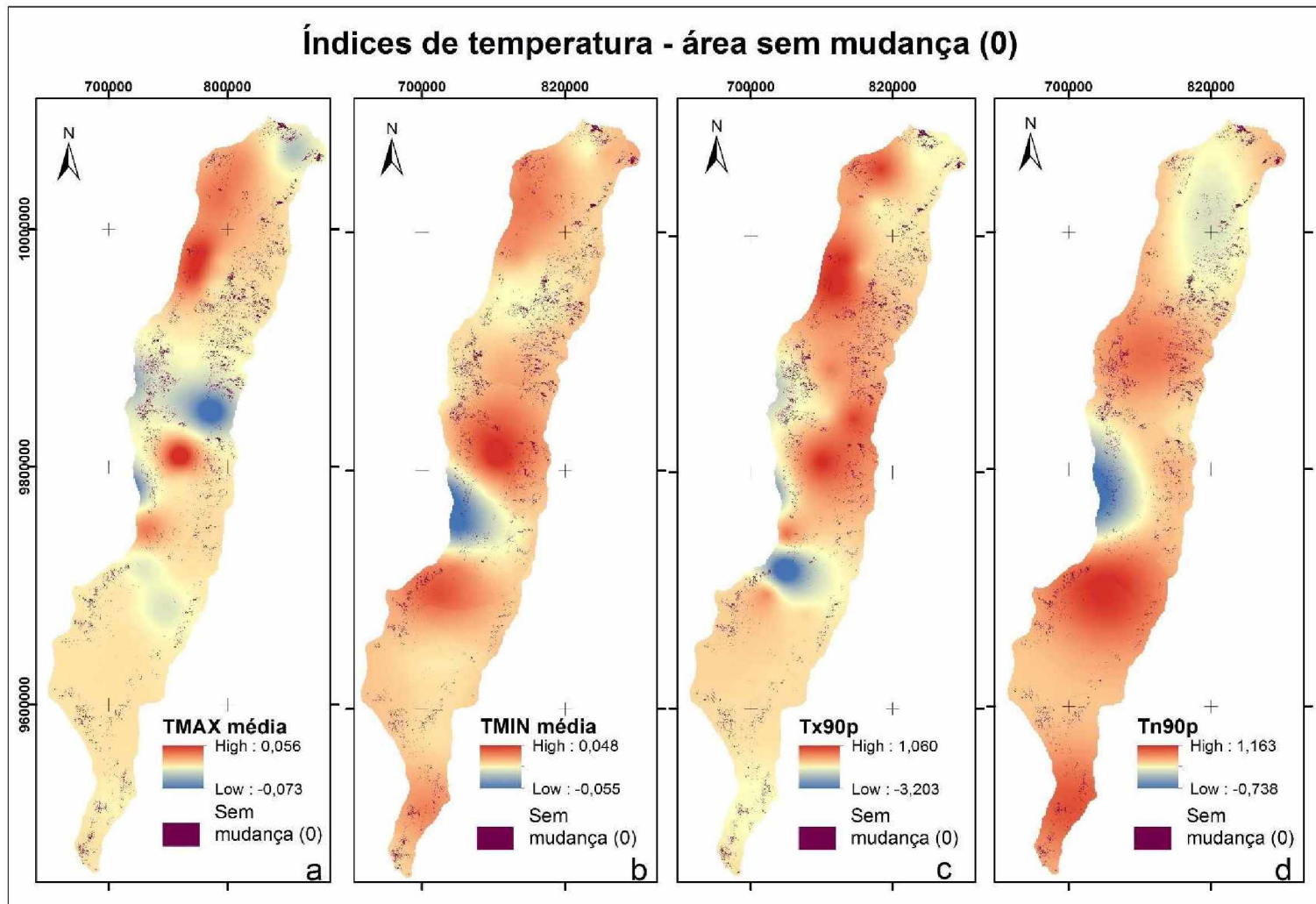
a= classificação das áreas com mudanças, b= área que não apresentou mudança, no período de estudo, c= área que mostrou degradação, d= área onde evidenciou-se recuperação e conservação da vegetação natural, e= áreas que estiveram em transição.

### Mapa 15- Indicadores de mudança

Na Tabela 22 apresenta os dados extraídos da camada de pontos gerada para cada raster dos índices de temperatura (TMAX média, TMIN média, Tx90p, Tn90p) (Mapa 4) e para o raster do resultado da mudança de cobertura vegetal no indicador de sem mudança (Tabela 12). O objetivo desta tabela é analisar o comportamento das tendências dos índices de temperatura na área onde não foram encontradas mudanças no período de estudo. A área sem mudança é de 138.773,4 ha (1387,7 Km<sup>2</sup>), e a maior parte encontra-se no norte e centro do páramo, e só pequenas áreas no sul, como se vê no Mapa 16. No caso da média da temperatura máxima (TMAX), o Mapa 16 (a) não mostra um padrão definido, existe uma tendência positiva no norte da área. Nesse mesmo lugar apresenta uma porcentagem de área sem mudança, mas em geral em toda a área a tendência é baixa, quase nula. A média da temperatura mínima (TMAX) e dias quentes (TX90p) apresentam um comportamento similar ao índice anterior com pequenas tendências na área sem mudanças (Mapa 16 (b,c)). Nas noites quentes (Tn90p) mostra um comportamento diferente no norte, onde se evidencia tendência negativa, na mesma zona que não mudou no período de estudo.

**Tabela 22-** Índices de temperatura -área sem mudança

<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>	<b>Tx90p</b>	<b>TN90p</b>	<b>Sem mudança</b>
-0,001	0,019	-0,412	0,915	0
0,000	0,011	-0,194	0,506	0
0,000	0,007	-0,207	0,526	0
0,000	0,011	-0,170	0,496	0
0,001	0,007	-0,182	0,530	0
0,000	0,008	-0,132	0,631	0
0,036	0,033	0,677	0,206	0
-0,009	0,014	-0,390	0,185	0
-0,009	0,011	0,024	0,849	0
0,008	0,000	0,689	0,481	0
0,037	0,021	0,726	0,414	0
0,002	0,008	-0,203	0,278	0
0,014	0,020	-0,307	0,138	0
0,020	0,019	0,299	0,211	0
0,010	0,011	0,293	0,323	0



a- Média da temperatura máxima (Média de TMAX), b- Média da temperatura mínima (Média de TMIN), c- dias quentes (Tx90p), d- noites quentes (Tn90p) e sobreposição de camada da área sem mudança

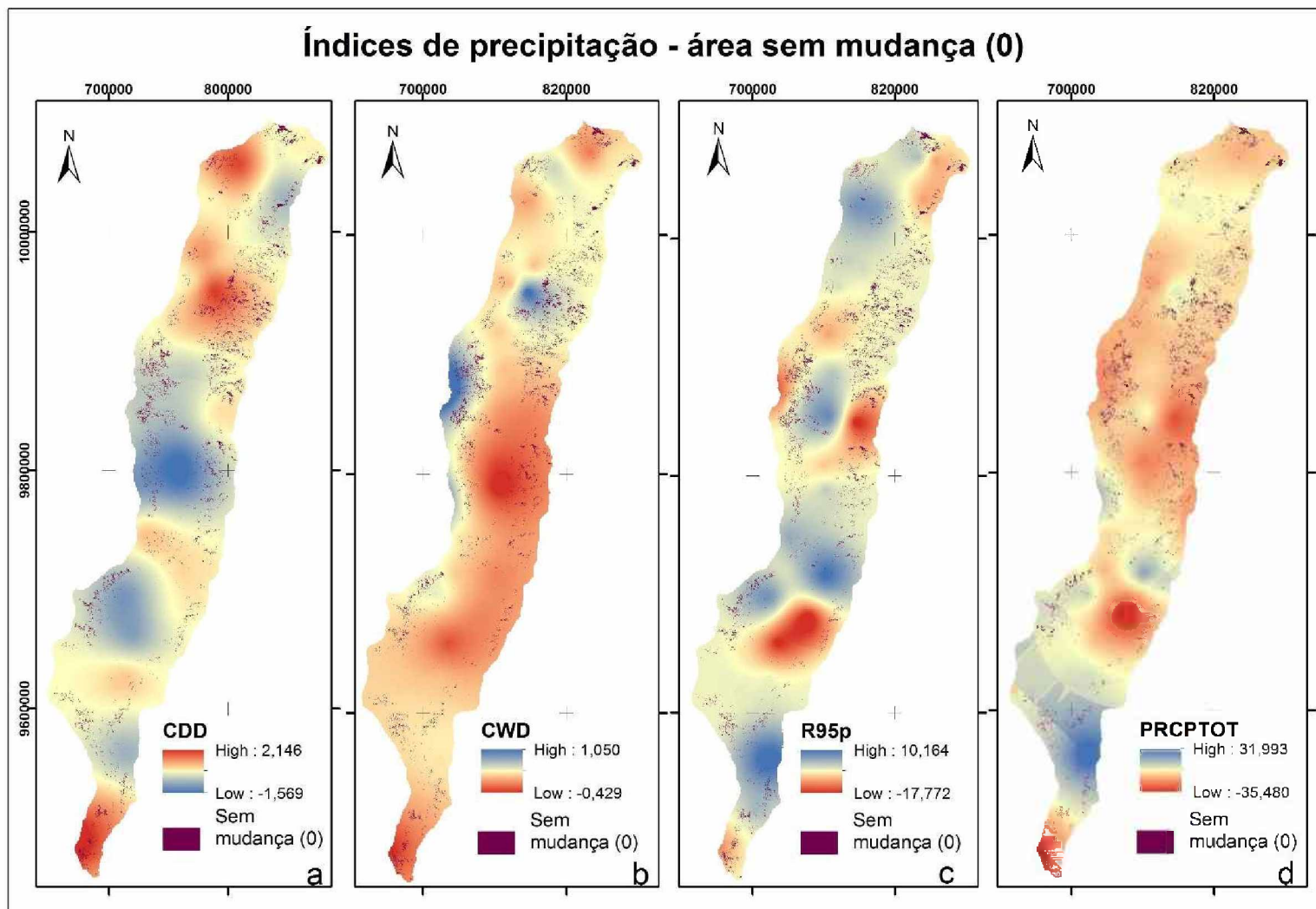
**Mapa 16-** índices de temperatura- área sem mudança



