UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL ÁREA GLACIAR DEL NEVADO SANTOCORONADO Y LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO, MOQUEGUA 2019

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. RAFAEL FRANCISCO FLORES ORTEGA

Para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERU

2019

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

Folio Nº 002

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [✓]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Comisión Organizadora Nº 486-2021-UNAM

Fecha: 26/05/2021

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

" RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL ÁREA GLACIAR DEL NEVADO SANTOCORONADO Y LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS DEL ENTORNO, MOQUEGUA 2019"

Bachiller: Rafael Francisco Flores Ortega

Asesor Principal: M.Sc. Juan Luis CCamapaza Aguilar

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [✓]

Con nota: Catorce (14) por lo que; Sí [✓] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 18:05 horas, del 27 de mayo del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

M.Sc. Mario Román Flores Roque
Presidente

Primer Miembro

Segundo Miembro

Rafael Francisco Flores Ortega
Bachiller

Escaneado con CamScanner

Dedico esta tesis a mis padres quienes con ejemplo me enseñaron que nada es imposible. A mis hermanos, por apoyarme y aconsejarme en los momentos difíciles.

A los docentes de la escuela profesional de ingeniera ambiental por creer en mí y siempre animarme a cumplir mis sueños. A todos los que me apoyaron para escribir y concluir mi trabajo de investigación

RAFAEL FRANCISCO FLORES ORTEGA

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar la relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, durante los últimos 28 años, para lo cual fue necesario determinar la existencia de variabilidad climática, mediante el análisis de Vector Regional se completó los datos faltantes por el método Y. Brunet Moret y también se hizo el análisis de tendencia por el método Test no paramétrico de Mann Kendall, todo ello para las cinco estaciones empleadas en dos variables meteorológicas (Precipitación y Temperatura), se utilizó los software HYDRACCESS y TREND para el periodo de 1990 a 2018.

Por otro lado se calculó el área del glaciar a partir de imágenes satelitales, para lo cual se ha procesado el análisis de 18 años, estos son (1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2016 y 2018), la metodología que se utilizó para el cálculo del área Glaciar fue el Índice de normalidad diferenciado de nieve NSDI, el cual fue procesado en el software ARCGIS 10.5. Para determinar la existencia de relación entre la variable de supervisión y la variable asociada, se utilizó el método de coeficiente de correlación r de Pearson, para ello se empleó el software estadístico SPSS.

Como resultado del estudio se puede afirmar que existe una correlación moderadamente significativa entre la variabilidad climática del entorno y el comportamiento dinámico del área glaciar, esto se puede afirmar con un coeficiente de correlación $r = -0.64$ con una confianza de 95 por ciento, lo cual indica que en el periodo de 1990 al 2018 hubo otras variables que también están relacionadas con el comportamiento de la dinámica del área glaciar en el nevado Santocoronado.

Palabras clave: variabilidad climática, glaciares, resiliencia, antrópico, retroceso, balance de masa glaciar.

Abstract

The objective of the investigation was to determine the relationship between the dynamic behavior of the glacial area of the Santocoronado snow-covered mountain and the climatic variations of the environment, during the last 28 years, for which it was necessary to determine the existence of climatic variability, by means of the analysis of Regional Vector the missing data was completed by the Y method. Brunet Moret and the trend analysis was also made by the non-parametric Test method of Mann Kendall, all this for the five stations used in two meteorological variables (Precipitation and Temperature), for the analysis was used the software HYDRACCESS and TREND for the period from 1990 to 2018.

On the other hand, the glacier area has been calculated from satellite images, for which the analysis of nine years has been processed (1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2018, 2016 and 2018). The methodology used to calculate the Glacier area was the Differentiated Snow Normality Index NSDI, which was processed in the ARCGIS 10.5 software. In order to determine the existence of a relationship between the supervision variable and the associated variable, the Pearson correlation coefficient r method was used, using the statistical software SPSS.

As a result of the study it can be affirmed that there is a significant relationship between the climatic variability of the environment and the dynamic behavior of the glacier area, this can be affirmed with a correlation coefficient r= -0.64 with a confidence of 95 percent, which indicates that in the period from 1990 to 2018 there were other variables that are also related to the behavior of the dynamics of the glacier area in the Santocoronado snow-covered mountain.

Keywords: climate variability, glaciers, resilience, anthropic, retreat, glacier mass balance.

Introducción

Los glaciares sostienen el balance del recurso hídrico y climático en las cuencas; aportan agua a los ríos, lagos y napas subterráneas y son reservas estratégicas de agua dulce, pues no sólo aportan a las cuencas hídricas en verano, sino que son fuente de recarga de ríos y napas subterráneas en la estación de verano y en periodos de sequías (Sustentable, 2006). En la actualidad, a costa de la disminución de masa glaciar en los andes, existe mayores volúmenes de agua discurriendo cuenca abajo (ANA, 2014). La capacidad de resiliencia de los glaciares hace frente la amenaza del incremento sostenido de la temperatura a nivel global y los cambios en los patrones de precipitación (CAN, 2013).

La Variabilidad Climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo cortos. Durante un año, se pueden registrar valores por encima o por debajo de lo normal (Montealegre & Pabon, 2000). El cambio climático, atribuido a la acción humana sobre la tierra, prevé importantes cambios en los patrones de precipitación y temperatura hasta ahora conocidos (CAN, 2013). Desde el año 1972 se ha observado una disminución de las precipitaciones sólidas y un aumento en las temperaturas; simultáneamente a ello el retroceso glaciar se acelera, así culminando con una gran parte de los frentes glaciares (Mardones, Aguayo, Smith, & Ruiz, 2018).

Los Andes peruanos contienen el 71% de los glaciares tropicales de Sudamérica, los cuales están distribuidos en 19 cordilleras nevadas divididos en 3 sectores: Norte, Centro y Sur, (ANA, 2014). Sin embargo se ha perdido el 22 % de superficie glaciar en los últimos 35 años, tomando como referencia la superficie glaciar de 1970 equivalente a 1958 km2 y comparado con los últimos registros del año 2006 equivalente a 1370 km2, y con registros actualizados al 2010 equivalente a 1230 km2 de superficie (Arroyo & Artica, 2017).

El nevado Santocoronado forma parte de la cordillera del Volcánica al sur del Perú está ubicado en el límite departamental de Moquegua y Puno, el glaciar aporta agua a dos cuencas, cuenca tambo vertiente del Pacifico y cuenca Ilave vertiente del Titicaca. Para este estudio se utilizó datos meteorológicos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI e imágenes satelitales Landsat, que sirvieron como base para el análisis de tendencia y cálculo de área glaciar.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, mediante la aplicación del sistema de información geográfica SIG, utilizando imágenes satelitales y data meteorológica de precipitación y temperatura. Así mismo, los objetivos específicos consisten en determinar la variabilidad histórica de la precipitación y temperatura, el comportamiento dinámico del área glaciar en el nevado Santocoronado, y el estado dinámico del área glaciar para el año 2030.

Como resultado del estudio se concluye que, existe una relación significativa entre la variabilidad climática del entorno y el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado. Para el periodo 1990 – 2018 existe una tendencia positiva en la precipitación como en la temperatura, el nevado Santocoronado ha ido perdiendo masa glaciar debido a que la capacidad de resiliencia es menor a la variable alterante.

INDICE

Resumen IV

Abstract V

Introducción VI

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO 1

1.1 Descripción de la realidad problemática 1

1.2 Formulación del problema 2

1.3 Antecedentes del estudio 3

1.3.1 A nivel internacional 3

1.3.2 A nivel nacional 4

1.4 Objetivos 5

1.4.1 Objetivo general 5

1.4.2 Objetivo especifico 5

1.5 Justificación e importancia de la investigación 6

1.6 Hipótesis de investigación 8

1.6.1 Hipótesis general 8

1.6.2 Hipótesis especifica 8

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 9

2.1 Bases teóricas 9

2.1.1 Glaciares de los andes tropicales 9

2.1.2 Glaciares e importancia 9

2.1.3 Balance de masa de un glaciar 10

2.1.4 Tipos de glaciares en el Perú 11

2.2 Variabilidad climática 12

2.2.1 El niño oscilación sur (ENOS) 13
2.3 Teledetección 15
2.3.1 Satélite LANDSAT 15
2.3.2 Satélite LANDSAT 5 TM 15
2.3.3 Satélite LANDSAT 8 OLI 16
2.3.4 Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve 17
2.4 Actividad antrópica cerca al nevado Santocoronado 18
2.4.1 Explotación a tajo abierto, Mina Aruntani SAC, proyecto Tucari acumulación Mariela 18
2.5 Conceptos básicos 20
CAPÍTULO III. MÉTODO 21
3.1 Tipo y diseño 21
3.2 Nivel de investigación 21
3.3 Ámbito temporal y espacial 21
3.4 Población y muestra 22
3.4.1 Población 22
3.4.2 Muestra 22
3.5 Procedimiento 22
3.5.1 Recolección de información 22
3.5.2 Procesamiento de información 26
3.6 Análisis de datos 29
3.6.1 Análisis de Variabilidad climática 29
3.6.2 Análisis del comportamiento dinámico del área glaciar 32
3.6.3 Análisis de correlación entre la variabilidad climática y dinámica del área glaciar 41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 48
4.1 Análisis del vector regional 48
4.2 Análisis de Variabilidad climática 51

4.2.1 Análisis de tendencia de la precipitación anual y trimestral 51
4.2.2 Análisis de tendencia de la temperatura máxima anual y trimestral .. 55
4.2.3 Análisis de tendencia de la temperatura media anual y trimestral 60
4.2.4 Análisis de tendencia de la temperatura mínima anual y trimestral ... 64
4.3 Análisis del comportamiento dinámico del área glaciar 69
4.4 Análisis de correlación entre la variabilidad climática y comportamiento dinámico del área glaciar 74
4.4.1 Análisis de correlación entre la variabilidad de la temperatura y la variabilidad de la precipitación anual 1990 – 2018 75
4.4.2 Análisis de correlación entre la variabilidad de precipitación anual y el retroceso del área glaciar calculada periodo 1990 – 2018 78
4.4.3 Análisis de correlación entre la variabilidad de temperatura máxima anual y el retroceso del área glaciar calculada periodo 1990 – 2018 81
4.4.4 Análisis de correlación entre la variabilidad de temperatura media anual y el retroceso del área glaciar 84
4.4.5 Análisis de correlación entre la variabilidad de temperatura mínima anual y el retroceso del área glaciar 88
4.5 Estimación del estado dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado para el año 2030 92
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 101
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES 103
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES 105
CAPÍTULO VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 106
CAPÍTULO IX. ANEXOS 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de Climas del Perú 13
Tabla 2 Fuentes generadoras de gases de efecto invernadero 14
Tabla 3 Bandas Landsat 5 TM 16
Tabla 4 Bandas Landsat 8 OLI 17
Tabla 5 Índices espectrales para el mapeo de cobertura de nieve y hielo mediante imágenes satelitales 18
Tabla 6 Ubicación en coordenadas geográficas del nevado Santocoronado 22
Tabla 7 Lista de estaciones meteorológicas 25
Tabla 8 Descripción de la significancia del test Mann Kendall (significancia a=0.05) 31
Tabla 9 Fechas de adquisición de imágenes Landsat 32
Tabla 10 L-5 calibración dinámica de rangos 34
Tabla 11 TM Irradiancia espectral exoatmosferica 35
Tabla 12 Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas, DOY – día juliano 35
Tabla 13 Variables para calcular la radiancia 37
Tabla 14 TM Irradiancia espectral exoatmosferica 38
Tabla 15 Variables para calcular reflectancia Landsat 8 OLI 38
Tabla 16 Estaciones y datos estadísticos 49
Tabla 17 Estaciones y datos estadísticos 50
Tabla 18 Resultado de análisis de tendencia de precipitación anual para las cinco estaciones 52
Tabla 19 Resultado de análisis de tendencia de Temperatura máxima anual para las cinco estaciones 56
Tabla 20 Resultado de análisis de tendencia de Temperatura Media anual para las cinco estaciones 60
Tabla 21 Resultado de análisis de tendencia de Temperatura mínima anual para las cinco estaciones 65
Tabla 22 Área del Nevado Santocoronado 69
Tabla 23 Precipitación y temperatura media anual 75

Tabla 24 prueba de normalidad Shapiro wilk 76
Tabla 25 Correlación entre la precipitación y temperatura media anual 77
Tabla 26 Prueba de hipótesis de la correlación entre la precipitación anual y la temperatura media 77
Tabla 27 Precipitación anual de la estación Pasto Grande y área glaciar 78
Tabla 28 Prueba de normalidad Shapiro Wilk 79
Tabla 29 Coeficiente de correlación entre la precipitación y el área glaciar 80
Tabla 30 Prueba de hipótesis de la correlación entre la precipitación anual y el área glaciar 80
Tabla 31 Temperatura máxima anual de la estación Pasto Grande y área glaciar 81
Tabla 32 Prueba de normalidad Shapiro Wilk 82
Tabla 33 Coeficiente de correlación entre la Temperatura máxima y el área glaciar 83
Tabla 34 Prueba de hipótesis de la correlación entre la Temperatura máxima anual y el área glaciar 83
Tabla 35 Prueba de hipótesis de la correlación entre la Temperatura máxima anual y el área glaciar 84
Tabla 36 Temperatura media anual de la estación Pasto Grande y área glaciar 85
Tabla 37 Prueba de normalidad Shapiro Wilk 85
Tabla 38 Coeficiente de correlación entre la Temperatura media anual y el área glaciar 86
Tabla 39 Prueba de Hipótesis de la correlación entre la Temperatura media anual y el área glaciar al 95 por ciento. 87
Tabla 40 Prueba de Hipótesis de la correlación entre la Temperatura media anual y el área glaciar al 99 por ciento. 87
Tabla 41 Temperatura mínima anual de la estación Pasto Grande y área glaciar 88
Tabla 42 Prueba de normalidad Shapiro Wilk 89
Tabla 43 Coeficiente de correlación entre la Temperatura mínima y el área glaciar 90
Tabla 44 Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura mínima anual y el área glaciar al 95 por ciento. 90

Tabla 45 Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura mínima anual y el área glaciar al 99 por ciento. 91
Tabla 46 Temperatura media anual periodo 1990 - 2018 92
Tabla 47 Estadísticos descriptivos de la temperatura media vs años 93
Tabla 48 Coeficiente de correlación entre la Temperatura media y los años de 1990 al 2018 94
Tabla 49 Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura media y año s al 95 por ciento 94
Tabla 50 Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura media y año s al 99 por ciento 95
Tabla 51 Regresión lineal de la Temperatura media anua respecto a lo s años y su ecuación. 95
Tabla 52 Cálculo del error típico 96
Tabla 53 Prueba de hipótesis para ajustar el modelo lineal que describe la relaccion entre T° y años al 95 por ciento. 96
Tabla 54 Temperatura media estimada para el año 2030 97
Tabla 55 Datos de temperatura media y área glaciar 97
Tabla 56 Datos estadísticos descriptivos 98
Tabla 57 Regresión lineal de del área glaciar respecto a la Temperatura media a nual y su ecuación. 99
Tabla 58 Cálculo del error típico 99
Tabla 59 Prueba de hipótesis para ajustar el modelo lienal que describe la relación entre la temperatura media y el área glaciar 100
Tabla 60 Área del glaciar estimado para el año 2030 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Balance de masa glaciar 11
Figura 2 Mapa de ubicación y área de la mina Aruntani, proyecto Tucari, acumulación Mariela 19
Figura 3 Mapa de clasificación climática del área de estudio, método Werren Thornwaite 24
Figura 4 Ubicación de estaciones Meteorológicas 26
Figura 5 Valores promedio de reflectancia Landsat 5 TM 36
Figura 6 Valores promedio de reflectancia B2-B5 Landsat 5 TM 36
Figura 7 Valores promedio de reflectancia de las bandas, Landsat 8 OLI 39
Figura 8 Valores promedio de reflectancia B3-B6 Landsat 8 OLI 39
Figura 9 Índices anuales del Vector y las Estaciones para la precipitación 48
Figura 10 Índice anual del vector y las estaciones para la Temperatura 50
Figura 11 Línea de tendencia en la precipitación anua l - estación Carumas ... 52
Figura 12 Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Calacoa 53
Figura 13 Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Mazo Cruz .. 54
Figura 14 Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Pampa Umalzo 54
Figura 15 Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Pasto Grande 55
Figura 16 Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Carumas 57
Figura 17 Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Calacoa 57
Figura 18 Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Mazo Cruz 58
Figura 19 Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Pampa Umalzo 59
Figura 20 Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Pasto Grande 59

Figura 21 Línea de tendencia en la Temperatura Media anual – estación Carumas 61
Figura 22 Línea de tendencia en la Temperatura Media anual – estación Calacoa 62
Figura 23 Línea de tendencia en la Temperatura Media anual - estación Mazo Cruz 62
Figura 24 Línea de tendencia en la Temperatura Media anual - estación Pampa Umalzo 63
Figura 25 Línea de tendencia en la Temperatura Media anual - estación Pasto Grande 64
Figura 26 Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Carumas 65
Figura 27 Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Calacoa 66
Figura 28 Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Mazo Cruz 67
Figura 29 Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Pamp a Umalzo 67
Figura 30 Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Pasto Grande 68
Figura 31 Dinámica del área Glaciar del nevado Santocoronado 70
Figura 32 Comportamiento dinámico del área glaciar 1990, 1992, 1994, 1996 , 1997 y 1998. 71
Figura 33 Comportamiento dinámico del área glaciar 2000 , 2002, 2004, 2006, 2007 y 2008 72
Figura 34 Comportamiento dinámico del área glaciar 2009, 2010, 2011,2014, 2016 y 2018. 73
Figura 35 Diagrama de dispersión de la Temperatura media y precipitación anual 76
Figura 36 Diagrama de dispersión de la variable Precipitación Anual y área glaciar 79
Figura 37 Diagrama de dispersión entre la variable Temperatura máxima y área glaciar 82
Figura 38 Diagrama de dispersión entre la variable Temperatura media y área glaciar 86

Figura 39 Diagrama de dispersión entre la variable Temperatura mínima y área glaciar 89
Figura 40 Diagrama de dispersión entre la temperatura media anual respecto a los años 93
Figura 41 diagrama de dispersión entre la temperatura media anual respecto al área del glaciar 98

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

1.1 Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial la cordillera de los andes es conocido por los imponentes nevados y sus glaciares, considerados como reserva de agua dulce que aportan al caudal en temporadas de estiaje. Los Andes peruanos contienen el 71% de los glaciares tropicales de Sudamérica, los cuales están distribuidos en 19 cordilleras nevadas y divididos en tres sectores: Norte, Centro y Sur. En tal sentido el Perú tiene un gran potencial hídrico en las cuencas hidrográficas (ANA, 2014).