Os índices da precipitação apresentados na Tabela 23, também foram extraídos da camada de pontos nas áreas onde não foi encontrada mudança no uso de solo e cobertura vegetal, em forma geral os valores não apresentam um padrão definido, mas o Mapa 17 ilustra melhor a distribuição do comportamento dos índices em referência às áreas sem mudança. É possível notar que os dias muito chuvosos (R95p) destaca-se uma pequena tendência negativa na zona sem mudança, como mostra a Tabela 23; entretanto, o Mapa 17 (c) apresenta um incremento na precipitação no mesmo lugar onde está a maior parte da área sem mudança. Adicionalmente, a quantidade de dias secos consecutivos teve um incremento na parte norte do páramo, na área restante há uma diminuição. Quanto ao índice de dias chuvosos consecutivos, se registra uma relação na tendência positiva com a área sem mudança, na parte norte do páramo, como se vê no Mapa 17 (b). A precipitação total teve pequenas variações nas tendências negativas na zona norte, enquanto ao sul é predominante o incremento da precipitação.

**Tabela 23-** Índices de precipitação - valor sem mudança

<b>CDD</b>	<b>CDW</b>	<b>R95p</b>	<b>PRCPTO T</b>	<b>Sem mudança</b>
0,417	-0,026	0,899	6,257	0
0,077	0,036	-2,928	4,258	0
-0,002	0,060	-1,124	12,719	0
0,142	0,029	-2,914	6,369	0
0,337	0,013	-2,729	4,810	0
-0,236	-0,059	-5,275	1,201	0
-1,532	-0,257	-5,156	-10,457	0
-0,465	0,208	-3,669	-5,414	0
-0,231	0,111	-2,935	-7,094	0
1,329	0,436	-3,918	-0,392	0
0,849	0,105	-0,645	-6,867	0
-0,004	0,116	-3,043	-3,744	0
0,111	0,107	0,608	-0,444	0
0,946	0,188	-0,480	-2,161	0
0,993	0,086	-1,964	-5,061	0



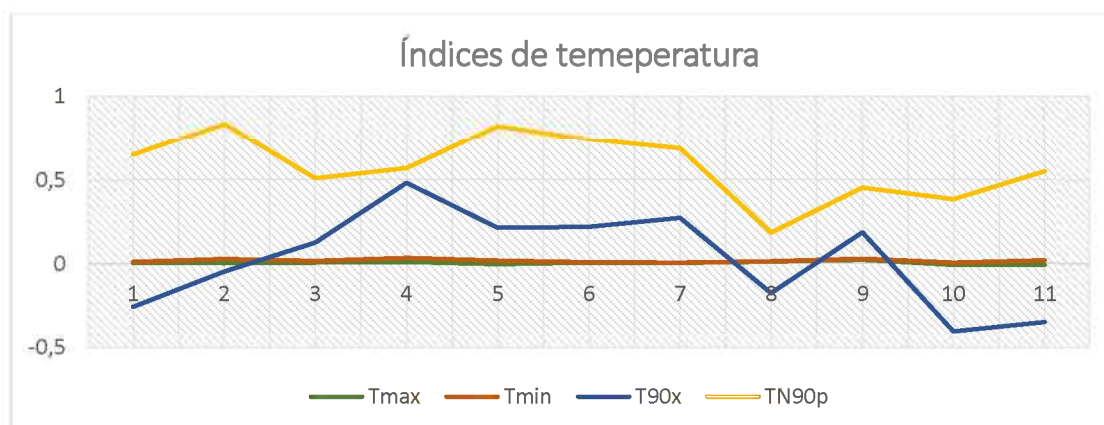
a- Dias secos consecutivos (CDD), b- dias chuvosos consecutivos (CDW), c- dias muito chuvosos (R95p), d- precipitação total (PRCPTOT) e sobreposição da camada da área sem mudança.

**Mapa 17-** índices de precipitação- área sem mudança

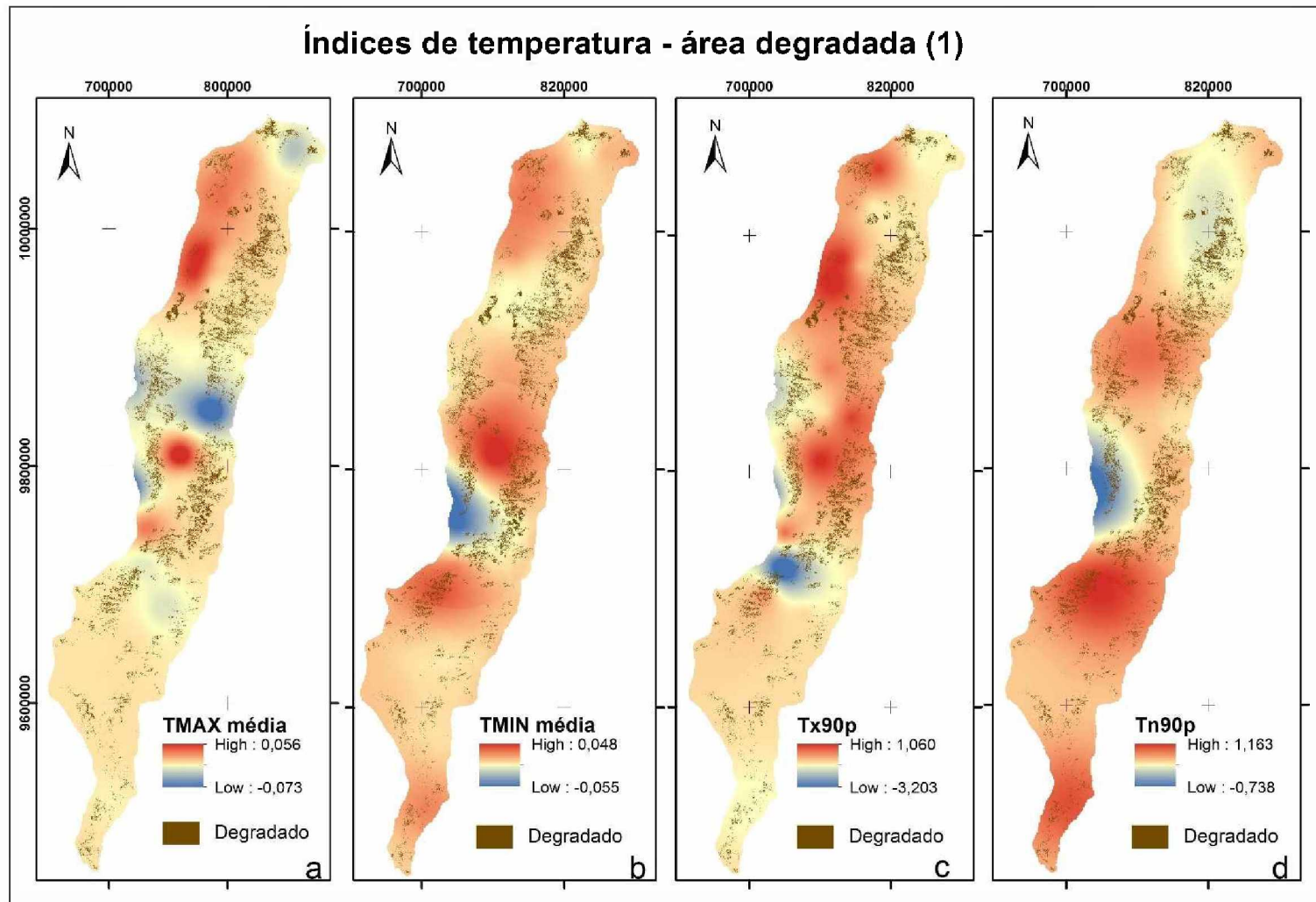
A área degradada (Tabela 12), tem uma dimensão de 351.983,7 ha (3.519,8 km<sup>2</sup>) e está distribuído em todo o páramo, com áreas maiores no centro-norte. Segundo a Tabela 24 as tendências da média da temperatura máxima (TMAX) são pequenas. No Mapa 18 (a) se ilustra que na zona norte do páramo existe um leve aumento na tendência, mas não se vê uma relação clara com as áreas degradadas. Adicionalmente, nas noites quentes (Tn90p) não tem uma tendência forte, e no centro há uma diminuição, isto não mostra coerência com as análises das áreas degradadas. No entanto, os dados da média da temperatura mínima (TMIN) e os dias quentes (Tx90p) apresentam resultados mais consistentes com as zonas analisadas. Constatase no Mapa 18 (b, c) que há um aumento considerável no centro e norte, onde tem uma notável quantidade de área degradada. Em geral, a Figura 15 mostra o comportamento das tendências dos índices de temperatura na área degradada, e se observa uma conduta semelhante entre a temperatura mínima (TMIN) e máxima (TMAX). No referente aos dias e noites quentes o comportamento é diferente. No entanto, não mostra uma diferença significativa.

**Tabela 24-** Índices de temperatura - área degradada

Tmax	Tmin	T90x	TN90p	Degradado
0,001	0,007	-0,262	0,645	1
-0,001	0,023	-0,050	0,833	1
0,002	0,012	0,122	0,503	1
0,007	0,030	0,477	0,565	1
-0,007	0,014	0,209	0,820	1
0,002	0,004	0,215	0,739	1
0,001	0,002	0,268	0,683	1
0,008	0,011	-0,179	0,181	1
0,019	0,025	0,182	0,448	1
-0,011	0,002	-0,407	0,380	1
-0,011	0,016	-0,352	0,546	1



**Figura 15-** Comportamento dos índices de temperatura na zona degradada



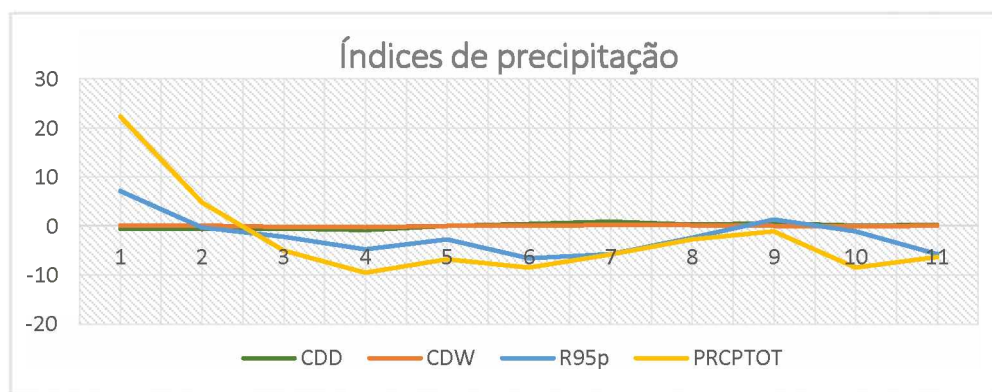
a- Média da temperatura máxima (Média de TMAX), b- Média da temperatura mínima (Média de TMIN), c- dias quentes (Tx90p), d- noites quentes (Tn90p) e sobreposição de camada da área degradada.

**Mapa 18-** índices de temperatura- área degradada

Para o indicador das áreas degradadas (1) (Tabela 12), mostra-se a comparação com os dados dos índices de precipitação na Tabela 25. A área degradada está distribuída por todo o páramo, mas têm maior presença no centro e norte do mesmo. Vale destacar que a tendência negativa da precipitação total (PRCPTOT) têm maior presença justamente na zona centro e norte do páramo (Mapa 19 (d)). Adicionalmente, é possível notar que os dias chuvosos consecutivos (CDW) apresentam uma grande diminuição no centro. Entretanto, os dias secos consecutivos (CDD), têm tendências positivas na zona norte do páramo como se ilustra no Mapa 19 (a). Os três índices antes descritos têm uma pequena relação com as áreas degradadas, tanto no centro como no norte do páramo. Ressalta-se que a tendência dos dias muito chuvosos (R95p) não mostra um padrão que se relacione com a área degradada mostrada no Mapa 19 (c).

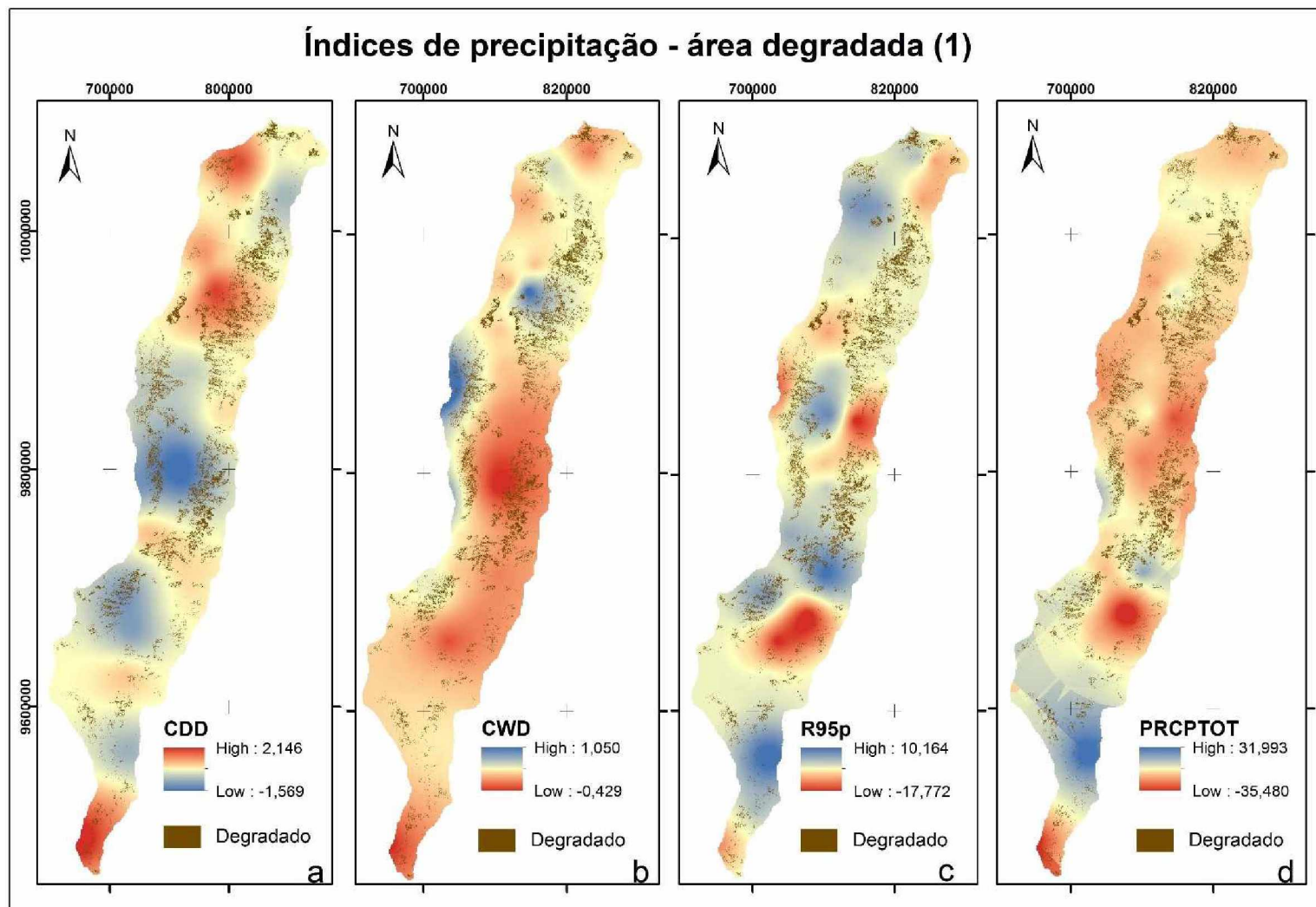
**Tabela 25-** Índices de precipitação - área degradada

CDD	CWD	R95p	PRCPTOT	Degradado
-0,605	0,078	7,095	22,266	1
-0,653	0,052	-0,336	4,778	1
-0,543	-0,213	-2,200	-5,013	1
-0,852	-0,265	-4,801	-9,543	1
-0,002	0,019	-2,720	-6,802	1
0,383	0,066	-6,601	-8,524	1
0,866	0,159	-5,750	-5,817	1
0,250	0,097	-2,408	-2,769	1
0,507	0,018	1,278	-1,124	1
0,049	-0,125	-1,106	-8,494	1
0,215	0,063	-5,756	-6,350	1



**Figura 16-** Comportamento dos índices de precipitação na zona degradada

A Figura 16, ilustra o comportamento dos índices de precipitação na zona degradada do páramo. Em forma geral, a precipitação total (PRCPTOT) e os dias muito chuvosos (R95p) têm tendência a uma diminuição, enquanto dos dias secos consecutivos (CDD) e chuvosos consecutivos (CDW), tem comportamentos semelhantes.