Pero el cambio climático, atribuido a la acción humana sobre la tierra, prevé importantes cambios en los patrones de precipitación y temperatura hasta ahora conocidos. Para la región de América Latina los diversos modelos pronostican que el cambio climático tendrá un fuerte impacto en la dinámica y sostenibilidad de los glaciares y ecosistemas andinos, llegando en el mediano plazo a la pérdida de un gran número de ellos (CAN, 2013).

Por otra parte, por prospección se conoce que los andes peruanos alberga gran cantidad de recursos naturales renovables y no renovables; En las últimas décadas el Perú ha ido concesionando gran parte de los andes peruanos con fines de realizar prácticas extractivas de minerales a tajo abierto, muchas de estas concesiones están ubicas en las faldas de los nevados e inicio de las cuencas y/o en comunidades que a la larga son atacadas y desplazadas, los nevados y cuencas se ven afectados por el proceso de movimiento de materiales y expansión creciente del tajo (Quesada, 2014).

Respecto al área de estudio, se tiene de conocimiento, que la empresa minera Aruntani SAC, ha realizado sus operaciones a tajo abierto cerca del nevado Santocornado ubicada en el límite de región Moquegua y región Puno, las operaciones de la minera Aruntani SAC, se dieron desde el año 2003 hasta el 2011 y ampliando a inicios del 2013 hasta el 2018.

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM[1], con sede principal en la región Ancash, cada año actualiza el inventariado de los glaciares en el Perú, la última actualización del inventariado de glaciares fue en el año 2018; Sin embargo en este inventariado no consideran los glaciares de la cordillera barroso ubicado en la región de Moquegua y de Tacna, quedando así un vacío de información.

Actualmente, no se cuenta con información de las características y la evolución dinámica de los nevados en un periodo determinado, por lo que se desconoce el comportamiento dinámico de los glaciares de la región de Moquegua y más aún del nevado Santocoronado con respecto a la variabilidad climática y/o actividades antrópicas que se hayan desarrollado.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál será la relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, durante los últimos 28 años?

[1] INAIGEM : Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Perú)

1.3 Antecedentes del estudio

1.3.1 A nivel internacional

Mardones et al (2017) **Retroceso glacial reciente en el Campo de Hielo Norte, región de Aysén, Chile: relación con variaciones climáticas;** Se estudiaron las fluctuaciones de siete glaciares del Campo de Hielo Norte y su relación con variaciones climáticas decadales post Pequeña Edad del Hielo, a través de bibliografía, interpretación de documentos cartográficos, fotografías aéreas, imágenes satelitales y levantamiento en terreno. Las variaciones climáticas a escala decadal se obtuvieron de los registros de las estaciones meteorológicas de Puerto Aysén y Balmaceda. Como resultado de la investigación se ha constatado el retroceso generalizado, continuo y sincrónico en ambas laderas del Campo de Hielo, perturbado solo por pequeños avances en las décadas de los 1920s y 1940s; Desde 1972 las precipitaciones disminuyeron y las temperaturas aumentaron; simultáneamente el ritmo del retroceso glacial se ha acelerado, culminando con un colapso de gran parte de los frentes glaciares en la década de los 1990s.

Herrera & Ruiz (2008) **Retroceso glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy, Boyacá - Colombia, 1986-2007;** En el presente artículo, se examinó el retroceso del glaciar tropical en la Sierra Nevada del Cocuy, al noreste de los Andes colombianos, mediante la utilización de tres imágenes de satélite: LANDSAT, TM ý ETM+, órbita 7 fila 56, adquiridas en enero de 1986, 2003 y 2007. Los resultados de la clasificación no supervisada se compararon contra los del índice y, si eran apropiados, recodificados a la clase de nieve. La proporción de retroceso del glaciar fue más del doble para los cuatro años, 2003-2007, comparados con el lapso de 1986-2003. Este estudio exhibió una tendencia lineal en la pérdida del glaciar; si la tendencia para el período 2003-2007 continúa, el glaciar desaparecería en aproximadamente 20 años; Por otro lado, los lagos se harán más comunes y, a la larga, la pérdida de este depósito probablemente impactará los asentamientos humanos e incluso las prácticas agrícolas a más baja altura.

Monterroso et al (2017) **Estimación del retroceso glaciar en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel, Colombia a través de imágenes ópticas y Din-SAR;** Se realizó una cuantificación del retroceso glaciar del Volcán Nevado del Ruiz (VNR), Volcán Nevado de Santa Isabel (VNSI) y el Volcán Nevado del Tolima (VNT), utilizando imágenes satelitales Landsat 8 OLI TIRS. Se calcularon índices espectrales y clasificación supervisada de imágenes para diferenciar el límite entre hielo, se utilizó la técnica DinSAR usando imágenes de Radarsat II, específicamente las imágenes de coherencia. Entre 2010 y 2015 la capa de hielo de los volcanes en estudio ha retrocedido 24%, 42% y 60% respectivamente. Las imágenes de coherencia muestran resultados similares que los obtenidos mediante imágenes ópticas.

1.3.2 A nivel nacional

Medina & Mejía (2014) **Análisis multitemporal y multifractal de la desglaciación de la cordillera parón en los andes del Perú;** El objetivo de este trabajo es cuantificar el volumen glaciar de la Cordillera Parón en los últimos 24 años empleando tanto técnicas multifractales como el Sistema de Información Geográfica para determinar en qué medida los eventos El Niño y La Niña influyen en su desglaciación. Para diferenciar la masa glaciar de otros elementos como nubes, agua, etc., en las imágenes seleccionadas, se utilizó el NDSI o índice de nieve y también el ratio imagen 4/5 en las imágenes binarizadas; La superficie glaciar de la Cordillera Parón se ha reducido en 18% en los últimos 24 años.

Díaz, Sanchez, Lujano, & Lujano (2017). **Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú** El objetivo del estudio fue el análisis multi-temporal entre 1975 y 2015, sobre variaciones de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. Se estimó el área cubierta por glaciares utilizando el método de clasificación supervisada para imagen Landsat 2 e índice de diferencia normalizada de nieve para imágenes Landsat 5 y Landsat 8. En los últimos 40 años, la cobertura glaciar de los nevados Allin Capac y Chichi Capac presenta una reducción del sesentaisiete por ciento, equivalente a una disminución de diecisiete por ciento por década y una tasa promedio de 0.89 km2/año.

Arroyo & Artica (2017) **Retroceso glaciar del Nevado Huaytapallana como consecuencia del calentamiento global;** en este artículo se describe los diferentes métodos y técnicas existentes para el estudio de los glaciares, y también se realizó una comparación de imágenes satelitales del periodo de 1999 al 2010 con el fin de determinar el retroceso del nevado Huaytapallana como consecuencia del calentamiento global. En las comparaciones de imágenes satelitales entre los años 1999 y 2010 se evidencia una pérdida de masa glaciar en el Nevado Huaytapallana; de acuerdo a otros investigadores este proceso es irreversible y constituye un caso más entre los muchos que existen en el Perú.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, durante los últimos 28 años

1.4.2 Objetivo especifico

- Determinar la variabilidad histórica de la precipitación y temperatura de las cinco estaciones próximas al nevado Santocoronado.
- Determinar el comportamiento dinámico del área glaciar en el nevado Santocoronado, durante los últimos 28 años en intervalos de 2 años, a través del análisis de las imágenes satelital Landsat.
- Estimar el estado dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado para el año 2030

1.5 Justificación e importancia de la investigación

Los glaciares y casquetes polares son las principales reservas de agua dulce en nuestro planeta. Por ello, constituyen el principal seguro de las comunidades humanas y los ecosistemas para subsistir, especialmente en el contexto del Calentamiento Global. Los glaciares sostienen el balance del recurso hídrico y climático en las cuencas; aportan agua a los ríos, lagos y napas subterráneas y son reservas estratégicas de agua dulce, pues no sólo aportan a las cuencas hídricas en verano, sino que son fuente de recarga de ríos y napas subterráneas en las cuatro estaciones del año (Sustentable, 2006).

En los andes Peruanos existen 19 cordilleras de las cuales en las últimas 4 décadas, las 19 cordilleras nevadas han experimentado grandes cambios y procesos físicos (recesión, fragmentación y extinción de glaciares) que han provocado la pérdida progresiva de la superficie glaciar total en 42,64% (870,66 km2) (ANA, 2014).

Los glaciares de la cordillera Volcánica y cordillera Barroso, no son ajenas a estos cambios y procesos físicos de recesión y fragmentación ya sea por variabilidad climática o actividades antrópicas.

En las últimas décadas a nivel global y local, las variables meteorológicas han sufrido tendencias positivas y negativas, haciendo atribución al cambio climático; Siendo estas la temperatura, precipitación, humedad, presión atmosférica, dirección y velocidad de viento como las principales.

Sin embargo a nivel Latinoamérica y países como el Perú en vías de desarrollo donde el mayor aporte al PBI es la exportación de materia prima, siendo una de ellas la exportación de minerales como el cobre, oro, zinc entro otros; actualmente hacen que los andes peruanos sea una zona frágil ante la extracción de minerales por la misma potencialidad de contaminación de dichos ecosistemas por la minería a tajo abierto, y más aun a las poblaciones que se encuentran por debajo de la cuenca (Quesada, 2014).

Se tiene conocimiento que en la falda del nevado Santocoronado la empresa Aruntani S.A.C, empresa dedicada a la extracción de minerales; ha iniciado sus operaciones desde el año 2003 hasta el 2011, posterior a ello hizo una ampliación reiniciando en el 2013 hasta el 2018, la cual podría considerarse dentro las tantas variables que pueden aportar en la variación dinámica de los glaciares del nevado Santocoronado, “el proyecto se ubica en las siguientes coordenadas UTM (Datum WGS84 zona 19S) Este: 376849 Norte: 8159434” (BLASCO, 2012); pero para este estudio se ha considerado como variable principal la variabilidad climática del entorno

Por ende, la finalidad del presente proyecto de investigación fue determinar la relación entre comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y variaciones climáticas del entorno en un periodo de 28 años.

Para estimar el comportamiento dinámico del área glaciar se ha utilizado imágenes satelitales, estas fueron procesadas en software ArcGIS 10.5 con el cual se analizó el NDSI (Índice Diferencial Normalizada de Nieve). Y se estimó las variaciones climáticas, a través de análisis de datos mensuales de precipitación, temperatura máxima, temperatura media y temperatura mínima, el completado de datos faltantes se realizó con el método de vector regional con el uso de software Hidrológico Hydraccess.

1.6 Hipótesis de investigación

1.6.1 Hipótesis general

La relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, es significativa

1.6.2 Hipótesis especifica

- La variación de los parámetros climáticos son significativos en las cinco estaciones próximas al nevado Santocoronado

- El análisis multitemporal de las imágenes satelitales de la zona del nevado Santocoronado, permitirá determinar la variabilidad espacial durante los 28 años.

- Para el año 2030, el nevado Santocoronado habrá perdido gran parte de su área glaciar.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Glaciares de los andes tropicales

Los Andes del Perú se presentan en 3 grupos de cordilleras, cordillera occidental, cordillera central y cordillera oriental, estas se extienden desde el extremo norte hacia el sureste, hasta el lago Titicaca. El clima del Perú es regulada por la cordillera dando origen a tres regiones: costa, sierra y selva (Bomshoms, Quispe, & Quispe, 2018)

2.1.2 Glaciares e importancia

Los glaciares son hielos de distintas dimensiones, se forman donde las condiciones climáticas y topográficas son favorables, estas permiten que la nieve acumulada se trasforme en hielo a través del proceso de compresión y perdida del aire (CAN, 2013).

Un glaciar es una masa de hielo, esta se transforma a partir de nieve, granizo o escarcha y se restituye en forma de vapor o forma líquida por evaporación o sublimación. A estas ganancias y pérdidas de masa de hielo se denomina balance de masa de glaciar (Francou & Pouyaud, 2008).

La importancia de los glaciares está asociada a su influencia sobre el sistema hidrológico local y su frágil equilibrio y codependencia con las características climáticas imperantes. Su capacidad de resiliencia enfrenta la amenaza del aumento sostenido de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación (CAN, 2013).

Los glaciares sostienen el balance del recurso hídrico y climático en las cuencas; aportan agua a los ríos, lagos y napas subterráneas y son reservas estratégicas de agua dulce, pues no sólo aportan a las cuencas hídricas en verano, sino que son fuente de recarga de ríos y napas subterráneas en la estación de verano y en periodos de estiaje (Sustentable, 2006).

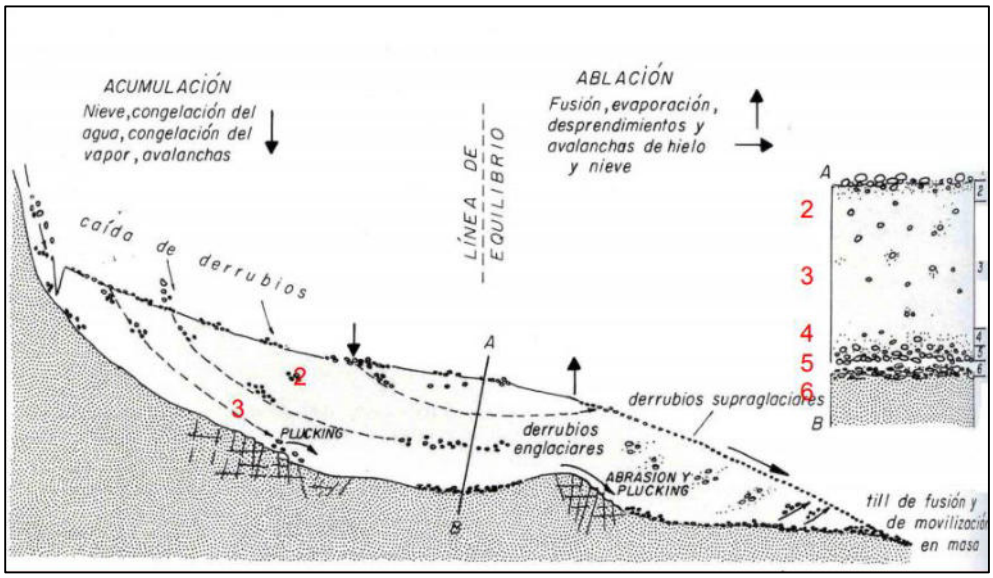
Los glaciares son masas de hielo existentes en montañas de gran altura o en regiones frías, el proceso de acumulación, compactación y cristalización de la nieve dan origen al glaciar. La mayoría de los glaciares se ubican cerca de los polos o en regiones montañosas. “El 10 por ciento de la tierra es cubierta por glaciares, estas contienen más del 75 por ciento de agua dulce”, Knight, Peter G. (1999) Citado por (Sustentable, 2006).

2.1.3 Balance de masa de un glaciar

Los glaciares de montaña son calificados como centinelas del clima, debido a su alta sensibilidad a los cambios climáticos, básicamente por dos razones, la primera se da por la acumulación de hielo, formadas por la precipitación sólida, la segunda razón se da por el proceso de ablación, los glaciares pierden masa de nieve y hielo; haciendo que el glaciar tenga variaciones de un año para otro (Francou, 2013).

La suma de la acumulación y la ablación en un lapso de tiempo dado hace que el glaciar sea concebido como “sistema” o flujo de caja, donde la acumulación representa una entrada o ganancia de masa y será representada con un signo positivo. Por el contrario, la ablación representa la salida de flujo del sistema, o pérdida de masa, y será representada con un signo negativo (Rivera, Bown, Napoleoni, Muñoz, & Vuille, 2016).

Figura 1 *Balance de masa glaciar*



Fuente: *(Sustentable, 2006)*

2.1.4 Tipos de glaciares en el Perú

Los glaciares peruanos tiene formas especiales, esto se debe a la posición geográfica y al clima de la zona, de acuerdo a la posición geográfica los glaciares son considerados de tipo ecuatorial, el clima de la región hace que exista ablación en estos (INAIGEM, 2017).

Bajo este contexto se las puede clasificar como:

a. Glaciares colgados: grandes bloques de hielo y nieve formados por la acumulación de varios años, generalmente están adheridos a paredes rocosas, tiene una alta probabilidad de desprendimiento a debido a la dinámica del glaciar, cambios atmosféricos, como el aumento de la temperatura (INAIGEM, 2017).

b. Glaciares muertos: El glaciar tiene una ligera diferencia de dos capas, la primera capa corresponde a la morrena de fondo constituida por piedras angulosas, la segunda capa constituida generalmente por cantos rodados corresponde a la morrena de ablación (INAIGEM, 2017).

c. Glaciares reconstituidos: Son glaciares que no tiene una fuente de alimentación, formados generalmente por el desprendimiento de bloques de hielo de glaciares colgados (INAIGEM, 2017).

2.2 Variabilidad climática

La variabilidad climática, son la variaciones de condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales, la variabilidad climática es manifestada por fenómenos naturales como el evento cálido del El Niño y su contraparte fría, La Niña, conocidos como El niño Oscilación Sur – ENSO, (Carvajal y Ordoñez, 2008) citado por (Quintero, Escobar, & Aldunce, 2012).

La variabilidad climática, se representa en las fluctuaciones del clima durante periodos de tiempo corto, en un año se pueden registrar valores por encima o por debajo de lo normal, el valor normal generalmente se representa por el valor promedio de una serie continua, la diferencia entre el valor registrado y su promedio se le conoce como anomalía (Montealegre & Pabon, 2000).

Los valores de la variables meteorológicas como precipitación, temperatura y otros, que fluctúan por encima o por debajo del promedio, se conoce como variabilidad climática, y la valoración se efectúa mediante la determinación de las anomalías (Montealegre & Pabon, 2000).