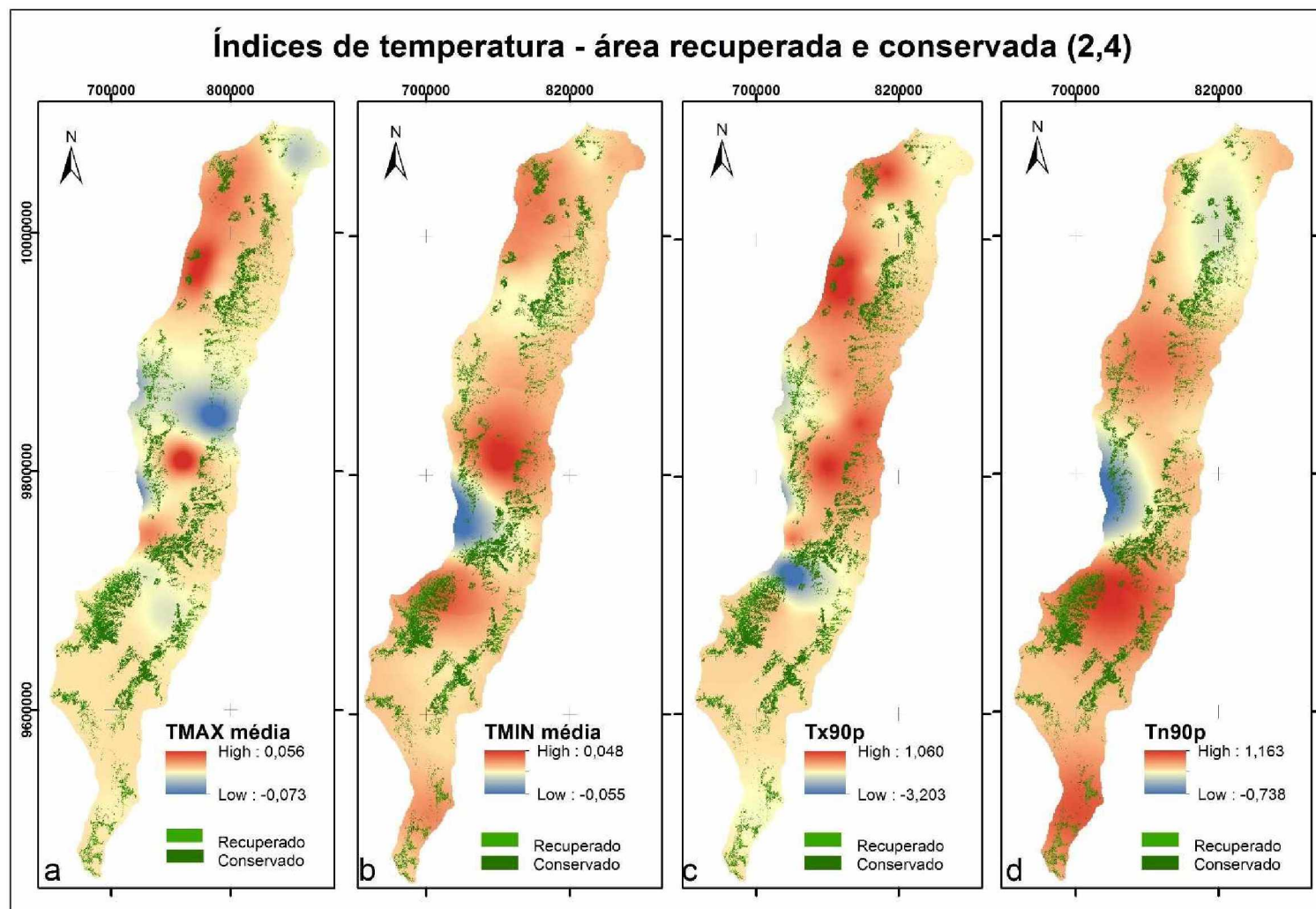
a- Dias secos consecutivos (CDD), b- dias chuvosos consecutivos (CDW), c- dias muito chuvosos (R95p), d- precipitação total (PRCPTOT) e sobreposição da camada da área degradada.

**Mapa 19-** índices de precipitação- área degradada

No que se refere aos indicadores das áreas conservadas e recuperadas (Tabela 12), a maior parte estão no centro-sul do páramo com uma dimensão de 471580,9 ha (4715,8 Km<sup>2</sup>) 171794,3 ha (1717,94 Km<sup>2</sup>), respectivamente, existem também áreas no norte, mas são em menor quantidade (Mapa 20). Quanto aos índices de temperatura, a Tabela 26 registra diminuição nas tendências na maior parte dos valores extraídos, mas os valores são consideravelmente menores. Cabe ressaltar que no índice TMAX média, TMIN média, Tx90p mostrados no Mapa 20 (a, b, c), é possível notar que no centro-sul, onde se encontrou áreas recuperadas e conservadas, têm tendências notavelmente baixas. Cabe mencionar a possibilidade de ter uma coerência no comportamento das tendências e as áreas nomeadas, tendo em vista que a vegetação age como um regulador, e mantém melhores condições climáticas. No entanto, as noites quentes (Tn90p) não apresentam o mesmo comportamento. Nas áreas analisadas, mostram-se uma tendência positiva (Mapa 20 (d)), resultado que não é coerente com os outros índices de temperatura.

**Tabela 26-** Índices de temperatura - área conservada e recuperada

Tmax	Tmin	T90x	TN90p	Recuperado e conservado
0,001	0,009	-0,272	0,671	2
-0,004	0,009	-0,219	0,734	2
-0,004	0,029	-0,123	1,067	2
-0,014	0,016	-0,292	0,974	2
-0,001	0,012	-0,882	0,970	2
-0,029	0,003	-0,807	0,519	2
-0,001	0,009	0,037	0,510	2
0,000	0,010	-0,157	0,373	2
0,001	0,006	-0,209	0,526	4
0,001	0,005	-0,197	0,566	4
0,000	0,010	-0,161	0,538	4
0,000	0,006	-0,163	0,750	4
0,001	0,009	-0,326	0,650	4
0,006	-0,015	-0,187	0,458	4
-0,017	0,004	-0,525	0,629	4
0,002	0,003	-0,023	0,321	4



a- Média da temperatura máxima (Média de TMAX), b- Média da temperatura mínima (Média de TMIN), c- dias quentes (Tx90p), d- noites quentes (Tn90p) e sobreposição de camada da área recuperada e conservada.

**Mapa 20-** índices de temperatura- área recuperada e conservada.

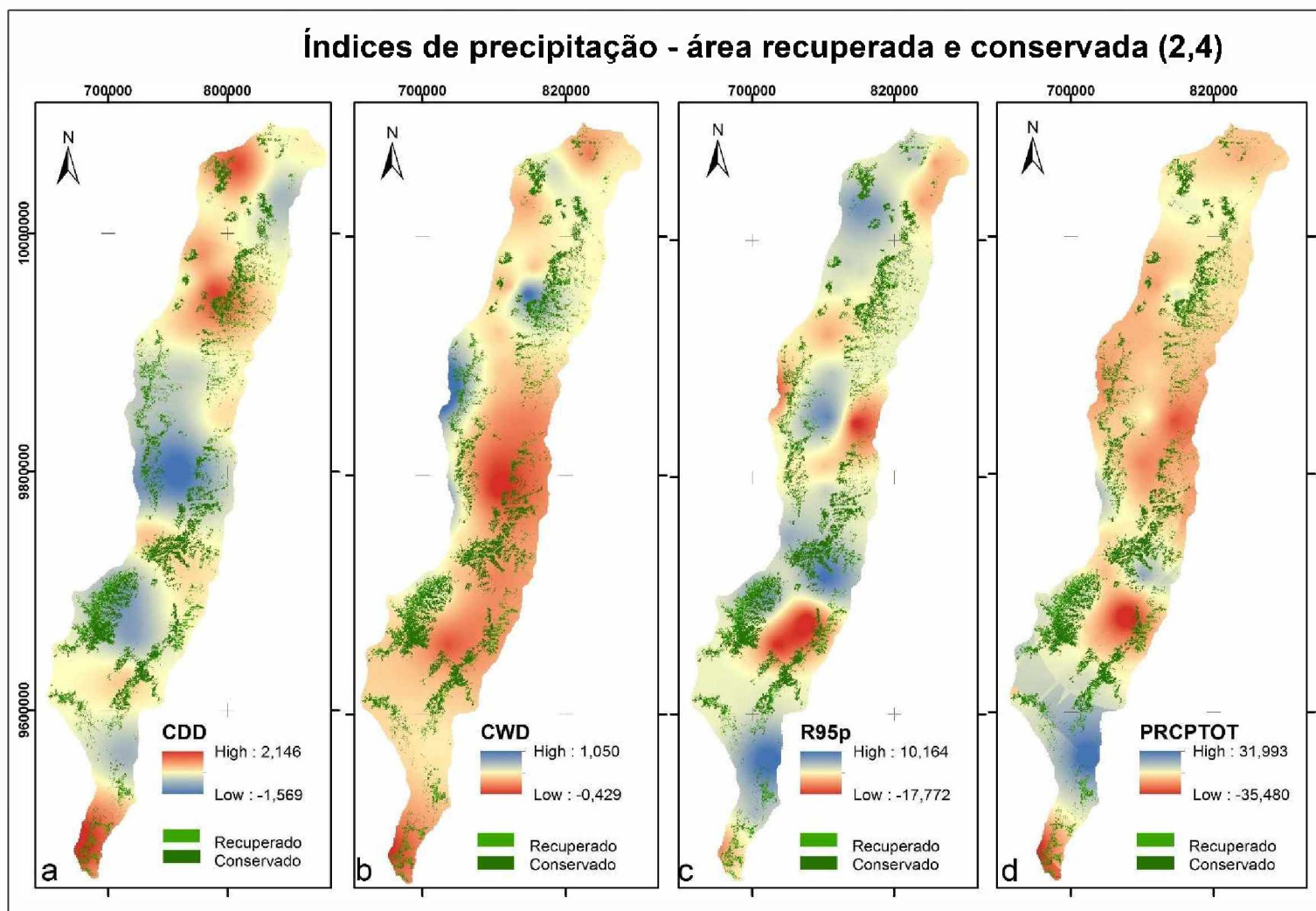


Continuando com a análise das áreas conservadas e recuperadas, no caso dos índices de precipitação (Tabela 27) destaca-se as tendências negativas dos dias secos consecutivos (CDD), na parte centro-sul do páramo, justamente nas áreas conservadas e recuperadas como se ilustra no Mapa 21 (a). Vale destacar que se há diminuição de CDD, então a área tem mais presença de chuvas. Esse índice tem coerência com os dias muito chuvosos (R95p) e com a precipitação total (PRCPTOT) que apresenta um aumento da tendência nesta mesma área. Adicionalmente, é possível relacionar as áreas estudadas com o comportamento dos índices, uma vez que a presença de precipitação mantém úmida a área e permite o crescimento da vegetação. No que se refere aos dias chuvosos consecutivos, há uma diminuição no centro-sul do páramo. É possível notar que não existe uma relação direta com as tendências de dias secos consecutivos, como se nota no Mapa 21 (b).

O centro-sul que tem a maior parte da área conservada e recuperada, segundo Ojeda-Luna et al., (2015. P235), em grande medida, isto deve-se ao facto de as condições edafo-climáticas (terreno acidentado) terem limitado a possibilidade das pessoas criarem gado nas partes mais altas. Isso também limitou o turismo intensivo e o desenvolvimento de atividades extrativistas quase imperceptíveis, como a caça e extração de orquídeas e musgos.

**Tabela 27-** Índices de precipitação - área conservada e recuperada

<b>CDD</b>	<b>CWD</b>	<b>R95p</b>	<b>PRCPTO T</b>	<b>Recuperado e conservado</b>
-0,326	0,057	3,524	13,875	2
-0,047	-0,122	-8,282	-8,969	2
-0,865	-0,039	-5,033	-7,619	2
0,118	-0,145	-12,776	-24,492	2
0,312	-0,121	4,952	5,512	2
-0,430	0,724	-9,983	-10,878	2
0,626	0,175	-3,267	-5,262	2
0,209	0,119	-2,930	-3,634	2
-0,045	0,061	-0,054	13,729	4
0,425	-0,015	-3,226	4,055	4
0,038	0,022	-2,935	7,335	4
-0,616	-0,236	-13,735	-6,164	4
0,325	-0,106	2,359	4,332	4
0,379	-0,050	1,562	-0,342	4
-0,208	0,564	-8,131	-11,168	4
0,815	0,244	-3,447	-3,012	4



a- Dias secos consecutivos (CDD), b- dias chuvosos consecutivos (CDW), c- dias muito chuvosos (R95p), d- precipitação total (PRCPTOT) e sobreposição da camada da área recuperada e conservada.

**Mapa 21-** índices de precipitação - área recuperada e conservada

Para as áreas em transição foram obtidos 6 pontos da camada (Tabela 28). Esta área representa 79945,2 ha (799,4 Km<sup>2</sup>) e se refere à superfície que anteriormente exercia alguma atividade agrícola, e mudou para a pastagem e vice-versa, além da atividade agrícola por áreas povoadas (Tabela 12). A Tabela 28 registra os valores das tendências dos índices de temperatura em relação às áreas em transição. Apesar de ser notada uma pequena quantidade de pontos, as áreas em transição estão distribuídas em quase toda a área de estudo (Mapa 22). Adicionalmente, é possível notar que na média da temperatura máxima (TMAX) e os dias quentes (Tx90p) apresentam tendências negativas. No entanto, o índice da média da temperatura mínima (TMIN) e noites quentes (Tn90p) aumentou a ocorrência nesta área.

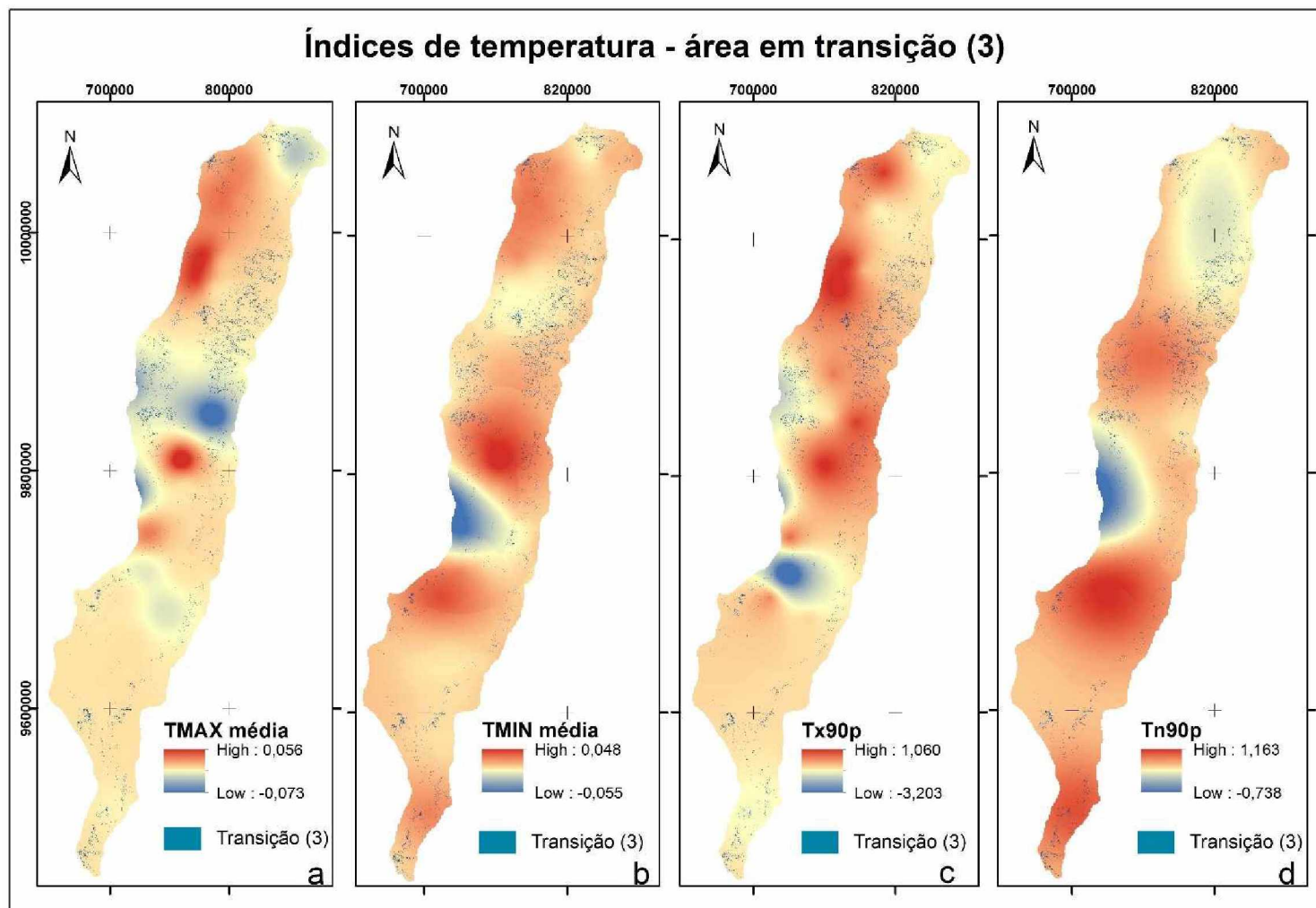
**Tabela 28-** Índices de temperatura - área em transição

<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>	<b>Tx90p</b>	<b>TN90p</b>	<b>Transição</b>
-0,001	0,019	-0,426	0,932	3
-0,015	-0,004	-0,573	-0,447	3
-0,005	0,036	0,134	0,443	3
-0,018	0,017	-0,286	0,651	3
0,022	0,026	0,138	0,423	3
-0,001	0,008	-0,254	0,309	3

Na Tabela 29 se registram os valores das tendências de precipitação nas áreas de transição. É possível notar que a maior quantidade de dados, mostra diminuição nas tendências em todos os índices de precipitação. Cabe ressaltar que nos dias muito chuvosos (R95p) pode se observar as tendências positivas no Mapa 23 (c). O Mapa 23 (a) ilustra também o aumento dos dias secos consecutivos no centro norte da região, lugar onde se observa a maior concentração das áreas em transição. Esse resultado tem concordância com o apresentado no O Mapa 23 (d), onde se registra tendências de diminuição na precipitação total (PRCPTOT).

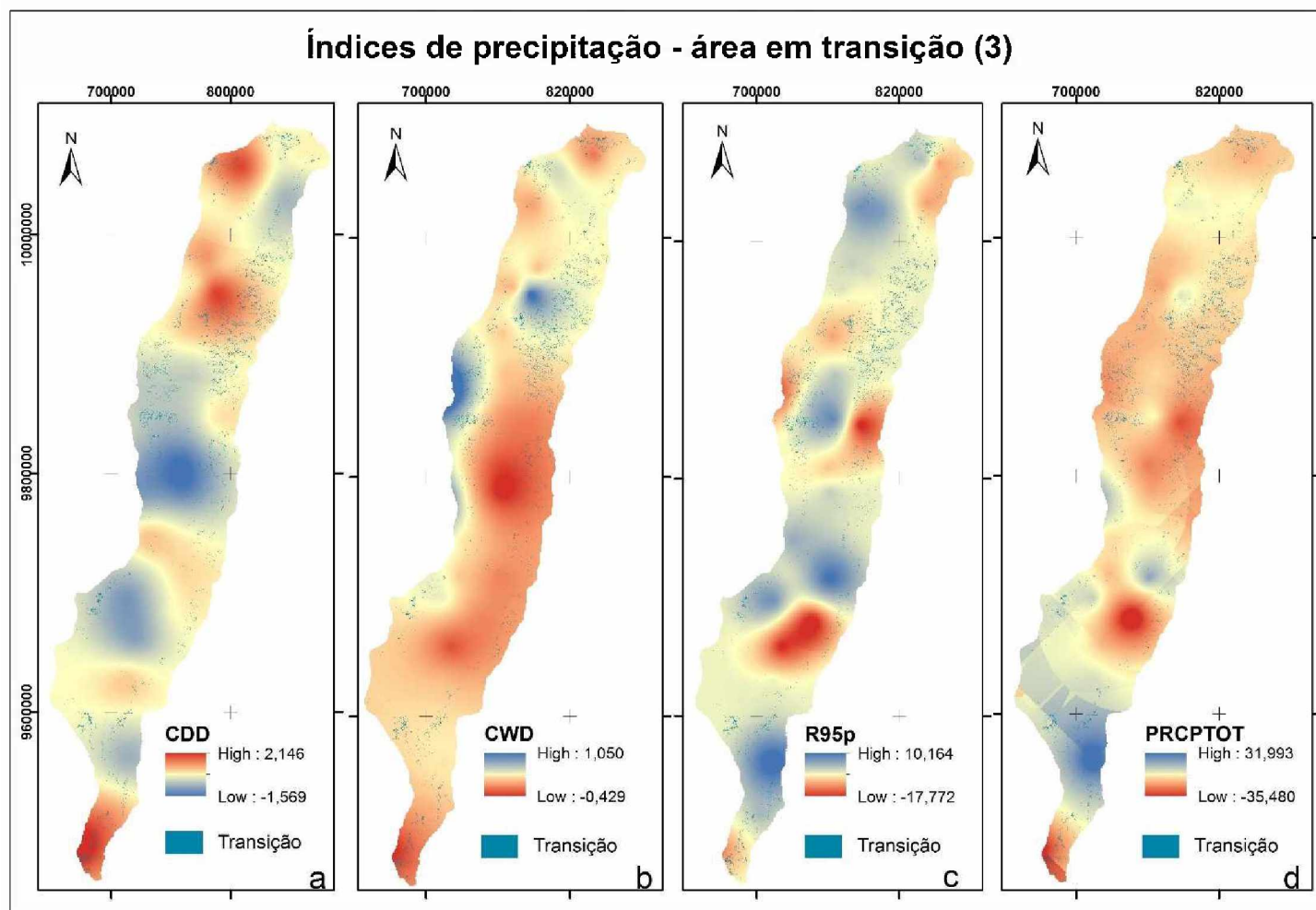
**Tabela 29-** Índices de precipitação - área em transição