Sin embargo los glaciares no solo están amenazadas por los cambios climáticos asociados al calentamiento global, sino también por actividades humanas que intervienen directamente los glaciares (Larraín, 2007).

2.2.1 El niño oscilación sur (ENOS)

Se denomina fenómeno El Niño a la presencia de aguas anormalmente cálidas en la costa occidental de Suramérica por un período mayor a tres meses continuos. Actualmente se le considera un fenómeno aperiódico y de grandes repercusiones socioeconómicas en el mundo. El fenómeno El Niño es la causa principal de la variabilidad climática que se suicita en la zona tropical (Montealegre & Pabon, 2000).

a. Características climáticas del Perú

En el Perú las características climáticas son típicas por la extensión y relieve topográfico, la descripción exacta del clima se logra mediante la expresión gráfica, lo mismo que se utilizó para formular los índices climáticos y el trazo de las zonas conforme a la clasificación de clima de Werren Thornthwaite. Ver anexo, Mapa de Clasificación climática del Perú elaborado por SENAMHI.

En la siguiente tabla se detalla las variables utilizadas para la clasificación climática.

Tabla 1 *Clasificación de Climas del Perú*

clasificación climática por el método Thornthwaite							
precipitación efectiva		**Distribución de la precipitación en el año**		**eficiencia de temperatura**		**humedad atmosférica**	
A	muy lluvioso	**A'**	cálido	**r**	precipitación abundante	**H1**	muy seco
B	lluvioso	**B'1**	semiárido	**i**	invierno seco	**H2**	seco
C	semis eco	**B'2**	templado	**p**	primavera seca	**H3**	húmedo
D	semiárido	**B'3**	semi frio	**v**	verano seco	**H4**	muy húmedo
E	árido	**C'**	frio	**o**	otoño seco		
		D'	semifrígido	**d**	deficiencia de lluvias		
		E'	frígido				
		F'	polar				

Fuente: *SENAMHI*

b. Gases de efecto invernadero

La actividad industrial es la fuente principal de emisión de los GEI – Gases de efecto invernadero, del mismo modo, en menor medida la actividad agropecuaria y la quema de biomasa en la agricultura, liberan gases de efecto invernadero (Vargas, 2009).

Tabla 2 *Fuentes generadoras de gases de efecto invernadero*

Fuente	Actividad	CO2	CH4	N2O
Quema de combustible	- Generación de energía - Sector industrial - Transporte - Residencial	x	x	x
Emisiones fugitivas	- Almacenamiento y transporte de combustibles fósiles		x	
Procesos industriales	- Producción minera - Industria química - Producción de metales	x	x	
Agricultura	- Fermentación energética - Cultivo de arroz - Quema de sabanas - Uso de suelos agrícolas	x	x	x
Cambio de uso de suelo	-Cambio en bosques y otros de biomasa leñosa - Conversión de bosques a pastizales - Abandono de tierras manejadas	x	x	x
Desechos	-Aguas residuales - Rellenos sanitarios Botaderos	x	x	x

Fuente: *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú – CONAM 2002*

2.3 Teledetección

La teledetección se basa en la adquisición de datos de los recursos naturales a una distancia de la biosfera, conformado básicamente por las propiedades de la radiación electromagnética y su interacción con la superficie terrestre (Sacristán, 2006).

La teledetección se encarga de estudiar los cambios espaciales, espectrales y temporales de las ondas electromagnéticas, y hace visible la correlación de estas con las diferentes características de los materiales terrestres, el objetivo principal es la identificación de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se suscitan (Sacristán, 2006).

En la teledetección, se usa diferentes tipos de sensores remotos que registran la radiación electromagnética, estos sensores no están en contacto directo con los objetos que emiten la energía, estas pueden ser cámaras fotográficas, sistema de radar etc; y son portados por vehículos de navegación aérea ubicados en aviones, helicópteros etc, otros están fuera de la atmosfera en satélites, estaciones orbitales (Jhon & Yesid, 2013).

2.3.1 Satélite LANDSAT

Los satélites Landsat están equipados con sensores remotos de diferentes tipos, el primer sensor es el RBU, que en esencia es un sistema de cámaras de televisión, el segundo sensor es un equipo de barrido Multiespectral, que captura la energía reflejada por la superficie en la región verde, roja e infrarroja, la unidad de información tiene una resolución de 79 metros (Sacristán, 2006).

2.3.2 Satélite LANDSAT 5 TM

Landsat 5 fue lanzado el primero de marzo de 1984, bajo el programa de Landsat a la actualidad el satélite es supervisado por el Servicio Geológico De Los Estados Unidos (USGS) (Geocento, 2016).

El satélite Landsat 5 fue colocado a una altitud de 705 km, con una inclinación de 98.2°, el tiempo de cruce por la zona ecuatorial es entre las 3:30 y 10:00 horas, el ancho de franja del instrumento Multiespectral permanece igual (Geocento, 2016).

Tabla 3 *Bandas Landsat 5 TM*

Sensor	Número de banda	Nombre de banda	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)	Aplicaciones de banda
TM	1	Azul visible	0.45 - 0.52	30	Mapeo batimétrico, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la conífera.
TM	2	Verde visible	0.52 - 0.60	30	Enfatiza la vegetación pico, que es útil para evaluar el vigor de la planta.
TM	3	Rojo visible	0.63 - 0.69	30	Discrimina las pendientes de la vegetación.
TM	4 4	NIR	0.76 - 0.90	30	Destaca el contenido de biomasa y las costas
TM	5 5	SWIR 1	1.55 - 1.75	30	Discrimina el contenido de humedad del suelo y la vegetación; penetra nubes delgadas
TM	6 6	Térmico	10.40 - 12.50	120	Mapeo térmico y humedad estimada del suelo.
TM	7 7	SWIR 2	2.08 - 2.35	30	Rocas alteradas hidrotermalmente asociadas con depósitos minerales

Fuente: *Earth Observing System*

2.3.3 Satélite LANDSAT 8 OLI

El satélite Landsat 8 fue lanzado el once de febrero del 2013, diseñado para continuar con la adquisición de imágenes de la superficie terrestre, el programa de adquisición de imágenes satelitales fue implementado por los Estados Unidos en 1972 (Geocento, 2016).

El equipo de detección remota incluye un radiómetro de barrido multicanal OLI (Generador de imágenes terrestre operativo) y un radiómetro IR de 2 canales TIRS – Sensor de infrarrojo térmico, el instrumento OLI opera a nueve longitudes de

onda en el rango 0.433 – 2.300 µm, y proporciona imágenes con una resolución de 15 metros (Geocento, 2016).

Tabla 4 *Bandas Landsat 8 OLI*

Sensor	Número de banda	Nombre de banda	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)	Aplicaciones de banda
OLI	1	Costero	0.43 - 0.45	30	Estudios costeros y de aerosoles.
OLI	2	Azul	0.45 - 0.51	30	Mapeo batimétrico, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la conífera.
OLI	3	Verde	0.53 - 0.59	30	Enfatiza la vegetación pico, que es útil para evaluar el vigor de la planta.
OLI	4	rojo	0.63 - 0.67	30	Discrimina las pendientes de la vegetación.
OLI	5	NIR	0.85 - 0.88	30	Destaca el contenido de biomasa y las costas
OLI	6	SWIR 1	1.57 - 1.65	30	Discrimina el contenido de humedad del suelo y la vegetación; penetra nubes delgadas
OLI	7	SWIR 2	2.11 - 2.29	30	Mejora del contenido de humedad del suelo y la vegetación y penetración delgada de las nubes.
OLI	8	Pan	0.50 - 0.68	15	Resolución de 15 m, definición de imagen más nítida
OLI	9	Cirro	1.36 - 1.38	30	Detección mejorada de la contaminación de las nubes cirrus

Fuente: *Earth Observing System*

2.3.4 Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve

El índice NDSI es una medida de la magnitud relativa de la diferencia de reflectancia entre el rango visible del espectro (verde) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Controla la varianza de dos bandas (una en el infrarrojo cercano o en el infrarrojo de onda corta y otra en las partes visibles del espectro). Esto es útil para el mapeo de nieve (Geocento, 2016).

Tabla 5 *Índices espectrales para el mapeo de cobertura de nieve y hielo mediante imágenes satelitales*

Nombre del índice	formula	Descripción
Índice de Nieve Diferencial Normalizado NDSI	$\frac{verde - SWIR}{verde + SWIR}$	Para mapear la diferenciación de nieve – hielo en áreas cubiertas de nieve.
Índice de Nieve y Hielo Diferencial Normalizado NDSII	$\frac{rojo - SWIR}{rojo + SWIR}$	Para mapear la diferenciación de nieve y hielo en áreas cubiertas de nieve y hielo
Índice Glaciar Diferencial Normalizado NDGI	$\frac{verde - rojo}{verde + rojo}$	Para mapear zonas de diferenciación entre nieve y hielo y una mezcla de hielo y flujo de nieve
Índice de Nieve y Hielo Diferencial Normalizado NDSII 2	$\frac{verde - NIR}{verde + NIR}$	Para mapear diferentes zonas de hielo y nieve en distintas clases

Fuente: *(Monterroso, Londoño, & Samsonov, 2017)*

2.4 Actividad antrópica cerca al nevado Santocoronado

2.4.1 Explotación a tajo abierto, Mina Aruntani SAC, proyecto Tucari acumulación Mariela

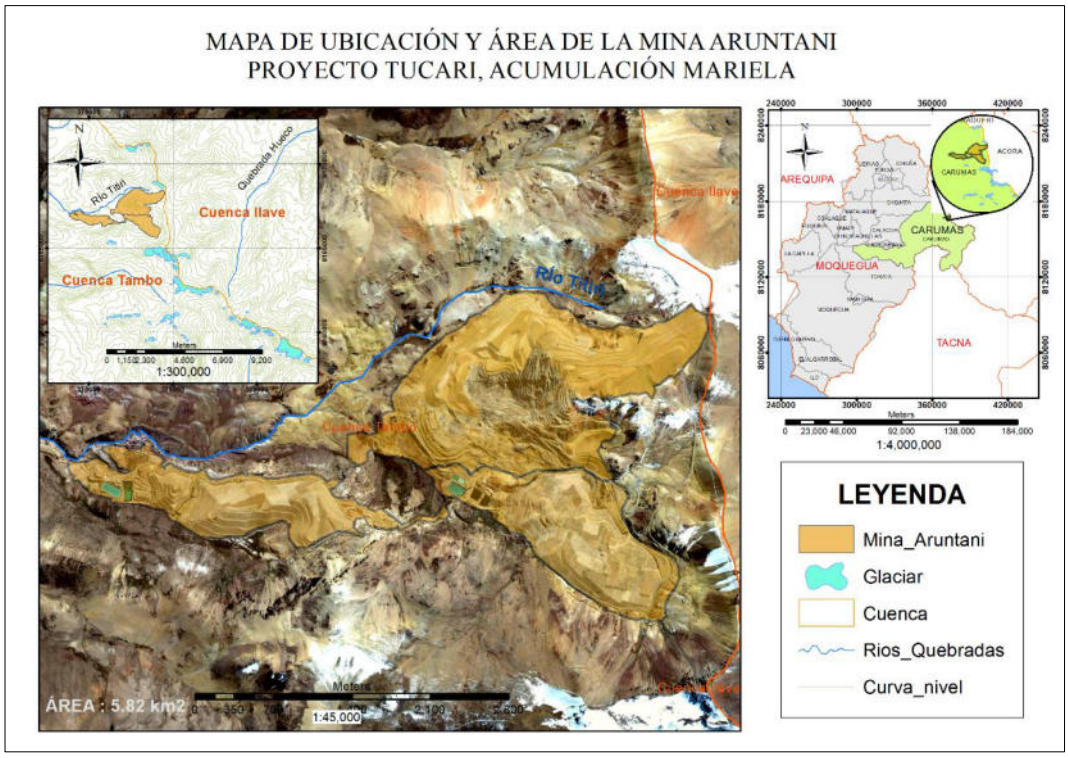
El proyecto Mariela, políticamente se ubica en el distrito de Carumas, provincia Mariscal Nieto, geográficamente se ubica en la cordillera Occidental de los andes Peruanos con una altitud promedio de 5000 msnm, el proyecto se ubica en las siguientes coordenadas UTM (Datum WGS84 zona 19S) Este: 376849 Norte: 8159434 (BLASCO, 2012).

La minera Tucari concesión Mariela, tuvo como actividad principal la explotación del mineral oro, la explotación se realizó a tajo abierto y la obtención del mineral fue mediante el proceso de lixiviación en PADs utilizando la solución de cianuro de sodio y la recuperación de oro por medio de una planta Merril Crowe para previa fundición para la obtención de barras de oro (OEFA, 2013).

Por otra parte, la explotación a tajo abierto se realizó en el cerro Tucurirani, margen derecho de la quebrada Apostoloni, abarcando una producción diaria de 23000 TM; los desmontes se almacenaron en el botadero Norte a 500 m al norte del tajo, para el carguío y trasporte del mineral se usaron equipos diésel, como excavadoras, cargador frontal y camiones volquetes (OEFA, 2013).

En la figura 2 se muestra la ubicación geográfica y política del proyecto minero Aruntani SAC, así como la extensión superficial ocupada, siendo esta de 5.82 Km2.

Figura 2 *Mapa de ubicación y área de la mina Aruntani, proyecto Tucari, acumulación Mariela*



Fuente: *Elaboración propia*

2.5 Conceptos básicos

a. **Dinámica glaciar:** El tamaño de los glaciares depende del clima de la región en que se encuentren. El balance entre la diferencia de lo que se acumula en la parte superior con respecto a lo que se derrite en la parte inferior recibe el nombre de balance glaciar.

b. **Imágenes satelitales**: Una imagen satelital o imagen de satélite se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y es procesada convenientemente.

c. **Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI):** El índice NDSI es una medida de la magnitud relativa de la diferencia de reflectancia entre el rango visible del espectro (verde) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Controla la varianza de dos bandas (una en el infrarrojo cercano o en el infrarrojo de onda corta y otra en las partes visibles del espectro). Esto es útil para el mapeo de nieve.

CAPÍTULO III. MÉTODO

3.1 Tipo y diseño

Considerando la Metodología de Investigación de Hernández, Fernández y Baptista (2010), la investigación es de tipo no experimental; debido a que no se hará variar en forma intencional la variable independiente para ver su efecto sobre otra variable. De igual forma la investigación es de diseño longitudinal, ya que se recolectaron datos a través del tiempo en un determinado periodo, para hacer inferencias respecto al cambio de la muestra en ese periodo.

3.2 Nivel de investigación

Considerando la Metodología de Investigación de Hernández, Fernández y Baptista (2010), el nivel de investigación es correlacional. Debido a que este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación entre dos variables en un contexto en particular.

3.3 Ámbito temporal y espacial

El desarrollo del presente proyecto de investigación fue llevado a cabo durante los meses comprendidos entre septiembre y noviembre del 2019.

Respecto al ámbito especial, el nevado Santocoronado se ubica en la Codillera Oriental del Perú, formando parte de la vertiente occidental y la vertiente del Titicaca, dando origen a la cuenca de tambo y la cuenca de Ilave.

Políticamente está ubicada entre el límite del departamento de Moquegua y departamento de Puno, abarcando mayor superficie glaciar en el departamento de Moquegua, Provincia Mariscal Nieto distrito de Curumas a una altura de 5400 msnm. Ver anexo 2

Tabla 6 *Ubicación en coordenadas geográficas del nevado Santocoronado*

Coordenadas geográficas del nevado Santocoronado		
Latitud Sur	Latitud Oeste	Altitud msnm
16°35´36.40´´	70°10´36.12´´	5400

Fuente *Elaboración propia*

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Como población, se consideró las imágenes satelitales del nevado Santocoronado, periodo 1990 al 2018.

3.4.2 Muestra

Como muestra, se consideró dieciocho Imágenes satelitales del nevado Santocoronado; del periodo de 1990 al 2018, se consideró los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2016 y 2018.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Recolección de información

En esta primera etapa, se ha enviado el documento correspondiente a las entidades de competencia, solicitando información validada.

Antes de adquirir la data meteorológica, se ha evaluado y verificado que las estaciones estén ubicadas en una zona climática igual o similar y que éstas estaciones estén lo más próximo al nevado Santocoronado, por lo que se ha comparado con el mapa de clasificación climática del Perú elaborado por SENAMHI método Werren Thornthwaite, siendo seleccionada cinco estaciones meteorológicas, Pasto Grande, Pampa Umalzo, Carumas, Calacoa y Mazo Cruz, las que se encuentran en una zona climática igual o similar por ende próximas al área de estudio.

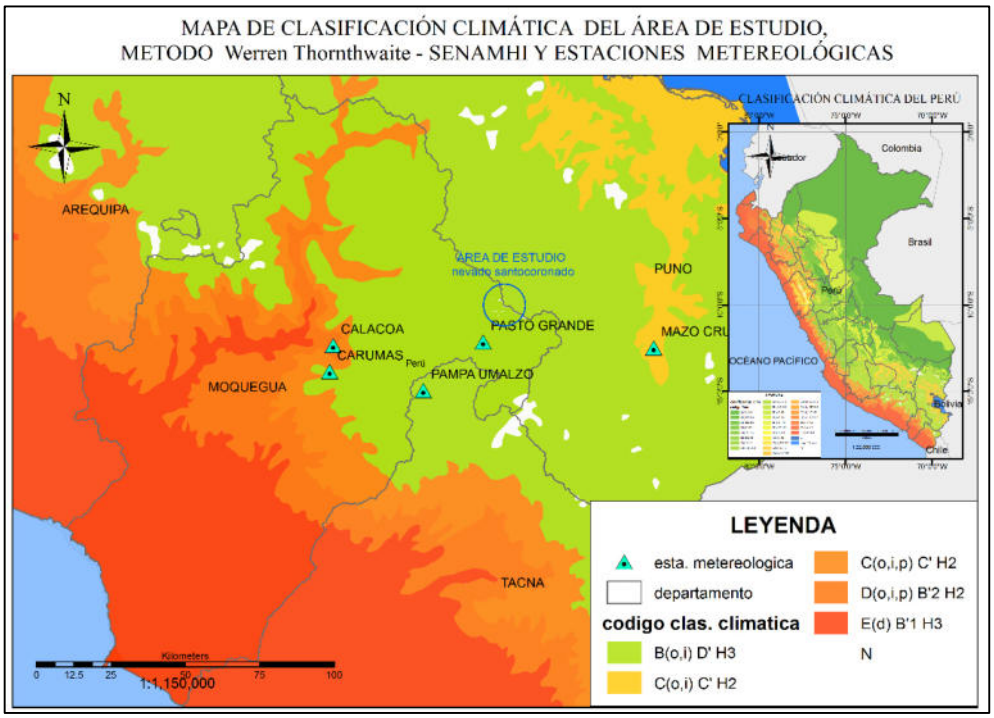
Las estaciones Pasto Grande, Pampa Umalzo y Carumas se encuentran en una zona climática B(o,i)D´H3 clasificada como una zona de clima semifrígido lluvioso, con deficiente lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda (SENAMHI, Mapa de clasificación climatica del Perú, 2014).

La estación Calacoa se encuentra en una zona climática de código C(o,i,p)C´H2, clasificada como una zona de clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca (SENAMHI, Mapa de clasificación climatica del Perú, 2014)

La estación Mazo Cruz se encuentra en zona climática de código C(i,o)C´H2 clasificada como una Zona de clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como seca (SENAMHI, Mapa de clasificación climatica del Perú, 2014)

En la siguiente figura se muestra el mapa de clasificación climática elaborado por SENAMHI método utilizado Werren Thorntwaite y las estaciones metrológicas seleccionadas, donde a cada zona climática se le asigna un código alfabético que describe la precipitación, distribución de precipitación, eficiencia de temperatura y humedad atmosférica, para más detalle ver la tabla 1 clasificación climática del Perú.

Figura 3 *Mapa de clasificación climática del área de estudio, método Werren Thornwaite*



Fuente*: SENAMHI*

Posterior a la selección de estaciones meteorológicas, se hizo el trámite correspondiente para la adquisición de data meteorológica, solicitud dirigida a la entidad competente SENAMHI; se solicitó data meteorológica de las siguientes cuatro estaciones meteorológicas, estación Calacoa - Moquegua, estación Carumas - Moquegua, estación Mazo Cruz – Puno, estación Pampa Umalzo – Tacna, la data de la quinta estación meteorológica Pasto Grande, se solicitó al Proyecto Especial Pasto Grande - (PERPEG).

En la tabla 7 se detalla la ubicación geográfica y política de las estaciones meteorológicas, así como las variables meteorológicas que fueron brindadas por la entidad competente, del mismo modo se muestra la distancia que existen entra las estaciones meteorológicas respecto a el área de estudio, nevado Santocoronado.

Tabla 7 *Lista de estaciones meteorológicas*

ESTACIÓN	LAT. °S	LONG. °O	ALTITUD	REGIÓN	PROVINCIA	VARIABLE	DISTANCIA AL NEVADO km
CARUMAS	16° 48' 47''	70° 41' 40''	2976	Moquegua	Mariscal Nieto	PP,T°	60
CALACOA	16° 44' 6''	70° 40' 58.08''	3260	Moquegua	Mariscal Nieto	PP,T°	58
MAZO CRUZ	16° 44' 20.4''	69° 42' 55.7''	4003	Puno	Puno	PP,T°	45
PASTO GRANDE	16° 43' 30''	70° 14' 22''	4524	Moquegua	Mariscal Nieto	PP,T°	8
PAMPA UMALZO	16° 52' 30''	70° 25' 25''	4609	Tacna	Candarave	PP,T°	29

Fuente *SENAMHI, PERPG*
PP: precipitación
T: temperatura

Se ha trabajado con la data meteorológica de cinco estaciones próximas al nevado Santocoronado. Estación Calacoa, Estación Carumas, Estación Mazo Cruz, Estación Umalzo y Estación Pasto Grande. Inicialmente se ha solicitado la data meteorológica al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de las siguientes estaciones, se ha gestionado mediante la página web https://www.senamhi.gob.pe.

La estación denominada Pasto Grande – Moquegua, está bajo la administración del Proyecto Especial Pasto Grande (PERPG) de la misma forma se hizo la solicitud correspondiente, bajo la ley de transparencia.

En la figura 4 se muestra la ubicación política de las estaciones meteorológicas, tanto la estación Calacoa, Carumas y Pasto Grande, se ubican en la región Moquegua; la estación Pampa Umalzo se ubica en la Región Tacna y la estación Mazo Cruz en la Región Puno, como también el área de estudio ubicada entre el límite político de Moquegua y Puno.

Figura 4 *Ubicación de estaciones Meteorológicas*



Fuente: *Elaboración propia*

Respecto a las imágenes satelitales, la adquisición de las imágenes satelitales fueron del satélite Landsat 5TM y Landsat 8 OLi, se hizo a través de la página web de libre acceso, del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), https://earthexplorer.usgs.gov/. Se ha descargado un total de dieciocho imágenes satelitales.

3.5.2 Procesamiento de información

3.5.2.1 Completado de datos meteorológicos faltantes (Método Del Vector Regional - MVR)

Para el completado o llenado de datos meteorológicos faltantes en los diferentes años de la data de cada estación se utilizó Método de Vector Regional – MVR; El MVR es un método de cálculo orientado a tres tareas definidas: La crítica de datos, la homogenización y la extensión - completación de datos de precipitación (Espinoza, 2005).

La hipótesis fundamental en la que se basa, consiste en asumir que para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones, los totales

pluviométricos anuales son seudo-proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debido a la repartición de las lluvias dentro de la zona (Espinoza, 2005).

El software hidrológico HYDRACCESS, tiene dos métodos para calcular el MVR, del mismo modo para completar datos, en esta investigación se utilizó los parámetros de Y. Brunet Moret.

El parámetro de Y. Brunet Moret considera que el índice regional de un año es el promedio de los índices de todas las estaciones. Sin embargo, toma la precaución de filtrar los índices de las estaciones que se alejan demasiado del promedio, puesto que el promedio es influenciado por los valores extremos (Espinoza, 2005).

De la misma manera, la media extendida de una estación se calcula a partir de la media de los valores observados o estimados, siempre después de filtrar los valores que se alejan demasiado de los valores de las estaciones vecinas para un mismo año (Espinoza, 2005)

Con el uso del software HYDRACCESS y aplicando el método del vector regional y parámetros de Y. Brunet Moret se ha completado los datos faltantes de dos estaciones meteorológicas, estas son la estación meteorológica Carumas - Moquegua y Pasto Grande – Moquegua.

3.5.2.2 Variabilidad histórica de la precipitación y temperatura

a. Análisis de tendencia de la precipitación y temperatura

Se ha realizado el análisis de tendencia de la precipitación y temperatura, con la finalidad de conocer si existe tendencia significativa creciente, tendencia significativa decreciente o tendencia no significativa en la precipitación y temperatura, para el análisis de tendencia se usó el software Hidrológico – TREND, las tendencias de la precipitación y temperatura podrían estar sujetas

al incremento de los GEI, Gases de efecto invernadero y/o uso de suelo (agricultura, minería, etc.), para este análisis se utilizó el test de Mann Kendall.

3.5.2.3 Comportamiento dinámico del área glaciar en el nevado Santocoronado

a. Teledetección remota

Se ha realizado el análisis del comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado, mediante la utilización y tratamiento de dieciocho imágenes satelitales obtenidas del satélite Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, estas imágenes estuvieron comprendidas desde 1990 hasta 2018; a las cuales se le hicieron las correcciones radiométricas y atmosféricas para el cálculo posterior del Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI).

b. Corrección radiométrica y atmosférica

El cálculo de la radiancia es el paso fundamental para poner datos de imagen de múltiples sensores y plataformas en una escala radiométrica.

Durante la generación de productos los datos de una imagen sin procesar, se convierten a unidades de radiancia absoluta utilizando 32 bits cálculos de punto flotante. Los valores absolutos de radiancia son luego escalados a valores de ocho bits que representan números calibrados digitalmente antes de la salida a los medios de distribución (Chander & Markham, 2003).

c. Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve

Para cuantificar la superficie glaciar se trabajó con el índice normalizado de diferenciación de nieve – NDSI previa corrección de reflectancia en cada una de las imágenes satelitales, todo ello utilizando las herramientas del software ArcGIS 10.5.

3.6 Análisis de datos

3.6.1 Análisis de Variabilidad climática

Para el análisis de la variabilidad climática del entorno, se utilizó datos meteorológicos como precipitación y temperatura de un periodo de 28 años, los cuales fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI. Con el uso del software HYDRACCESS y aplicando el Método de Vector Regional y parámetro de Y. Brunet Moret, las variables precipitación y temperatura fueron analizadas en su registro original, se verifico la confiabilidad de los datos a través de dicho método, del mismo modo se realizó el completado de datos faltantes.

El análisis de la variabilidad climática se centró en periodos estacionales trimestrales.

- Verano: Diciembre, Enero, Febrero (DEF).
- Otoño: Marzo, Abril, Mayo (MAM).
- Invierno: Junio, Julio, Agosto (JJA).
- Primavera: Setiembre, Octubre, Noviembre (SON)

Parte del análisis de la variabilidad climática se centró en verificar la existencia de tendencia positiva o negativa y quiebre de los datos de cada variable, las cuales podrían estar sujetas a.

- Incremento de Gases de Efecto Invernadero - GEI
- Actividades extractivas como la minería
- Cambio en el uso del suelo

El análisis de Tendencia de cada variable a lo largo de un periodo, se ha realizado con un método para cual se utilizó el software TREND, la metodología es:

a) Test para tendencias
   - Mann Kendall

Test de Mann Kendall

El test Mann-Kendall es un test no-paramétrico sugerido para evaluar la tendencia en series de datos ambientales (Kendall, 1975; Mann, 1945), citado por (Alencar, 2017).

El teste Mann-Kendall es el método más apropiado para analizar tendencias en series climatológicas. También que este método permite detectar y localizar el punto aproximado de inicio de una determinada tendencia (Berger 1986), citado por (Alencar, 2017).

El test consiste básicamente en la comparación entre los valores que componen una misma serie temporal, en orden secuencial También, considera la hipótesis de estabilidad de la serie temporal. Siendo así, la sucesión de valores de la serie temporal denota deformación independiente y la distribución de la probabilidad debe permanecer la misma (Silva, 2007), citado por (Alencar, 2017).

$$S = \sum_{k-1}^{n_1-1} \sum_{j-k+1}^{n} sgn(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{Bmatrix} +1 \ si \ (x_j - x_i) > 0 \\ 0 \ si \ (x_j - x_i) = 0 \\ -1 \ si \ (x_j - x_i) < 0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Donde

$(x_j - x_i)$: Series temporales

x_j: Datos estimados de la secuencia de valores

n: Tamaño de la serie temporal

Prueba de hipótesis test estadístico de Mann-Kendall, la existencia de una tendencia estáticamente significativa es evaluada por el valor positivo de Z_{MK} indica cuando hay un aumento en la tendencia y el valor negativo indica disminución en la tendencia, como se muestra en la tabla 8.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \dfrac{E[S]-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & E[S] > 0 \\ 0, & E[S] = 0 \\ \dfrac{E[S]+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & E[S] < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Donde

Z_{MK}: Z de Mann Kendall

$E[S]$: Media

$VAR(S)$: Varianza de Mann Kendall

$$VAR(S) = \frac{1}{18}[(n(n-1)(2n+5)] \quad (4)$$

Hipótesis de test

H_a: Existe una tendencia monótona al alza

Si $Z_{MK} > Z_{1-a}$ entonces se acepta H_a

Si $Z_{MK} < Z_{1-a}$ entonces no se acepta H_a

H_b: existe una tendencia monótona a la baja

Si $-Z_{MK} < -Z_{1-a}$ entonces se acepta H_b

Si $-Z_{MK} > -Z_{1-a}$ entonces no se acepta H_b

Tabla 8 *Descripción de la significancia del test Mann Kendall (significancia α=0.05)*

Significancia	simbología	z
Sin tendencia	TS	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> +1.96
Tendencia significativa decreciente	TSD	< -1.96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< 1.96
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	> -1.96

Fuente: (Alencar, 2017)

3.6.2 Análisis del comportamiento dinámico del área glaciar

Las imágenes satelitales que son registradas por el satélite Landsat son de libre acceso en la página https://earthexplorer.usgs.gov/. Se ha realizado la descarga de cada imagen bajo el siguiente criterio.

- Las imágenes debieron mostrar el área de estudio sin nubosidad.
- Estar comprendidas desde 1990 hasta el 2018.

Se trabajó solo con las imágenes satelitales de Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, debido a que las imágenes del el satélite Landsat 7 ETM, tiene pixeles sin información, mostrando franjas oscuras en cada imagen, este problema se presentó a partir del 2004 hacia adelante.

En la tabla 9 se presenta las fechas en que los satélites han realizado el barrido por la zona de estudio.

Tabla 9 *Fechas de adquisición de imágenes Landsat*

N°	satélite	fecha
1.00	Landsat 5 TM	16/04/1990
2.00	Landsat 5 TM	04/03/1992
3.00	Landsat 5 TM	24/05/1994
4.00	Landsat 5 TM	10/03/1996
5.00	Landsat 5 TM	04/08/1997
6.00	Landsat 5 TM	07/10/1998
7.00	Landsat 5 TM	11/07/2000
8.00	Landsat 5 TM	27/09/2002
9.00	Landsat 5 TM	29/02/2004
10.00	Landsat 5 TM	25/05/2006
11.00	Landsat 5 TM	26/04/2007
12.00	Landsat 5 TM	12/04/2008
13.00	Landsat 5 TM	30/03/2009
14.00	Landsat 5 TM	04/05/2010
15.00	Landsat 5 TM	11/08/2011
16.00	Landsat 8 OLI	08/02/2014
17.00	Landsat 8 OLI	20/05/2016
18.00	Landsat 8 OLI	10/05/2018

Fuente: *Elaboración propia*

Las imágenes obtenidas de los satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, fueron tratadas en el software ArcGIS 10.5, donde se realizó las correcciones de reflectancia y posterior a ello el cálculo del Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve – NDSI, culminando con la generación de mapas temáticos del glaciar.

Para la corrección radiométrica de las imágenes satelitales Landsat 5 TM se empleó dos ecuaciones, la primera ecuación es para hallar la radiancia de cada Banda satelital, posterior a ello se utilizó una segunda ecuación para hallar la reflectancia de cada banda satelital, las ecuaciones son empleadas por Chander & Markham, validados por el USGS.

Para hallar la radiancia espectral de las imágenes satelitales Landsat 5 TM se empleó la ecuación.

$$L_\lambda = \left(\frac{LMAX_\lambda + LMIN_\lambda}{Q_{calmax}}\right) Q_{cal} + LMIN_\lambda \quad (5)$$

Donde

L_λ: Radiancia espectral en el sensor

$LMAX_\lambda$: Radiancia espectral máxima correspondiente a la banda Qcal

$LMIN_\lambda$: Radiancia espectral mínima correspondiente a la banda Qcal

Q_{calmax}: Valor máximo del píxel, va depender de la resolución radiométrica.

Q_{cal}: Valor de pixel del producto estándar (Valor digitales DN).

La ecuación (5) también se puede definir como

$$L_\lambda = G_{rescale} Q_{cal} + B_{rescale} \quad (6)$$

Donde

$$G_{rescale} = \left(\frac{LMAX_\lambda + LMIN_\lambda}{Q_{calmax}}\right) \quad (7)$$

$$B_{rescale} = LMIN_\lambda \quad (8)$$

La radiancia es calculada reemplazando los datos de la tabla 10 en la ecuación (5)

Tabla 10 *L-5 calibración dinámica de rangos*

radiancia espectral LMIN y LMAX								
procesar información	1 marzo de 1984 a 4 mayo de 2003				después del 5 mayo 2003			
bandas	$LMIN_\lambda$	$LMAX_\lambda$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	$LMIN_\lambda$	$LMAX_\lambda$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$
1	-1.52	152.1	0.602431	-1.52	-1.52	193	0.762824	-1.52
2	-2.84	296.81	1.1751	-2.84	-2.84	365	1.44251	-2.84
3	-1.17	204.3	0.805765	-1.17	-1.17	264	1.03988	-1.17
4	-1.51	206.2	0.814549	-1.51	-1.51	221	0.872588	-1.51
5	-0.37	27.19	0.108078	-0.37	-0.37	30.2	0.119882	-0.37
6	1.2378	15.303	0.055158	1.2378	1.2378	15.303	0.055158	1.2378
7	-0.15	14.38	0.05698	-0.15	-0.15	16.5	0.065294	-0.15

Fuente*: (Chander & Markham, 2003)*

Para hallar la reflectancia de las imágenes satelitales Landsat 5 TM se empleó la siguiente ecuación.

$$p_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{(ESUN_\lambda) COS_{\theta z}} \quad (9)$$

Donde:

p_λ: Reflectancia de la atmosfera al sensor

L_λ: Radiancia espectral del sensor

d: Distancia de la tierra al sol

$ESUN_\lambda$: Irradiancia solar media exoatmosferica

θz: Angulo zenital en grados

La reflectancia es calculada reemplazando los datos de la tabla 11 y 12 en la ecuación (9)

Tabla 11 *TM Irradiancia espectral exoatmosferica*

ESUN	
BANDAS	L-5
1	1957
2	1826
3	1554
4	1036
5	215
7	80.67

Fuente: *(Chander & Markham, 2003)*

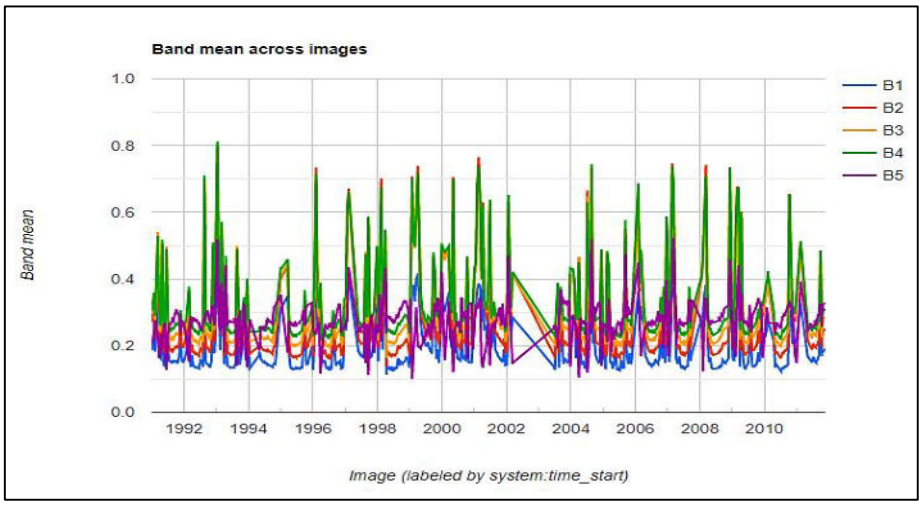
Tabla 12 *Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas, DOY – día juliano*

DOY	distancia	DOY	distancia	DOY	distancia
1	0.9832	121	1.0076	242	1.0092
15	0.9836	135	1.0109	258	1.0057
32	0.9853	152	1.014	274	1.0011
46	0.9878	166	1.0158	288	0.9972
60	0.9909	182	1.0167	305	0.9925
74	0.9945	196	1.0165	319	0.9892
91	0.9993	213	1.0149	335	0.986
106	1.0033	227	1.0128	349	0.9843
DOY - días del año (día juliano)				365	0.9833

Fuente: *(Chander & Markham, 2003)*

Aplicando las ecuaciones ya mencionadas se obtiene los valores de reflectancia para cada banda de las imágenes satelital Landsat 5 TM, en la siguiente figura se muestra los valores promedio de reflectancia de las bandas en una serie temporal de 1990 al 2011.