<b>CDD</b>	<b>CWD</b>	<b>R95p</b>	<b>PRCPTOT</b>	<b>Transição</b>
1,344	-0,150	-2,992	-5,986	3
-0,931	0,196	-3,866	1,304	3
-0,757	-0,102	0,064	-6,386	3
-0,429	0,049	2,327	-5,281	3
0,273	-0,003	1,921	-1,105	3
-0,325	0,105	-7,170	-2,893	3



a- Média da temperatura máxima (Média de TMAX), b- Média da temperatura mínima (Média de TMIN), c- dias quentes (Tx90p), d- noites quentes (Tn90p) e sobreposição de camada da área em transição

**Mapa 22-** índices de temperatura - área em transição



a- Dias secos consecutivos (CDD), b- dias chuvosos consecutivos (CDW), c- dias muito chuvosos (R95p), d- precipitação total (PRCPTOT) e sobreposição da camada área em transição.

**Mapa 23-** índices de precipitação - área em transição

Os resultados reforçam a hipótese de que existem áreas degradadas em relação às coberturas naturais, pela ocorrência de atividades antrópicas. Como foi descrito antes, o incremento da população gerou uma alta demanda pelos recursos naturais oferecidos por este ecossistema, além da necessidade de espaço para a construção de moradias. Vale destacar que na pesquisa de informação para analisar os resultados obtidos neste estudo, se encontrou que existem instituições que estão trabalhando para a conservação e recuperação das áreas degradadas, pela grande importância das mesmas no abastecimento da água para a população. Também, cabe ressaltar que nesta pesquisa foi encontrado um incremento de 13,8% na vegetação natural e a maior classe que mudou para vegetação foi a terra de cultivo, então é possível notar que após a implementação do sistema de compensação e aquisição de terras para conservação está apresentando resultados positivos.

Além disso, também pode-se perceber que existe um aumento considerável nas atividades pecuárias. Isso pode ser considerado como um perigo importante na perda da característica hidro reguladora do solo do páramo. Enquanto à quantidade de corpos de água no páramo se evidenciou um incremento. Deve-se levar em conta que este resultado também é devido às atividades antropogênicas, pela construção de várias usinas hidrelétricas.

No que se refere à análise dos índices de extremos para a temperatura, o estudo sugere um aumento desta variável quase em toda a área de estudo, embora sejam poucas as estações que apresentam significância estatística. Destaca-se um aumento da ocorrência de dias e noites (Tx90p-Tn90p) quentes. Pode-se dizer que o aumento da temperatura é causado pelo efeito de ilha de calor. A mudança no uso do solo, a perda de vegetação arbórea e a influência da morfologia urbana, (CUBILLO et al., 2020). A substituição da cobertura vegetal por alcatrão, asfalto, concreto e cimento está levando ao aumento das temperaturas superficiais. Entretanto, a temperatura média máxima e mínima (TMAX -TMIN) mostra três e duas estações respectivamente com tendência de diminuição. Além disso, os índices extremos de precipitação mostraram-se muito variados, predominando a diminuição. No entanto, a significância estatística só é registrada em seis estações da área de estudo. É provável que uma das causas das variações de precipitação, tenham uma pequena relação com os fenômenos de El Niño e La Niña.

Se esperava uma relação direta entre as mudanças de uso do solo e cobertura vegetal e a ocorrência de eventos climáticos extremos. Porém, vale destacar que foram encontradas pequenas relações como foi para as áreas conservadas e recuperadas, onde a média da

temperatura máxima e mínima (TMAX -TMIN) mostrou uma variação mínima, o que pode ser considerada uma evidência de que estas áreas têm maior estabilidade nas condições climáticas.

## 9. CONCLUSÕES

Há claramente um processo de desmatamento e uso intensivo do solo na área do páramo, principalmente no centro-norte. O resultado afirma a existência do avanço da fronteira agrícola que foi nomeado por Camacho, (2013). As classes que mais apresentaram mudança foram a vegetação natural, passando de 57,5% em 1998 a 34,8% em 2015; e a pastagem, de 2,6 a 23,2%, no mesmo período. A diminuição da superfície de vegetação foi devido ao fato que essa área é usada como terra de cultivo, como pastagem e outra porcentagem foi erodida. Cabe ressaltar que nessa área também ocorreram incêndios severos e é provável que a erosão seja por aqueles eventos. No entanto, existem solos que foram recuperados devido aos programas de proteção das fontes hídricas que para o ano 2022 estão trabalhando com mais força.

A diminuição da superfície da categoria geleiras é perceptível, e confirma os estudos feitos nas geleiras do Equador (CÁCERES, 2019), onde foi encontrada uma perda considerável dessa área. Um resultado que chamou muito a atenção foi o incremento dos corpos de água de um 0,09% a 0,21% no ano 2015. Mas, o resultado foi conferido devido à construção de barragens para a geração de energia elétrica, que está espalhada no centro norte da região.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem monitorar a dinâmica da mudança e fornece informações importantes sobre as atividades desenvolvidas no páramo. Com esta informação se pode observar que o ordenamento territorial do zoneamento não é suficiente para conter a pressão extrativista dos recursos da zona de grande importância. Por fim, a cartografia derivada da análise da intensidade da mudança é uma contribuição para a tomada de decisão quanto à gestão do páramo.

Inúmeros trabalhos encontrados na literatura confirmam a presença das mudanças climáticas nas últimas décadas. O relatório de IPCC, (2019) apresenta que a maioria dos modelos climáticos projetam para o futuro possíveis mudanças nos extremos climáticos, tais como ondas de calor, chuvas intensas, secas ou inundações. Assim, esse trabalho contribui nessa temática através da análise de indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação sobre a área do páramo, fazendo a análise da tendência de índices, no período 1998-2015, com a análise dos dados observados e fornecidos pelo INAMHI.

Os índices analisados foram TMAX média (média da temperatura máxima), TMIN média (média da temperatura mínima), TX90p (dias quentes), TN90p (noites quentes), CDD (dias secos consecutivos), CWD (dias chuvosos consecutivos), R95p (dias muito chuvosos). Assim, comparando as tendências, pode-se notar que as séries dos índices de precipitação são mais ou menos concordantes entre si, sendo que, existe uma diminuição da precipitação total (PRECPTOT) e os dias chuvosos consecutivos (CWD), no entanto, a variação difere no índice de precipitação total no norte e os dias chuvosos consecutivos no sul da área de estudo. Tanto para os índices de temperatura quanto para os índices de precipitação, percebe-se que a variabilidade nas tendências observada não apresenta um padrão bem determinado.

Quanto à análise de tendência dos índices de temperatura, configura-se que, de uma maneira geral, os resultados são coerentes mesmo apresentando tendências negativas, é possível ver que existe um aumento de temperatura com significâncias estatísticas principalmente na zona do sul do páramo, nos índices da média de temperatura mínima (TMIN Média) e as noites quentes (Tn90p). Também se pode notar, tanto para média de temperatura máxima (TMAX média) e dias quentes (Tx90p) existe maior variabilidade nas tendências, mas são coerentes entre as mesmas. Cabe ressaltar que os valores de tendência encontrados em sua maioria não são estatisticamente positivos. Em geral, os mapas dos resultados de cada índice indicam uma tendência de maior aquecimento (aumento de noites e dias quentes).

Os dados obtidos dos índices de precipitação e temperatura foram analisados em forma conjunta com os gerados das análises da mudança de uso de solo e cobertura vegetal. Foi importante encontrar algum tipo de relacionamento entre o comportamento nas tendências climáticas e a cobertura vegetal ao longo do período de estudo (1998-2015). No entanto, não foi observado um padrão direto. Assim, cabe ressaltar que há índices com tendências coerentes ao indicador (sem mudança, degradada, conservada, recuperada). Percebe-se que nas áreas que não apresentaram mudanças a média da temperatura (TMAX média) mostra só pequenas variações de tendências positivas. Também acontecem comportamentos semelhantes com os outros índices de temperatura, mas é mais leve. No que se refere aos índices de precipitação, no mesmo indicador, vê-se que apresentam tendência muito variadas, só nos índices de dias chuvosos consecutivos (CWD), dias muito chuvosos (R95p) e precipitação total (PRCPTOT), tem uma leve tendência de aumento no norte, onde se encontra também a maior área degradada.