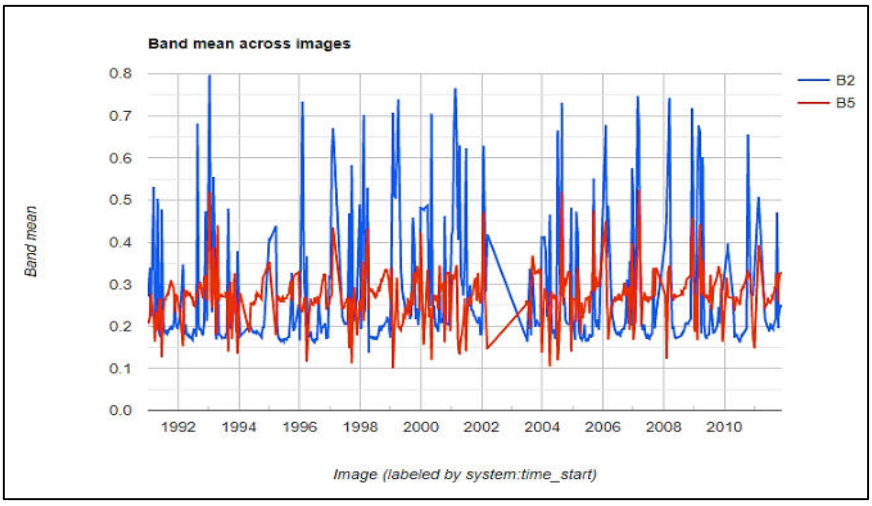
Figura 5 *Valores promedio de reflectancia Landsat 5 TM*



Fuente: *Google Earth Engine*

En la siguiente figura 6 se muestra los valores promedio de reflectancia de la Banda 2 y la Banda 5, en una serie temporal 1990 – 2011.

Figura 6 *Valores promedio de reflectancia B2-B5 Landsat 5 TM*



Fuente: *Google Earth Engine*

Por otra parte, para la corrección radiométrica de las imágenes satelitales Landsat 8 OLI, se empleó la siguiente ecuación

$$L_\lambda = (Add_{rad} + Mult_{rad})ND \quad (10)$$

Donde

L_λ: Radiancia espectral

Add_{rad}: Factor aditivo de reescalamiento especifico

$Mult_{rad}$: Factor multiplicativo de reescalamiento especifico

ND: Valor de pixel producto estándar (banda)

Para hallar la radiancia se reemplaza los datos de la tabla 13 en la ecuación (10)

Tabla 13 *Variables para calcular la radiancia*

	OD =175				OD=319			
bandas	$Mult_{rad}$	Add_{rad}	$Mult_{ref}$	Add_{ref}	$Mult_{rad}$	Add_{rad}	$Mult_{ref}$	Add_{ref}
2	0.012446	-62.229	0.00002	-0.1	0.01314	-65.7181	0.00002	-0.1
3	0.011469	-57.3436	0.00002	-0.1	0.01211	-60.5587	0.00002	-0.1
4	0.009671	-48.3554	0.00002	-0.1	0.01021	-51.0665	0.00002	-0.1
5	0.005918	-29.5912	0.00002	-0.1	0.00625	-31.2502	0.00002	-0.1
6	0.001472	-7.359	0.00002	-0.1	0.00156	-7.7716	0.00002	-0.1
7	0.000496	-2.4804	0.00002	-0.1	0.00052	-2.6195	0.00002	-0.1

Fuente: (Morfitt, y otros, 2015)

Para hallar la reflectancia de las imágenes satelitales Landsat 8 OLI se empleó la siguiente ecuación.

$$p_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{(ESUN_\lambda)COS_{\theta z}} \quad (11)$$

Donde:

p_λ: Reflectancia de la atmosfera al sensor

L_λ: Radiancia espectral del sensor

d: Distancia de la tierra al sol

$ESUN_\lambda$: Irradiancia solar media exoatmosferica

θz: Angulo zenital en grados

La reflectancia para las imágenes del satélite Landsat 8 OLI, es calculada reemplazando los datos de la tabla 14 y 15 en la ecuación (11)

Tabla 14 *TM Irradiancia espectral exoatmosferica*

ESUN	
bandas	L -8
2	2011.3
3	1853.3
4	1562.8
5	956.4
6	237.8
7	80.2

Fuente*:* (Morfitt, y otros, 2015)

Tabla 15 *Variables para calcular reflectancia Landsat 8 OLI*

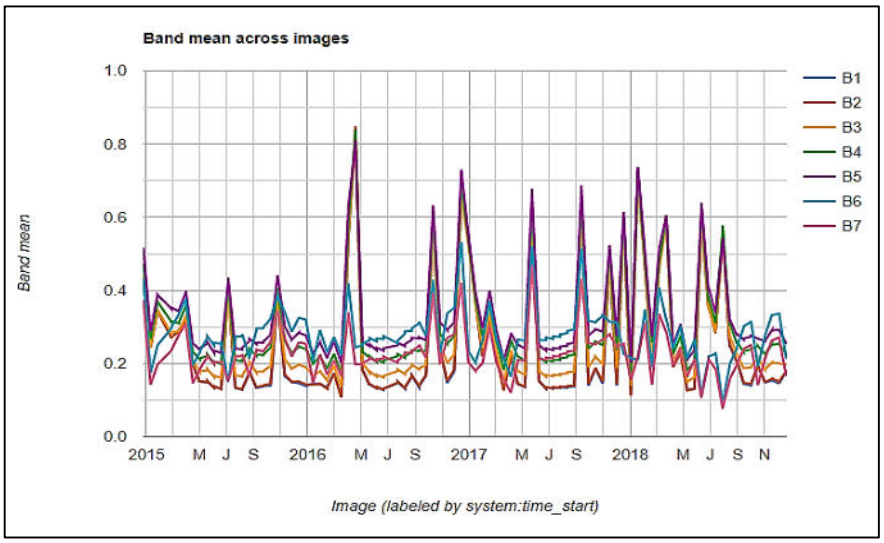
OD	E	COS Z	Ta	Po	d
175	48.9197	0.754	26	98.9	1.01639
255	61.2803	0.877	28.6	98.8	1.01343
271	64.4913	0.903	28.4	98.7	1.00634
287	66.2192	0.915	30.4	98.8	0.99733
319	64.291	0.901	29.1	98.7	0.99297

Fuente*:* (Morfitt, y otros, 2015)

Nota: *E-ángulo de elevación, Cos Z – ángulo zenital, Ta – temperatura, Po – presión atmosfé rica (kPs), d - distancia de la tierra al sol y OD – día juliano*

Aplicando las ecuaciones ya mencionadas se obtiene los valores de reflectancia para cada banda de las imágenes satelital landsat 8 OLI, en la siguiente figura se muestra los valores promedio de reflectancia de las bandas B1 al B7 en una serie temporal de 2015 al 2018.

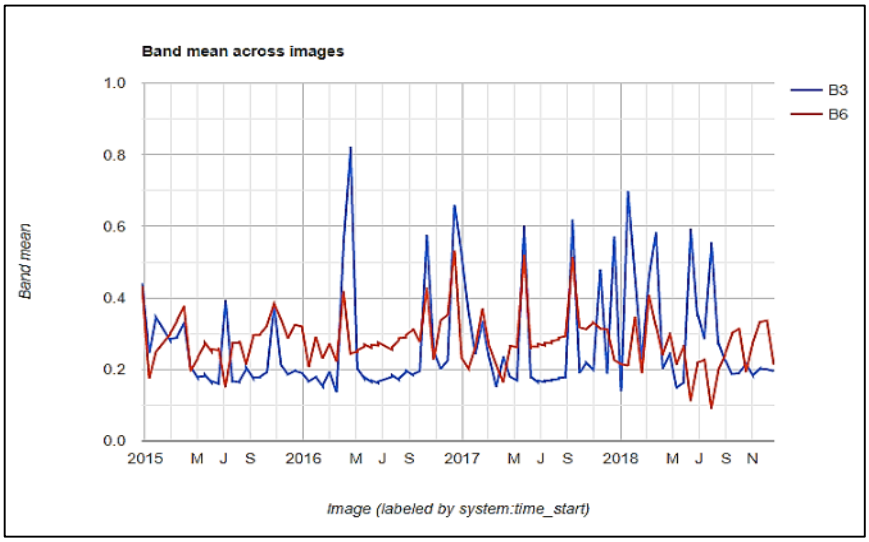
Figura 7 *Valores promedio de reflectancia de las bandas, Landsat 8 OLI*



Fuente: *Google Earth Engine*

En la siguiente figura se muestra los valores promedio de reflectancia de la Banda 3 y la Banda 6, en una serie temporal 2015 – 2018, se ha empleado los valores de reflectancia para el cálculo del NDSI.

Figura 8 *Valores promedio de reflectancia B3-B6 Landsat 8 OLI*



Fuente*: Google Earth Engine*

Una vez calculada la reflectancia de las bandas, se ha procedido a calcular el índice normalizado de diferenciación de nieve – NDSI.

La nieve tiene una alta reflectancia en el rango visible de 0.5 a 0.7 μm, y una absorción en el infrarrojo de onda corta de 1 a 3.5 μm en cambio las nueves poseen una alta reflectancia cuasi uniforme en el rango visible, de este modo el índice normalizado de diferenciación de nieve – NDSI, distingue la nieve de otros elementos de la superficie terrestre (Monterroso, Londoño, & Samsonov, 2017).

Para las imágenes del satélite Landsat 5 TM, el Índice normal de diferenciación de nieve se obtuvo a partir de, la diferencia entre banda verde y la banda infrarroja de onda corta dividido por adición de la banda verde con la banda infrarroja de onda corta, como se muestra en la siguiente formula.

$$NDSI = \frac{B2 - B5}{B2 + B5} \quad (12)$$

Donde:

B2=Banda 2 (Banda verde)

B5=Banda 5 (banda infrarroja de onda corta –SWIR)

Mientras que para las imágenes del satélite Landsat 8 OLI, el índice normal de diferenciación de nieve se calculó a partir de la diferencia de banda verde y la banda infrarroja dividida por la sumatoria de la banda verde con la banda infrarroja de onda corta, como se muestra en la siguiente formula.

$$NDSI = \frac{B3 - B6}{B3 + B6} \quad (13)$$

Donde:

B3=Banda 3 (Banda verde)

B6=Banda 6 (banda infrarroja de onda corta –SWIR)

Terminado el proceso de corrección radiométrica, cálculo del NDSI y reclasificación no supervisada, se obtuvo el área de cobertura glaciar para los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2016 y 2018, esto se ha realizado con el uso del Software ArcGIS 10.5.

3.6.3 Análisis de correlación entre la variabilidad climática y dinámica del área glaciar

Para el análisis de correlación entre la variabilidad climática y la dinámica del área Glaciar del nevado Santo Cornado, se consideró la precipitación anual y la temperatura máxima, mínima y media anual, para los años de 1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2016 y 2018.

Se utilizó el programa SPSS, prueba de normalidad de Shapiro Wilk, el test estadístico r de Pearson y prueba de hipótesis de t-student para determinar si existe correlación significativa entre la variabilidad climática y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado.

- Prueba de distribución normal Shapiro Wilk

  Antes de cualquier análisis estadístico es necesario comprobar, si las variables estudiadas siguen el modelo normal de distribución. En el caso que los datos se ajustan a una distribución normal se les puede aplicar los métodos estadísticos denominados paramétricos. Entre los numerosos métodos usados para probar la normalidad de un conjunto de datos, destaca la prueba de Shapiro-Wilk. La única condición es que el tamaño de la muestra debe ser igual o menor a 50 (Segnini, 2017).

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{k} a_i \left[x_{(n-i+1)} - x_i \right]}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})} \qquad (14)$$

Donde

x_i: Valores de la variable en forma ascendente

$x_{(n-i+1)}$: Valores de la variable en forma descendente

a_i: Valor de coeficiente tabulado tabla

$\bar{x}$: Promedio

Hipótesis

Ho: p<0.05 La variable aleatoria no tiene una distribución normal

Hi: p>0.05 La variable aleatoria tiene una distribución normal

- Test estadístico r de Pearson

El grado de asociación lineal entre dos variables, es medida por el coeficiente de correlación r de Pearson, el de r puede encontrarse entre -1 y +1, la prueba de significancia se hace con la hipótesis nula, la misma que indica que no hay asociación con r =0; previa a la aplicación de una correlación lineal, se debe realizar una gráfica de dispersión (Dagnino, 2014).

La correlación r de Pearson obedece a la siguiente formula.

$$\rho = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \qquad (15)$$

$$-1 \leq \rho \leq 1$$

Donde:

$S_{xy} =$ Covarianza de xy

$S_x =$ Desviación estándar de x

$S_y =$ Desviación estándar de y

Cuando ρ = (+) la relación es directa entre las variables. Si ρ = (-) la relación es inversa y si ρ= 0 son independientes

- Test de hipótesis de r

  Posterior al cálculo del coeficiente de correlación r de Pearson, se debe determinar si el coeficiente r es estadísticamente diferente de cero, para el cálculo se usa un test basado en la distribución de t – Student, si el valor del coeficiente de r de Pearson supera al valor del error estándar multiplicado por el t – Student con grados de libertad n-2, se dirá que el coeficiente de correlación es significativa (Fernández & Díaz, 2001).

  Si $r > error\ estandar\ de\ r * t - Student$ entonces el coeficiente de correlación de Pearson es significativa.

  Si $-r < error\ estandar\ de\ r * t - Student$ entonces el coeficiente de correlación de Pearson es significativa.

  Error estándar de r obedece a la siguiente ecuación

$$Error\ estandar\ de\ r = \pm\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \qquad (16)$$

  Donde

  r: Coeficiente de r Pearson

  n: Tamaño de muestra

- Prueba de hipótesis de t - student

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \qquad (17)$$

  Donde

  t: Estadístico de prueba

  r: Coeficiente de r de Pearson

n: Tamaño de muestra

Si $t > valor\ critico$ se rechaza la Ho concluye que existe una relación lineal

Si $t < valor\ critico$ no se rechaza la Ho concluye que no existe una relación lineal

3.7.3 Estimación del área glaciar para el año 2030

Para la estimación del área glaciar se realizó mediante regresión lineal; la regresión es empleado para estimar el valor de una variable en función de otra, el termino fue empleado por Galton para relacionar la estatura de padres e hijos, desde entonces es utilizada (Martínez, 2011).

- Regresión lineal

$$Y = bx + c + E_T \quad (18)$$

Donde

Y: Variable dependiente que se pretende estimar

b: Parámetro de regresión correspondiente al valor estimado

x: Variable independiente

c: Parámetro de regresión correspondiente al crecimiento o disminución

E_T: Componente error típico

Los valores de b y c se puede hallar por mínimos cuadrados o el uso de una aplicación como software estadístico SPSS, con la función regresión lineal.

- Error estándar de estimación

  Mide las posibles variaciones de una media muestral, esta sirve para efectuar el cálculo de la desviación típica residual, para hallar el error estándar de estimación se utiliza la siguiente ecuación (Martínez, 2011).

$$S_{xy} = S_y(1 - r^2) \quad (19)$$

Donde:

S_y: Varianza de y

r^2: Coeficiente determínate

Posterior a ello se calcula la desviación típica residual

- Desviación típica residual

$$E_T = t\frac{S_{yx}}{n} \quad (20)$$

Donde:

S_{xy}: Varianza residual

n: Tamaño de muestra

t: t de Student

Prueba de hipótesis para la significancia de los coeficientes

- Error estándar para la pendiente

$$S_b = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}\left(\frac{1}{n} + \frac{\overline{X}^2}{S_{xx}}\right)} \qquad (21)$$

Donde

SSE: Error residual

$\bar{X}$: Promedio de x

n: Tamaño de muestra

- Estadístico t estadístico para la pendiente

$$t_b = \frac{b}{S_b} \qquad (22)$$

t_c: t calculado

b: Valor de la pendiente

S_b: Error estándar de la pendiente

Hipótesis

H_0: Si $b = 0$ no existe una relación lineal entre la variable de respuesta y explicativa

H_1: Si $b \neq 0$ existe una relación lineal entre la variable de respuesta y explicativa

H_0: Si $b < t_b$ no existe significancia

H_1: Si $b > t_b$ existe significancia

- Error estándar para la ordenada

$$S_c = \sqrt{\frac{SSE}{(n-2)S_{xx}}} \quad (23)$$

$$S_{xx} = \sum X^2 - n\overline{X^2} \quad (24)$$

Donde

SSE: Error residual

$\bar{X}$: Promedio de x

n: Tamaño de muestra

- Estadístico t estadístico para la ordenada

$$t_c = \frac{c}{S_c} \quad (25)$$

Donde

t_c: t calculado

c: Valor de la ordenada

S_c: Error estándar de la ordenada

Hipótesis

H_0 : Si $c = 0$ existe una relación que tiene un comienzo en cero

H_1: Si $c \neq 0$ existe una relación que tiene un comienzo muy diferente de cero

H_0: Si $c < t_b$ no existe significancia

H_1: Si $c > t_b$ existe significancia

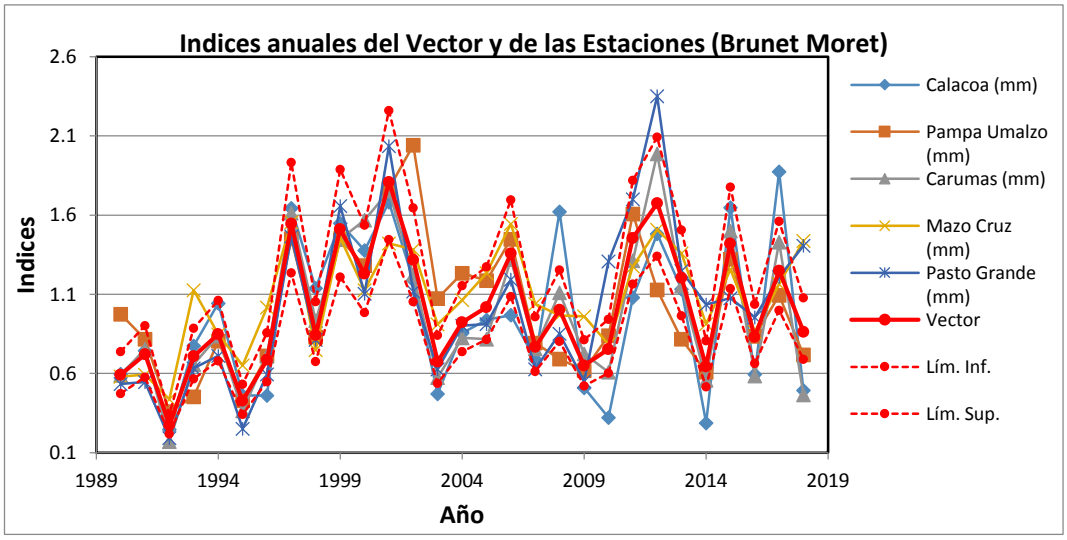
CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis del vector regional

Los datos de precipitación de las cinco estacione de interés al estudio, fueron analizados y completados con el método de vector regional del software hidrológico Hydraccess. Se consideró el uso de tres estaciones mínimo para completar los datos de las restantes.

Como resultado de la aplicación del vector regional en los datos de precipitación, se ha validado y completado datos faltantes en el registro de cada estación, en la siguiente figura se muestra el índice del vector calculado, esta indica que los valores son confiables, ya que todas las estaciones siguen un patrón en el registro de la variable de estudio.

Figura 9 *Índices anuales del Vector y las Estaciones para la precipitación*



Fuente: *Elaboración propia*

En la siguiente tabla se muestra los resultados del análisis del vector regional para la precipitación, después de haber completado los datos faltantes de las estaciones, quedando como resultado del análisis para la precipitación de las cinco estaciones, se aprecia que existe una correlación mayor a 0.6 en cada estación, esto indica que los datos fueron completados de manera correcta

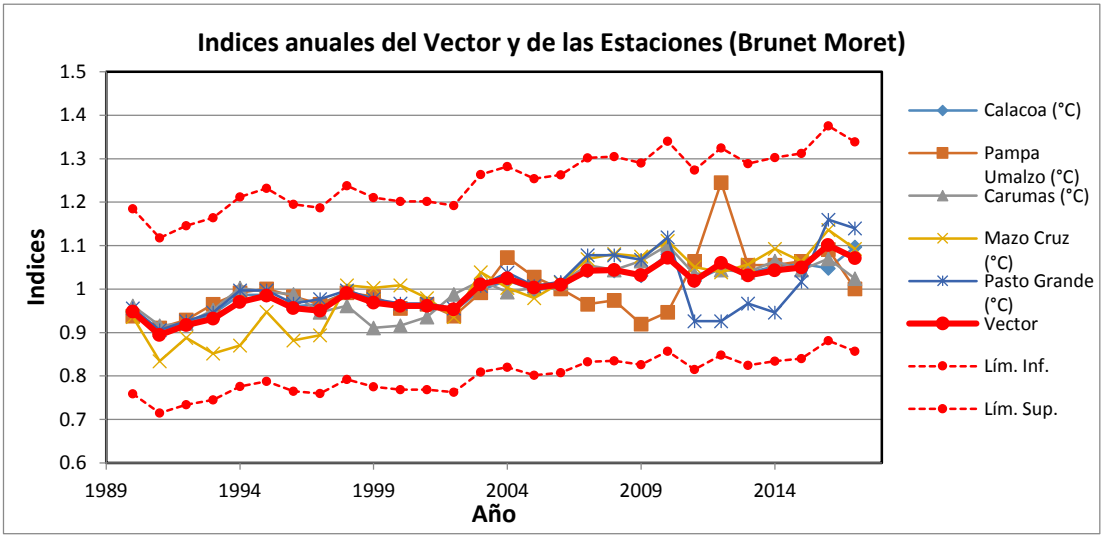
Tabla 16 *Estaciones y datos estadísticos*

ESTACIÓN	Id Estación	N° Años	D.E. Obs.	Coef. Varia.	Media Obs. mm	D.E. Desvíos	Correl. / Vector
CALACOA	158308_P_MPM_(mm)	29	191.7	0.506	379	0.262	0.841
PAMPA UMALZO	158309_P_MPM_(mm)	29	144.7	0.407	355.6	0.242	0.814
CARUMAS	873_P_MPM_(mm)	29	163.2	0.469	347.9	0.149	0.95
MAZO CRUZ	878_P_MPM_(mm)	29	147.6	0.291	506.6	0.22	0.845
PASTO GRANDE	999999_P_MPM_(mm)	29	144.3	0.491	294.1	0.245	0.873

Fuente *Elaboración propia*

Como resultado de la aplicación del vector regional en los datos de Temperatura, se ha validado y completado datos faltantes en el registro de cada estación, en la siguiente figura se muestra el índice del vector calculado, esta indica que los valores son confiables, ya que todas las estaciones siguen un patrón en el registro de la variable de estudio.

Figura 10 *Índice anual del vector y las estaciones para la Temperatura*



Fuente *Elaboración propia*

En la siguiente tabla se muestra los resultados del análisis del vector regional para la Temperatura, después de haber completado los datos faltantes de las estaciones, quedando como resultado del análisis para la temperatura de las cinco estaciones, se aprecia que existe una correlación mayor a 0.6 en cada estación, esto indica que los datos fueron completados de manera correcta

Tabla 17 *Estaciones y datos estadísticos*

ESTACIÓN	Id Estación	N° Años	D.E. Obs.	Coef. Varia.	Media Obs. mm	D.E. Desvíos	Correl. / Vector
CALACOA	158308_P_MPM_(mm)	29	0.9	0.049	18.3	0.014	0.964
PAMPA UMALZO	158309_P_MPM_(mm)	29	0.8	0.069	11.1	0.056	0.642
CARUMAS	873_P_MPM_(mm)	29	1	0.053	19.4	0.026	0.875
MAZO CRUZ	878_P_MPM_(mm)	29	1.4	0.085	16.5	0.042	0.917
PASTO GRANDE	999999_P_MPM_(mm)	29	0.7	0.066	9.8	0.046	0.718

Fuente *Elaboración propia*

4.2 Análisis de Variabilidad climática

Para el análisis de tendencia de la precipitación y temperatura, se recurrió al uso de la media en series trimestrales o estacionales (DEF, MAM, JJA, SON) y anuales, los datos de las series trimestrales y anuales de cada estación fueron analizados con el test de Mann-Kendall para determinar si hubo o no tendencia, se ha considerado un nivel de significancia de 0.05 respectivamente.

4.2.1 Análisis de tendencia de la precipitación anual y trimestral

Con la aplicación del el software TREND y el uso del estadístico de Mann Kendall, se realizó el análisis de tendencia para la variable precipitación con una significancia de 0.05, se analizó los datos de las cinco estaciones para el periodo anual y periodo trimestral, los resultados de la estaciones analizadas se muestra en la tabla 18, que corresponde al periodo de 1990 – 2018.

En la tabla 18 se muestra el resultado del análisis de tendencia para la cinco estaciones con respecto a la variable precipitación se puede observar que la estación de Mazo Cruz y Pasto Grande presentaron tendencia significativa creciente al 95 por ciento de confianza respectivamente, haciendo alusión al incremento de la precipitación anual, del mismo modo existe tendencia significativa para los trimestres DEF, MAM Y SON; por otro lado se observa la existencia e tendencia significativa decreciente para la estación Calacoa en el trimestre SON.

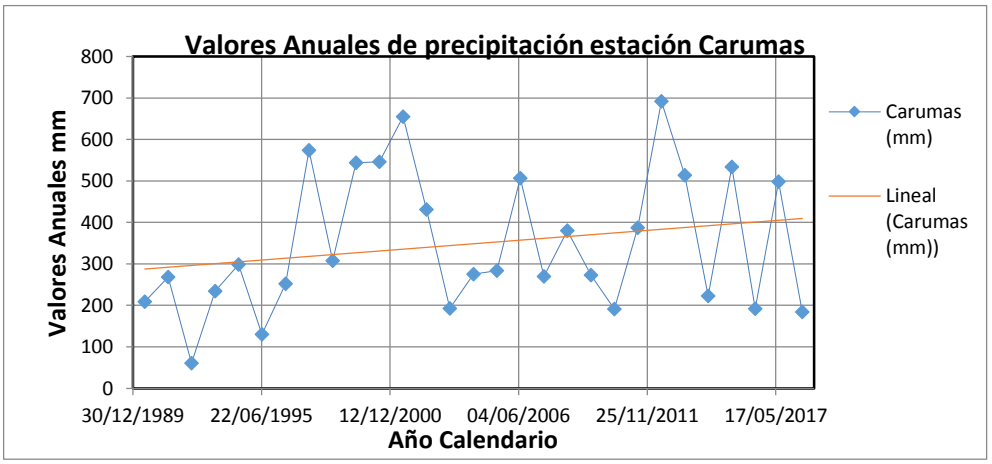
Tabla 18 *Resultado de análisis de tendencia de precipitación anual para las cinco estaciones*

PERIODOS ESTACIONALES		CARUMAS	CALACOA	MAZO CRUZ	PAMPA UMALZO	PASTO GRANDE
ANUAL	Z_{MK}	0.769	0.938	**2.32**	0.919	**2.983**
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSC	**TSC**	TNSC	**TSC**
DEF	Z_{MK}	1.069	0.319	**2.889**	1.013	**2.213**
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSC	**TSC**	TNSC	**TSC**
MAM	Z_{MK}	0.525	1.201	1.388	0.581	**3.92**
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	**TSC**
JJA	Z_{MK}	0.844	0.188	-0.788	0.882	-0.169
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSC	TNSD	TNSC	TSND
SON	Z_{MK}	-0.807	**-2.082**	0.9	-0.413	**2.42**
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSD	**TSD**	TNSC	TNSD	**TSC**

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 11 se muestra el resultado grafico lineal de precipitación de la estación Carumas, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico las precipitaciones en la estación Carumas ha ido incrementándose pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 18.

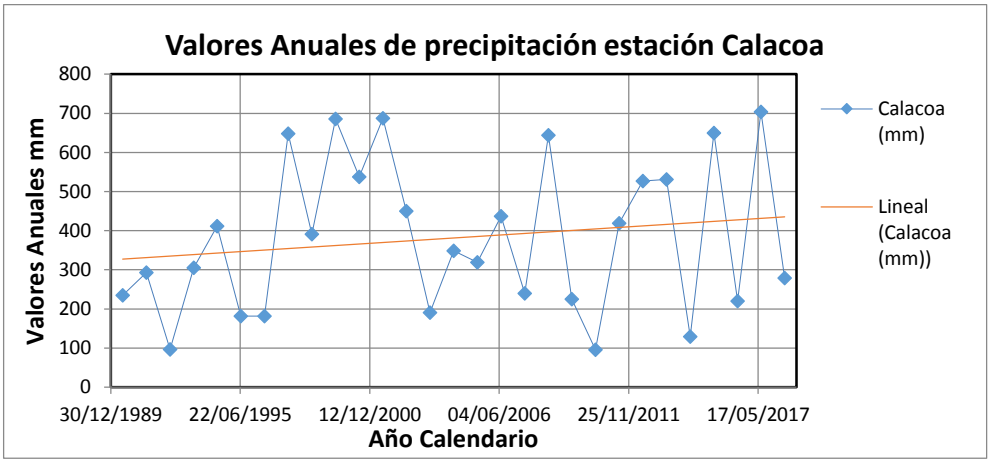
Figura 11 *Línea de tendencia en la precipitación anua l - estación Carumas*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 12 se muestra el resultado grafico lineal de precipitación de la estación Calacoa, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico las precipitaciones en la estación Calacoa ha ido incrementándose, pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 18.

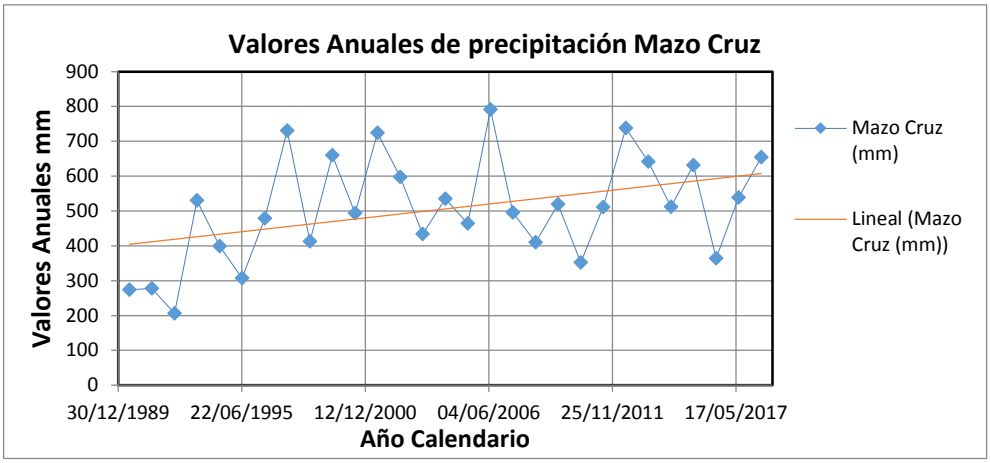
Figura 12 *Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Calacoa*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 13 se muestra el resultado grafico lineal de precipitación de la estación Mazo Cruz, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, las precipitaciones en la estación Mazo Cruz se ha incrementado, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 18.

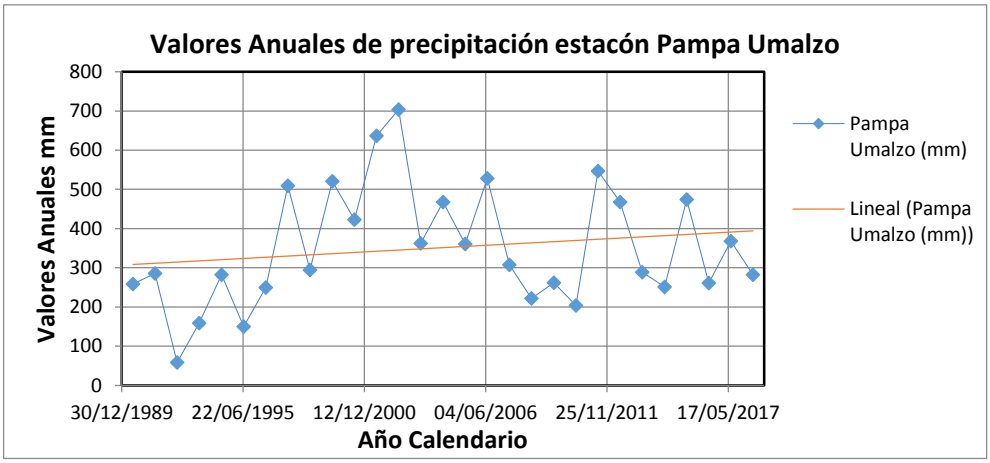
Figura 13 Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Mazo Cruz



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 14 se muestra el resultado grafico lineal de precipitación de la estación Pampa Umalzo, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico las precipitaciones en la estación Pampa Umalzo ha ido incrementándose, pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 18.

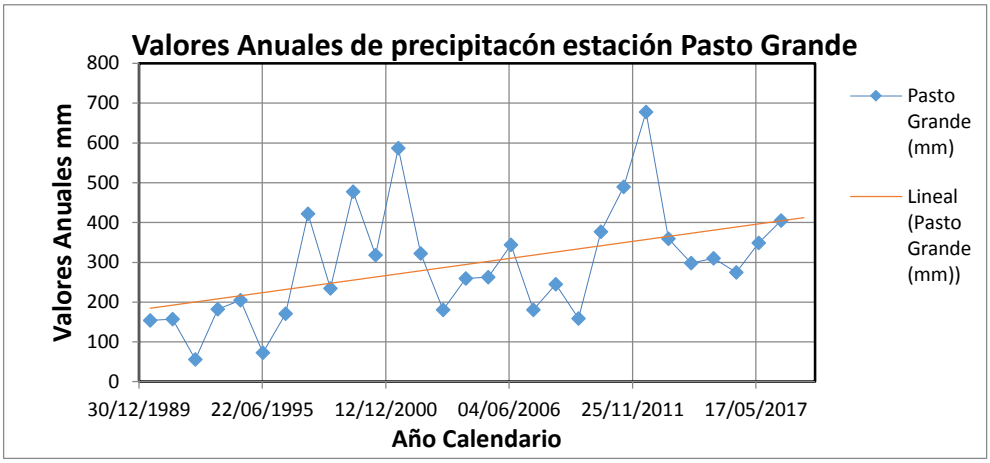
Figura 14 *Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Pampa Umalzo*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 15 se muestra el resultado grafico lineal de precipitación de la estación Pasto Grande, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico las precipitaciones en la estación Pasto Grande ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 18.