No que se refere à análise das áreas degradadas em comparação com as tendências de temperatura, a média da temperatura mínima (TMIN) e as noites quentes (TN90p) mostram



uma forte tendência positiva. Não se pode estabelecer um relançamento detalhado porque a área degradada está distribuída em todo o Páramo. Cabe ressaltar que os índices da média da temperatura máxima (TMAX), média da temperatura mínima (TMIN) e os dias quentes (Tx90p) apresentam um incremento no centro-norte da área estudada. Quanto à tendência de precipitação para o mesmo indicador, as tendências mostram grande variação. Mas na precipitação total (PRCPTOT) é clara uma diminuição no centro-norte e esse índice tem coerência com os dias chuvosos consecutivos (CDW) na qual também se observa diminuição no centro-sul do Páramo.

Para o caso das áreas conservadas e recuperadas decidiu-se fazer uma análise conjunta porque se esperava comportamento semelhante nas tendências, do mesmo jeito que nas análises anteriores não se encontrou um padrão definido, mas os dados dos índices de temperatura apresentam uma diminuição geral dos dias quentes (T90x) nesta área. Também, se observa uma tendência positiva leve na média da temperatura mínima (TMIN), e em consequência as noites quentes (Tn90p). Percebe-se que as áreas conservadas e recuperadas têm maior presença no centro-sul do páramo, onde os índices de média da temperatura máxima (TMAX), média da temperatura mínima (TMIN), e os dias quentes (Tx90p) são consideravelmente menores.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, A. QUEGAN, Sh. Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. **Applied Mathematical Sciences**, v. 6, n. 129, p. 6425-6436, 2012.

ARIAS, H. ZAMORA, R; BOLAÑOS, Ch. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, RapidEye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 53, p. 39-59, 2014.

<https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>

BELTRÁN, K. SALGADO, S. CUESTA, F. LEÓN-YÁNEZ, S. ROMOLEROUX, K. ORTIZ, E. CÁRDENAS, A. VELÁSTEGUI, A. Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. **EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito**, 2009. p. 14-150.

BUYTAERT, W. CÉLLERI, R. DE BIÈVRE, B. CISNEROS, F. WYSEURE, G. DECKERS, J. & HOFSTEDÉ, R. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. **Earth-Science Reviews**, v. 79, n. 1-2, p. 53-72, 2006.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>

BUYTAERT, W. DE BIÈVRE, B. WYSEURE, G. & DECKERS, J. The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of changes in land use on the hydrology of catchments in the Andes. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 8, n. 1, p. 108-114, 2004.

<https://doi.org/10.5194/hess-8-108-2004>

CÁCERES, B. Ecuador está perdiendo sus nevados, Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), United Nations Development Programme (2019). Disponible em: <https://bit.ly/3Icbo5I>. Acceso día 11/01/2022.

CAMACHO, M. Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. In: **Revista Anuales**. 2014. p. 77-92.

<https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>

CHAFLA, P. CERÓN, P. Pago por servicios ambientales en el sector del agua: el Fondo para la Protección de Agua. **Tecnología y ciencias del agua**, v. 7, n. 6, p. 25-40, 2016.

CHARCHALAC S. Experiencias en compensación por servicios ambientales en América Latina (PSA o REDD+): Descripción de casos relevantes. 2012.

CHAVEZ, J. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.24, p. 459-479, 1988

[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)

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 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3ps5pmf>. Acesso dia 18/11/2021.

DA SILVA, D. JÚNIOR, J. DE MORAIS DANTAS, N. Visualização de Imagens de 16 bits da Câmera ADS-80 em 8 bits. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2015

DA SILVA DIAS, M. Eventos climáticos extremos. Revista usp, 2014, no 103, p. 33-40.

<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40>

DE CARVALHO, J. NAKAI, A. DE OLIVEIRA, A. & 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.

DE LA TORRE, L. GÓMEZ, C. ORDÓÑEZ, FERNÁNDEZ, M. LOPEZ M. Agricultural and Settlement Frontiers in the Tropical Andes: The Paramo Belt of Northern Ecuador, 1960-1990. **Bulletin de l'Institut français d'études andines**, n. 34 (2), p. 256-259, 2005.

<https://doi.org/10.4000/bifea.5553>

FERNÁNDEZ, M. LÓPEZ M. Agricultural and Settlement Frontiers in the Tropical Andes: The Paramo Belt of Northern Ecuador, 1960-1990. **Bulletin de l'Institut français d'études andines**, n. 34 (2), p. 256-259, 2005.

<https://doi.org/10.4000/bifea.5553>

FERREIRA, J. PATINO, C. O que realmente significa o valor-p? **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 41, p. 485-485, 2015.

<https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000000215>

FRANCO, W. PEÑAFIEL, M. CERÓN, C. & FREIRE, E. (2016). Biodiversidad productiva y asociada en el Valle Interandino Norte del Ecuador. Disponível em: <https://bit.ly/3hcyzB4>. Acesso dia 20/11/2021.

GARCÍA, L. SCHLATTER J. Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 456-464, 2012.

<https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>

GUIJARRO PASTOR, J. Climatol: software libre para la depuración Y homogeneización de datos climatológicos. In: GARCIA CODRON, J. C.; DIEGO LIAÑO, C.; FDEZ DE ARRÓYABE HERNÁEZ, P. GARMENDIA PEDRAJA, C.; RASILLA ÁLVAREZ, D. (Ed.). El clima entre el mar y la montaña. Asociación Española de climatología y Universidad de Cantabria, 2004. 40 p. (Serie A, n. 4).

- GUTIÉRREZ, P. **Estudio de paja como indicador de la historia de las quemas recientes en los páramos de la Reserva Ecológica El Ángel, Carchi-Ecuador**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. PUCE
- HIDALGO-PROAÑO, M. Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. **CienciAmérica**, v. 6, n. 2, p. 42-47, 2017.
- HILDAHL, k. RODRÍGUEZ, M. ARMERO-ESTRADA, M. TRUJILLO, M. VAN DER HAMMEN, M. SÁNCHEZ, D. PÉREZ, C. PILCO, P. POATS, S. AGUIRRE, D. Mujeres de los páramos. Experiencias de adaptación al cambio climático y conservación en Colombia, Ecuador y Perú. UICN, Quito, Ecuador, 2017.
- HOFSTEDDE, R. COPPUS, R. MENA P. SEGARRA, P. WOLF, J. SEVINK. (b) The conservation status of tussock grass páramo in Ecuador. **Ecotropicos**, v. 15, n. 1, p. 3-18, 2002.
- HOFSTEDDE, R. CALLES, J. LÓPEZ, V. POLANCO, R. TORRES, F. ULLOA, J., VÁSQUEZ, A., CERRA, M. (a) **Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo**. UICN, Quito, Ecuador, 2014
- ISCH, E. **El cambio climático y la gestión de páramos**. Quito-Ecuador, 2012. Disponible em: <https://bit.ly/3v0Fy8o>. Acesso dia 18/11/2021.
- IUCN, PARAMOS: **Enhancing capacities and coordination to cope with climate change effects, 2010**. Disponible em: <https://bit.ly/3BCwBn9>. Acesso dia 20/11/2021.
- JARRIN F. Análisis de Índices Climáticos a partir de Datos Instrumentales Meteorológicos para Determinación de Cambio Climático en las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí (**tesis de posgrado**). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 2016.
- KARL, T. NICHOLLS, N., GHAZI, A. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. In: **Weather and climate extremes**. Springer, Dordrecht, 1999. p. 3-7
- [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2)
- LANDIS, J. KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p.159-179, 1977. Disponible em: <http://www.jstor.org/stable/2529310> . Acesso dia 5/12/2021
- LLAMBÍ, L. SOTO, A. CELLERI, R. DE BIEVRE, B. OCHOA, B. BORJA, P. ANDINOS, Páramos. *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Ecuador. Pág. 238, 2012, vol. 239.
- LUDEÑA, C; WILK, D; DEEB, A. Ecuador: Mitigación y adaptación al cambio climático. Marco de la Preparación de la Estrategia, 2012, vol. 2017.
- MA, Z.; REDMOND, R. L. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n.4, p. 453-9, 1995.

MAE-MAGAP. Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013–2014, escala 1: 100.000. Ministerio del Ambiente (MAE), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2015.

MAG, Mapa De Órdenes De Suelos Del Ecuador Memoria Explicativa. Disponível em: <https://bit.ly/3p0n8R9>. Acesso dia 30/11/2021

MARINHO, P. SOUSA, R. MEDEIROS, P. VIOLA, M. GIONGO, M. Classificação de imagem orbital pelo método máxima verossimilhança em Sucupira–TO. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, p. 115-124, 2017.

[https://doi.org/10.18677/Agrarian\\_Academy\\_2017a11](https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2017a11)

MELLO, C. LIMA, J. SILVA, A. MELLO, J. OLIVEIRA, M. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500017>

MENA VÁSCONEZ, P. MEDINA Y R. HOFSTEDE (EDS). **Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Proyecto Páramo**. Quito, 2001.

MORALES-BETANCOURT, J. ESTÉVEZ-VARÓN, J. El páramo: ¿ ecosistema en vía de extinción?. **Revista Luna Azul (On Line)**, v. 22, p. 1 de 13-1 de 13, 2006.

MENA VÁSCONEZ, P. CASTILLO, S. FLORES, R. HOFSTEDE, C. JOSSE, S. LASSO, G. MEDINA, N. OCHOA Y D. ORTIZ (Eds.). Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. **EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA**. Quito, 2011. Disponível em: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56328.pdf>. Acesso dia 30/11/2021

MOROCHO, C. CHUNCHO, G. Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. **Bosques Latitud Cero**, v. 9, n. 2, p. 71-83, 2019.