Figura 15 Línea de tendencia en la precipitación anual - estación Pasto Grande



Fuente: *Elaboración propia*

4.2.2 Análisis de tendencia de la temperatura máxima anual y trimestral

Con la aplicación del el software TREND y el uso del estadístico de Mann Kendall, se realizó el análisis de tendencia para la variable temperatura máxima con una significancia de 0.05, se analizó los datos de las cinco estaciones para el periodo anual y periodo trimestral, los resultados de la estaciones analizadas se muestra en la tabla 19, que corresponde al periodo de 1990 – 2018.

En la tabla 19 se muestra el resultado del análisis de tendencia para los datos de Temperatura máxima anual, en las cinco estaciones presentaron tendencia significativa creciente al 95 por ciento de confianza respectivamente, significa que en el pasar de los años la temperatura máxima ha ido incrementado.

Del mismo modo se muestra los resultados del análisis de tendencia para la temperatura máxima trimestral, donde se observa una tendencia significativa creciente en las cinco estaciones excepto pampa umalzo trimestre JJA y pasto grande trimestre MAM.

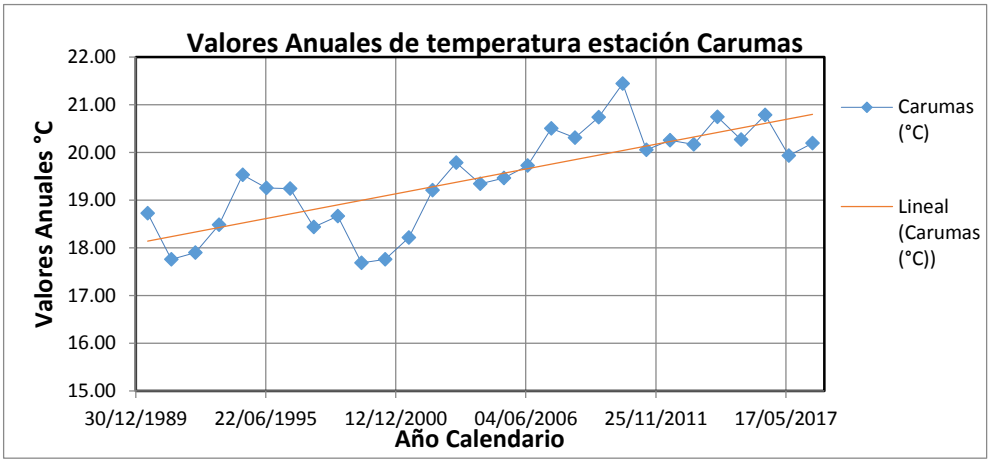
Tabla 19 *Resultado de análisis de tendencia de Temperatura máxima anual para las cinco es taciones*

PERIODOS ESTACIONALES		CARUMAS	CALACOA	MAZO CRUZ	PAMPA UMALZO	PASTO GRANDE
ANUAL	Z_{MK}	**3.752**	**4.557**	**4.821**	**2.495**	**2.213**
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSC**
DEF	Z_{MK}	**3.677**	**4.014**	**4.371**	**2.87**	**-2.345**
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSD**
MAM	Z_{MK}	**3.667**	**3.339**	**3.301**	**2.51**	1.688
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSC**	TNSC
JJA	Z_{MK}	**3.997**	**3.564**	**4.239**	1.388	**2.495**
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	**TSC**	**TSC**	TNSC	**TSC**
SON	Z_{MK}	**4.577**	**5.252**	**5.121**	**2.288**	**3.451**
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSC**	**TSC**

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 16 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura máxima de la estación Carumas, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura máxima en la estación Carumas ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 19.

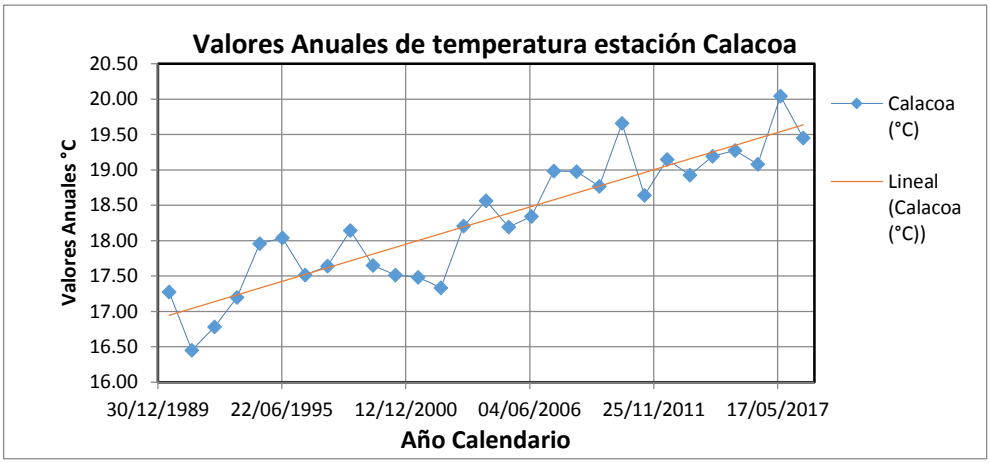
Figura 16 *Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Carumas*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 17 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura máxima de la estación Calacoa, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura máxima en la estación Calacoa ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 19.

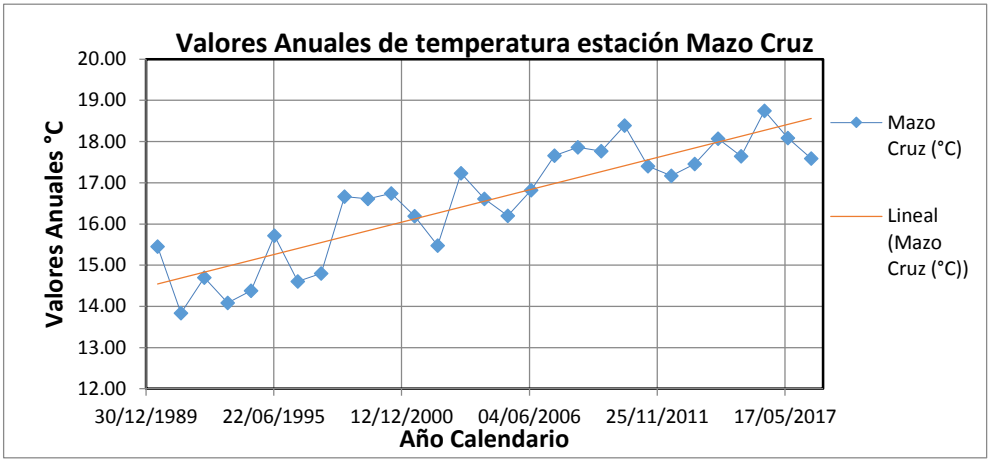
Figura 17 *Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Calacoa*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 18 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura máxima de la estación Mazo Cruz, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura máxima en la estación Mazo Cruz ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 19.

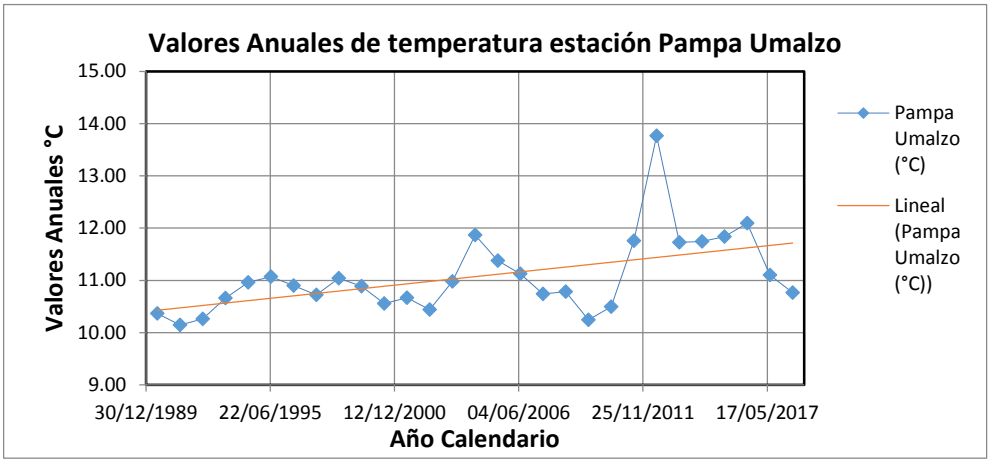
Figura 18 *Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Mazo Cruz*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 19 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura máxima de la estación Pampa Umalzo, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura máxima en la estación Pampa Umalzo ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 19.

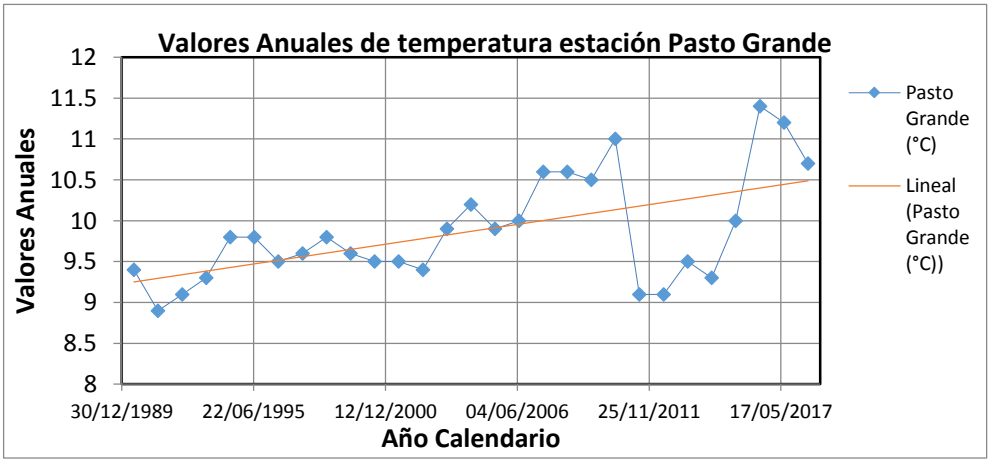
Figura 19 *Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Pampa Umalzo*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 20 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura máxima de la estación Pasto Grande, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura máxima en la estación Pasto Grande ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 19.

Figura 20 *Línea de tendencia en la Temperatura máxima anual - estación Pasto Grande*



Fuente: *Elaboración propia*

4.2.3 Análisis de tendencia de la temperatura media anual y trimestral

Con la aplicación del el software TREND y el uso del estadístico de Mann Kendall, se realizó el análisis de tendencia para la variable temperatura media con una significancia de 0.05, se analizó los datos de las cinco estaciones para el periodo anual y periodo trimestral, los resultados de la estaciones analizadas se muestra en la tabla 20, que corresponde al periodo de 1990 – 2018.

En la tabla 20 se muestra los resultados del análisis de tendencia de la temperatura media anual para las cinco estaciones, como resultado los datos de temperatura media anual de la estación Calacoa, Mazo Cruz y Pasto grande presentaron tendencia significativa creciente al 95 por ciento de confianza respectivamente, significa que en el pasar de los años la temperatura media anual ha ido incrementado en estas estaciones.

Del mismo modo se muestra los resultados del análisis de tendencia para la temperatura media trimestral, donde se observa una tendencia significativa creciente en la estación Carumas, Calacoa, Mazo Cruz y Pasto Grande en los trimestres DEF, MAM, JJA y SON.

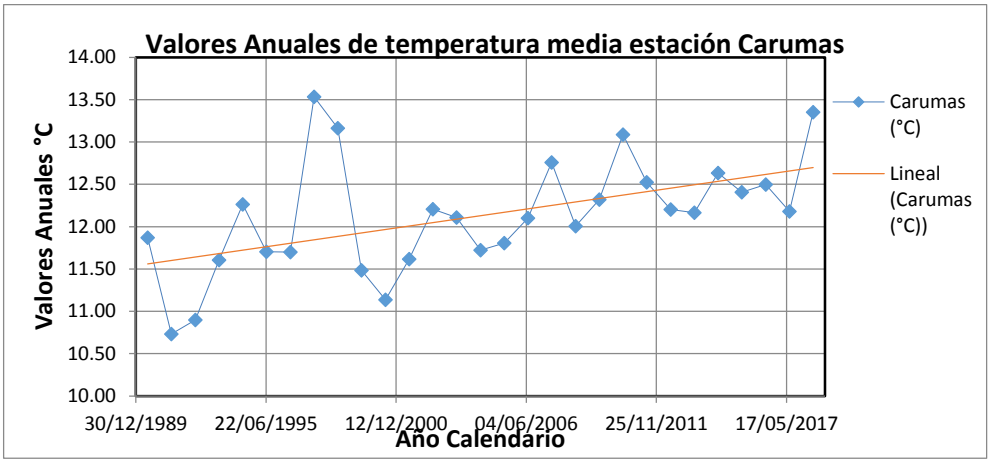
Tabla 20 *Resultado de análisis de tendencia de Temperatura Media anual para las cinco est aciones*

PERIODOS ESTACIONALES		CARUMAS	CALACOA	MAZO CRUZ	PAMPA UMALZO	PASTO GRANDE
ANUAL	Z_{MK}	1.782	**2.130**	**4.314**	0.919	**2.42**
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	**TSC**	**TSC**	TNSC	**TSC**
DEF	Z_{MK}	**2.476**	**2.439**	**4.69**	0.863	**3.058**
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	**TSC**	**TSC**	TNSC	**TSC**
MAM	Z_{MK}	**2.307**	0.863	**3.02**	1.669	0.957
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	TNSC	**TSC**	TNSC	TNSC
JJA	Z_{MK}	1.069	1.388	**3.170**	1.820	0.581
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSC	**TSC**	TNSC	TNSC
SON	Z_{MK}	**3.095**	2.045	**4.296**	0.3	**2.551**
	Tendencia $\propto = 0.05$	**TSC**	TSC	**TSC**	TNSC	**TSC**

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 21 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura media de la estación Carumas, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura media en la estación Carumas ha ido incrementándose, pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 20.

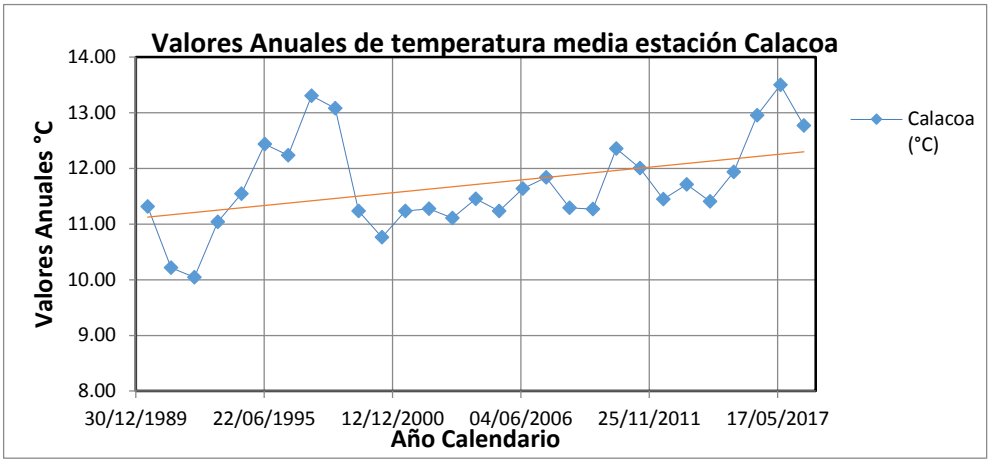
Figura 21 *Línea de tendencia en la Temperatura Media anual – estación Carumas*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 22 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura media de la estación Calacoa, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura media en la estación Calacoa ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 20.

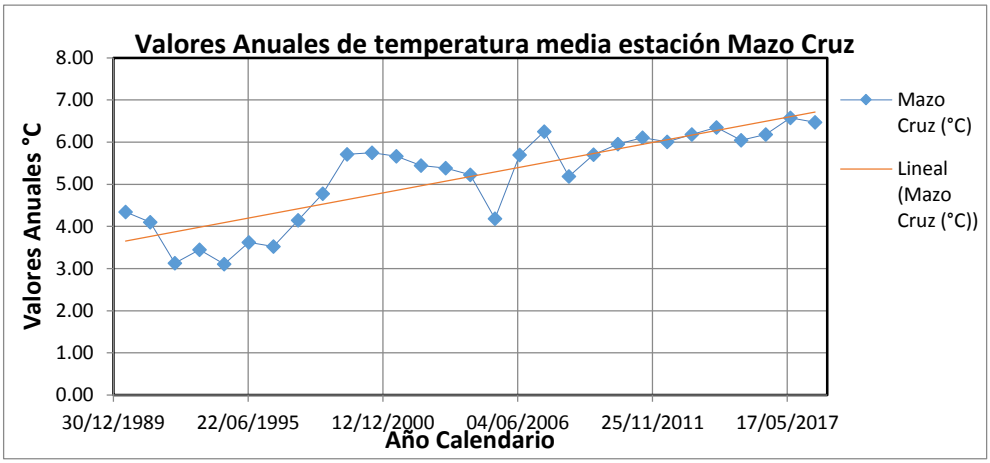
Figura 22 *Línea de tendencia en la Temperatura Media anual – estación Calacoa*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 23 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura media de la estación Mazo Cruz, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura media en la estación Mazo Cruz ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 20.