OJEDA-LUNA, T. AGUIRRE, N. ALULIMA A. CAJAMARCA, P. AGUIRRE-MENDOZA, Z. Estado de conservación del páramo de Cajanuma, Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Universidad Nacional de Loja, Loja, p. 43-63, 2015.

PINTO, E. El Niño, La Niña, ENSO, ENOS, El Niño Modoki, El Niño Canónico, El Niño Extraordinario, El Niño Godzilla, El Niño Costero, El Niño Oriental, ¿ En qué consisten realmente y cómo afectan al Ecuador, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3sUCOXC>. Acesso dia 30/11/2021

PONTIUS J. SHUSAS, E. MCEACHERN, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 101, n. 2-3, p. 251-268, 2004.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>

PODWOJEWSKI, P. POULENARD, J. Los suelos de los páramos del Ecuador. 2000.

Disponível em: <https://bit.ly/3sZs8Xq>. Acesso dia 30/11/2021

RHON DÁVILA, F. PÁSTOR PAZMIÑO, C. 50 años de reforma agraria: cuestiones pendientes y miradas alternativas. 2016.

ROSETE-VERGÉS, F. A., PÉREZ-DAMIÁN, J. L., VILLALOBOS-DELGADO, M., NAVARRO-SALAS, E. N., SALINAS-CHÁVEZ, E., & REMOND-NOA, R. El avance de la deforestación en México 1976-2007. **Madera y bosques**, v. 20, n. 1, p. 21-35, 2014.

<https://doi.org/10.21829/myb.2014.201173>

SALTOS CÉLLERI, M. **Valoración económica alternativa del recurso agua en la microcuenca Oyacachi del sistema de optimización Papallacta**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Pontificia Universidad Católica del Ecuador–PUCE.

SAMANIEGO-ROJAS, NATALIA ET AL. Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. Cambio climático y biodiversidad: estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. **Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Universidad Nacional de Loja**, Loja, p. 43-63, 2015.

SHUKLA, PRIYADARSHI R. et al. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019.

SOARES, V. ZANETI, L. SANTOS, N. LEITE, H. Análise espacial da distribuição de cigarras (Quesada gigas Oliver) em povoamentos de paricá (Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu, PA. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.251-258, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200008>

SUQUILANDA, M. **Producción orgánica de cultivos andinos. Ecuador**: UNOCANC, 2011.

TOTAITIVE, I. El páramo: aula abierta para el aprendizaje de las ciencias naturales. **Educación y ciencia**, n. 14, p. 1-1, 2011.

VÁSCONEZ, P; MEDINA, G; HOFSTEDE, R. Los Páramos del Ecuador. **Botánica económica de los Andes Centrales**, v. 2006, p. 91-109, 2001.

VÁZQUEZ, J. **Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México**. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Mexico, DF, México, 2010.

VÉLEZ, Geovanny Antonio Paladines et al. Fenómeno del Niño historia y perspectivas. **Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca**, v. 33, n. 3, p. 100-109, 2015.

VILLACÍS B., CARRILLO D. País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador. **Edición especial revista Analitika**. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Quito – Ecuador. 2012

VUILLE, M., BRADLEY, R., & KEIMIG, F. Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. **Journal of climate**, v. 13, n. 14, p. 2520-2535, 2000.

[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2)

ZAPATA-RÍOS, Xavier et al. Spatiotemporal patterns of burned areas, fire drivers, and fire probability across the equatorial Andes. **Journal of Mountain Science**, v. 18, n. 4, p. 952-972, 2021.

<https://doi.org/10.1007/s11629-020-6402-y>

ZHANG, X., & YANG, F. RCLimDex (1.0) user manual. **Climate Research Branch Environment Canada**, 22. 2004.

## 11. ANEXOS

### Anexo 1. Índices de precipitação

**Tabela 30.** Tendências dos índices de precipitação

Latitude	Longitude	Código	Nome da estação	CDD	CWD	R95P	PRCPTOT
-1,98	-79,06	M0130	Chillanes	-0,979	0,776	-1,908	19,636
0,63	-77,94	M0102	El Angel	0,029	-0,189	0,932	-9,463
0,60	-77,82	M0103	San Gabriel	0,178	0,040	-9,219	-8,268
-1,72	-78,66	M0133	Guaslan	-1,521**	-0,297*	-6,901*	-14,946*
-2,28	-78,92	M0136	Chunchi	0,548	0,066	2,633	-4,502
-1,91	-78,64	M0395	Cebadas	-1,414	-0,433	-0,229	-10,803
-1,02	-78,59	M0004	Rumipamba-Salcedo	-0,342	-0,015	0,517	-4,015

-1,13	-79,08	M0123	El Corazón	-0,423	1,564*	-16,703	-16,608
-0,72	-78,63	M0371	Pastocalle	0,561	0,011	-9,172	-8,729
0,24	-78,25	M0105	Otavalo	0,429	0,065	3,960	1,484
0,52	-78,21	M0107	Cahuasqui-Fao	1,528	0,233	-1,158	-4,484
0,30	-77,91	M0324	S. Francisco de Sigsipamba	-0,604	0,107	-9,445	0,372
0,26	-78,40	M0001	Inguincho	0,233	-0,089	4,817	2,250
-0,23	-78,37	M0002	La Tola	0,536	-0,010	-0,918	-5,346
-0,37	-78,55	M0003	Izobamba	0,411	-0,032	-1,476	-11,188
-0,17	-78,48	M0024	Quito Inamhi-lñaquito	0,921	0,115	-0,192	-8,067
-0,43	-78,42	M0353	Rumipamba-Pichincha	1,556	0,706	-3,532	3,864
-1,39	-78,42	M0029	Baños	0,275	-0,172	-16,481	-21,322
-1,35	-78,62	M0128	Pedro Fermin Cevallos	-0,371	-0,126	5,333	0,741
-2,55	-78,95	M0031	Cañar	-0,215	0,001	-1,486	-8,352
-2,73	-79,07	M0141	El Labrado	-0,999**	0,152	4,885	7,372
-2,88	-78,78	M0139	Gualaceo	-0,041	-0,154	-17,821**	-35,904*
-4,37	-79,17	M0147	Yangana	0,896	-0,065	1,466	2,693
-2,57	-78,65	M0410	Rio Mazar-Rivera	0,421	-0,156	8,087	14,743
-3,08	-79,01	M0418	Cumbe	-0,844	-0,288	-16,106**	-7,949
-3,33	-79,07	M0420	Nabon Inamhi	0,455	-0,022	-2,629	4,708
-4,63	-79,47	M0438	Jimbura	2,190	-0,416	-12,056	-30,330
-3,96	-79,07	M0503	S. Francisco-San Ramon	-0,705**	0,060	10,196	32,084*

\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ )

\*\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 99% ( $p \leq 0,01$ )

## Anexo 2. Índices de temperatura

**Tabela 31.** Tendências dos índices de temperatura

Latitude	Longitude	Código	Nome da estação	TMAX média	TMIN média	tx90p	tn90p
-1,98	-79,06	M0130	Chillanes	-0,108*	-0,220*	-2,328	-2,520**
0,63	-77,94	M0102	El Angel	-0,006	-0,102	-0,383	-0,358
0,60	-77,82	M0103	San Gabriel	-0,031	0,055*	-0,355	1,057*
-1,72	-78,66	M0133	Guaslan	0,076	0,160**	0,976**	0,862*
-2,28	-78,92	M0136	Chunchi	0,031	-0,154**	0,527	0,061
-1,02	-78,59	M0004	Rumipamba-Salcedo	-0,007	0,022	0,425	1,410**
-1,13	-79,08	M0123	El Corazón	-0,053	-0,014	-1,100	0,491
0,24	-78,25	M0105	Otavalo	0,020	0,027	-0,354	-0,563
0,52	-78,21	M0107	Cahuasqui-Fao	0,023	0,044	0,844*	0,469
0,26	-78,40	M0001	Inguincho	0,029	0,034*	0,221	0,838**
-0,23	-78,37	M0002	La Tola	0,007	-0,020	-0,007	-0,291*
-0,37	-78,55	M0003	Izobamba	0,047	-0,020	1,070**	0,658
-0,17	-78,48	M0024	Quito Inamhi-lñaquito	0,050	0,066**	0,930**	0,924**
-1,39	-78,42	M0029	Baños	-0,092**	0,023	0,801*	0,192
-1,35	-78,62	M0128	Pedro Fermin Cevallos	-0,033*	0,033*	-0,264	0,360



-2,55	-78,95	M0031	Cañar	-0,013	0,057**	-3,376	1,554**
-2,73	-79,07	M0141	El Labrado	-0,001	0,061**	0,333	1,283**
-2,88	-78,78	M0139	Gualaceo	-0,015	0,020*	-0,171	1,253**
-4,37	-79,17	M0147	Yangana	-0,004	0,044*	-0,472	1,544**

\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ )

\*\* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 99% ( $p \leq 0,01$ )

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**  
**ÁREAS DE DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS**

**ANÁLISE DE MUDANÇAS EM CORPOS D'ÁGUA, USO DA  
TERRA E COBERTURA VEGETAL COM EVENTOS CLIMÁTICOS  
EXTREMOS NO PÁRAMO DO EQUADOR (1998-2015)**

**Daysi Tatiana Andrango Quisaguano**

**Uberlândia – MG**

**2022**

**DAYSY TATIANA ANDRANGO QUISAGUANO**

**ANÁLISE DE MUDANÇAS EM CORPOS D'ÁGUA, USO DA  
TERRA E COBERTURA VEGETAL COM EVENTOS CLIMÁTICOS  
EXTREMOS NO PÁRAMO DO EQUADOR (1998-2015)**

Defesa de dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (PPGGEO/UFU), como requisito parcial a obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de área de dinâmicas territoriais e estudos ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

**Uberlândia – MG**

**2022**