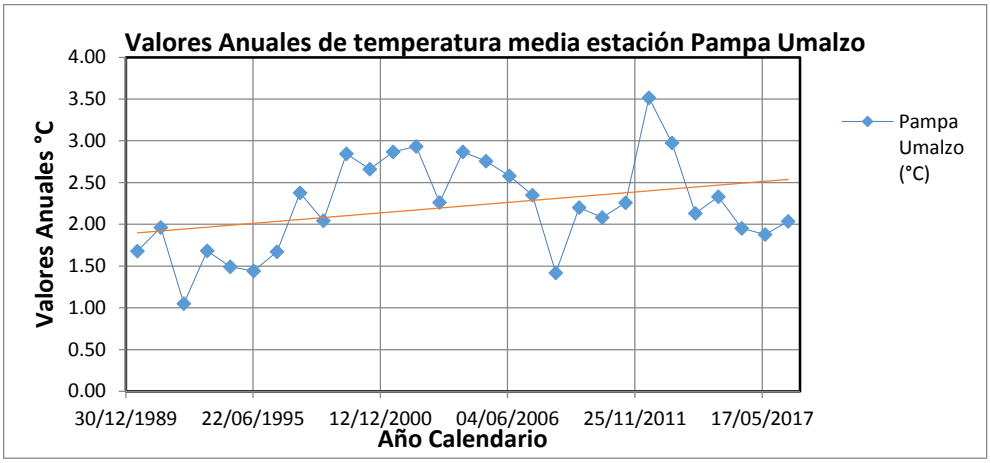
Figura 23 *Línea de tendencia en la Temperatura Media anual - estación Mazo Cruz*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 24 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura media de la estación Pampa Umalzo, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura media en la estación Pampa Umalzo ha ido incrementándose, pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 20.

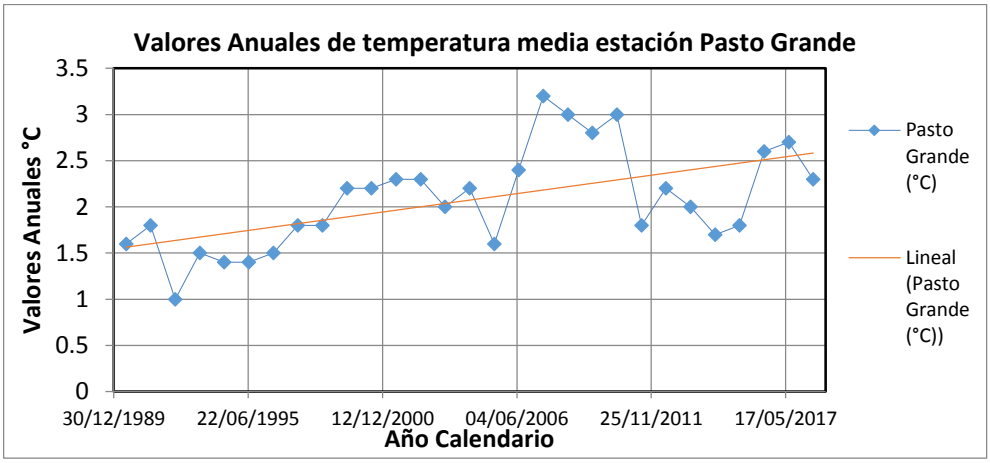
Figura 24 *Línea de tendencia en la Temperatura Media anual - estación Pampa Umalzo*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 25 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura media de la estación Pasto Grande, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura media en la estación Pasto Grande ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 20.

Figura 25 *Línea de tendencia en la Temperatura Media anual - estación Pasto Grande*



Fuente: *Elaboración propia*

4.2.4 Análisis de tendencia de la temperatura mínima anual y trimestral

Con la aplicación del el software TREND y el uso del estadístico de Mann Kendall, se realizó el análisis de tendencia para la variable temperatura mínima con una significancia de 0.05, se analizó los datos de las cinco estaciones para el periodo anual y periodo trimestral, los resultados de la estaciones analizadas se muestra en la tabla 21, que corresponde al periodo de 1990 – 2018.

En la tabla 21 se muestra los resultados del análisis de tendencia de la temperatura mínima para las cinco estaciones, los datos de Temperatura mínima anual de la estación mazo cruz presento tendencia significativa creciente al 95 por ciento de confianza.

Del mismo modo se muestra los resultados del análisis de tendencia para la temperatura media trimestral, donde se observa una tendencia significativa creciente en la estación Mazo Cruz y Pasto Grande en el trimestre DEF.

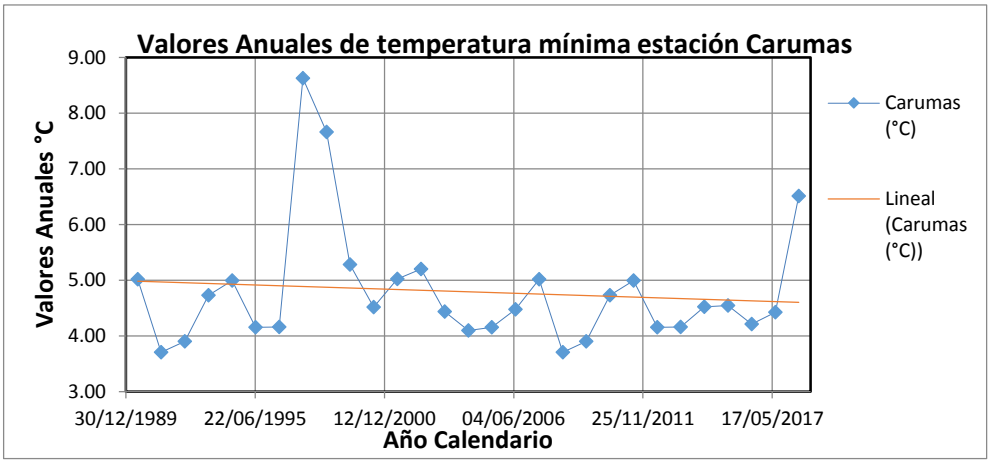
Tabla 21 *Resultado de análisis de tendencia de Temperatura mínima anual para las cinco es taciones*

PERIODOS ESTACIONALES		CARUMAS	CALACOA	MAZO CRUZ	PAMPA UMALZO	PASTO GRANDE
ANUAL	Z_{MK}	-0.45	0.281	**2.814**	-0.394	0.938
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSD	TNSC	**TSC**	TNSD	TNSC
DEF	Z_{MK}	-0.263	-0.075	**3.995**	-0.053	**2.701**
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSD	TNSD	**TSC**	TNSD	**TSC**
MAM	Z_{MK}	0.053	-0.581	1.519	0.525	1.463
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSD	TNSC	TNSC	TNSC
JJA	Z_{MK}	-1.107	-0.244	1.069	1.069	-0.506
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSD	TNSD	TNSC	TNSC	TNSD
SON	Z_{MK}	0.281	0.113	1.763	-0.919	0.882
	Tendencia $\propto = 0.05$	TNSC	TNSC	TNSC	TNSD	TNSC

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 26 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura mínima de la estación Carumas, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es negativa, de acuerdo al grafico la temperatura mínima en la estación Carumas ha ido disminuyendo, pero el decrecimiento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 21.

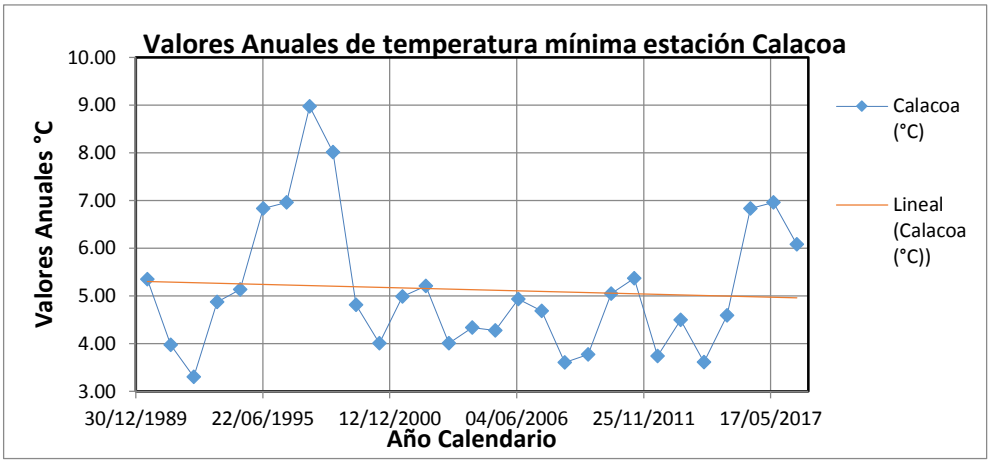
Figura 26 *Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Carumas*



Fuente*: Elaboración propia*

En la figura 27 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura mínima de la estación Calacoa, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es negativa, de acuerdo al grafico la temperatura mínima en la estación Calacoa ha ido disminuyendo, pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 21.

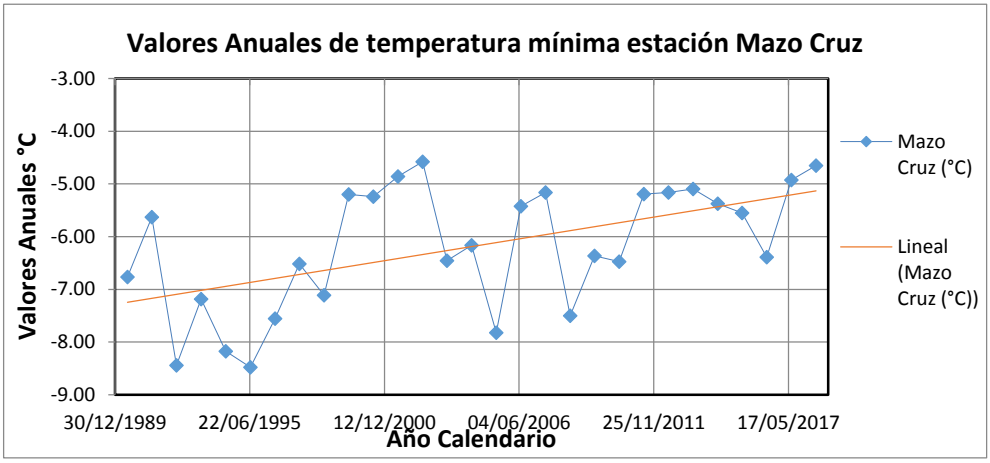
Figura 27 *Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Calacoa*



Fuente*: Elaboración propia*

En la figura 28 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura mínima de la estación Mazo Cruz, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura mínima en la estación Mazo Cruz ha ido incrementándose, por lo que se puede afirmar que existe una tendencia significativa creciente al 95% de confianza, se contrasta con la tabla 21.

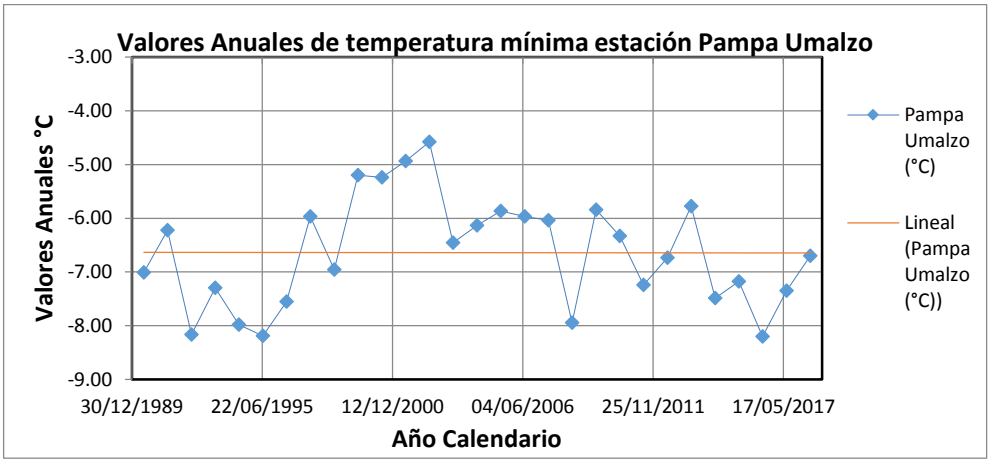
Figura 28 *Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Mazo Cruz*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 29 se muestra el resultado grafico lineal de temperatura mínima de la estación Pampa Umalzo, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura mínima en la estación Pampa Umalzo ha ido disminuyendo, pero el decrecimiento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 21.

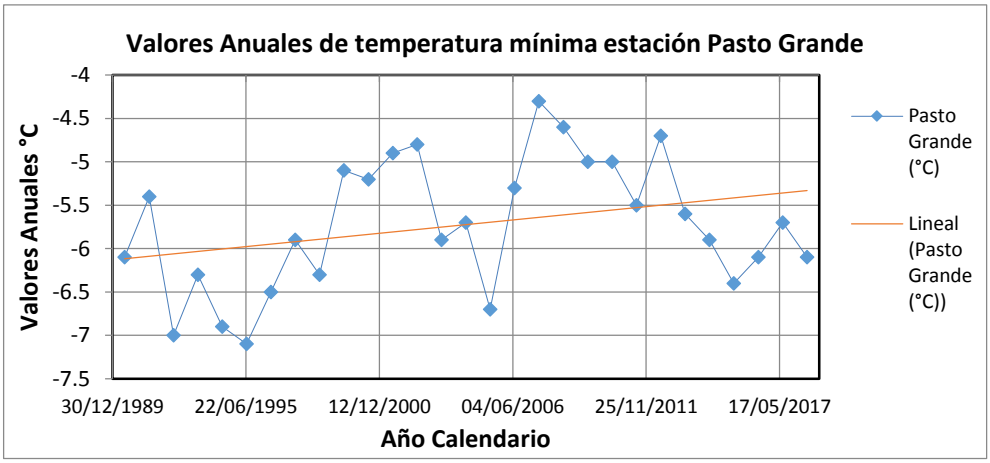
Figura 29 *Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Pampa Umalzo*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 30 se muestra el resultado grafico lineal de Temperatura mínima de la estación Pasto Grande, donde se puede observar que en el periodo de 1990 al 2018 la línea de tendencia es positiva, de acuerdo al grafico la temperatura mínima en la estación Pasto Grande ha ido incrementándose, pero el incremento no es significativo al 0.05 se puede contrastar con la tabla 21.

Figura 30 *Línea de tendencia en la Temperatura mínima anual - estación Pasto Grande*



Fuente: *Elaboración propia*

4.3 Análisis del comportamiento dinámico del área glaciar

Se ha realizado el cálculo del área glaciar en base a las imágenes satelitales de Landsat 5TM y Landsat 8 OLI periodo de 1990 al 2018, las imágenes pasaron por un proceso de corrección radiométrica por banda, posterior a ello se calculó el índice Normalizado de diferenciación de nieve – NDSI, las cuales fueron reclasificadas y convertidas de formato raster a shapefile, de tal forma que se obtuvo el área del glaciar, este proceso se realizó para cada imagen satelital.

En la tabla 22 se muestra el resultado del cálculo de área glaciar, donde se muestra el área glaciar para cada año en km2 y el área que se ha perdido.

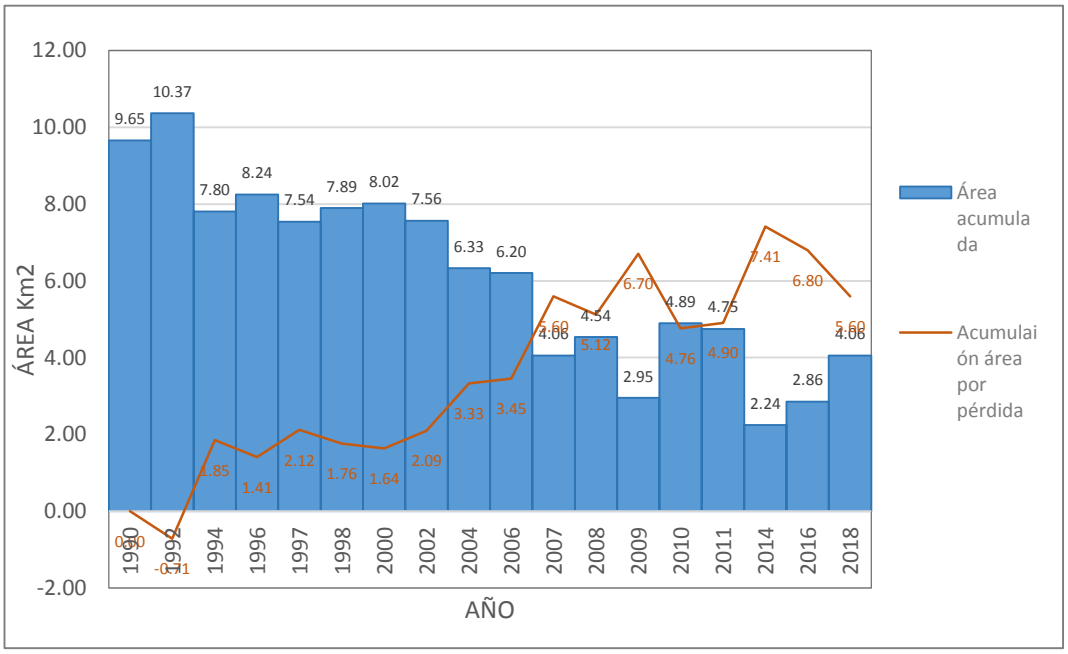
Tabla 22 *Área del Nevado Santocoronado*

año	Área Glaciar (km2)	Perdida del área Glaciar (km2)	Perdida del área Glaciar %
1990	9.65		
1992	10.37	-0.71	-13%
1994	7.80	2.57	46%
1996	8.24	-0.44	-8%
1997	7.54	0.71	13%
1998	7.89	-0.36	-6%
2000	8.02	-0.12	-2%
2002	7.56	0.45	8%
2004	6.33	1.24	22%
2006	6.20	0.12	2%
2007	4.06	2.15	38%
2008	4.54	-0.48	-9%
2009	2.95	1.58	28%
2010	4.89	-1.94	-35%
2011	4.75	0.15	3%
2014	2.24	2.51	45%
2016	2.86	-0.62	-11%
2018	4.06	-1.20	-21%
TOTAL		**5.60**	**100%**

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 31, se observa el resultado del área calculada del nevado Santocoronado en los diferentes años propuestos, se puede observar que del año 1990 al 2009, hubo ablación (perdida de nieve), mientras que para el año 2010 y 2011 tendió a recuperase, pero para el año 2014 vuelve a registrase una pérdida del área, y por ultimo para el año 2016 y 2018 tendió a recuperarse, de tal forma se observa una dinámica del área glaciar del nevado Sato Coronado dada básicamente por los proceso de balance de masa glaciar, pero sin embargo en este periodo de 28 años se ha registrado mayor ablación que acumulación glaciar.

Figura 31 *Dinámica del área Glaciar del nevado Santocoronado*

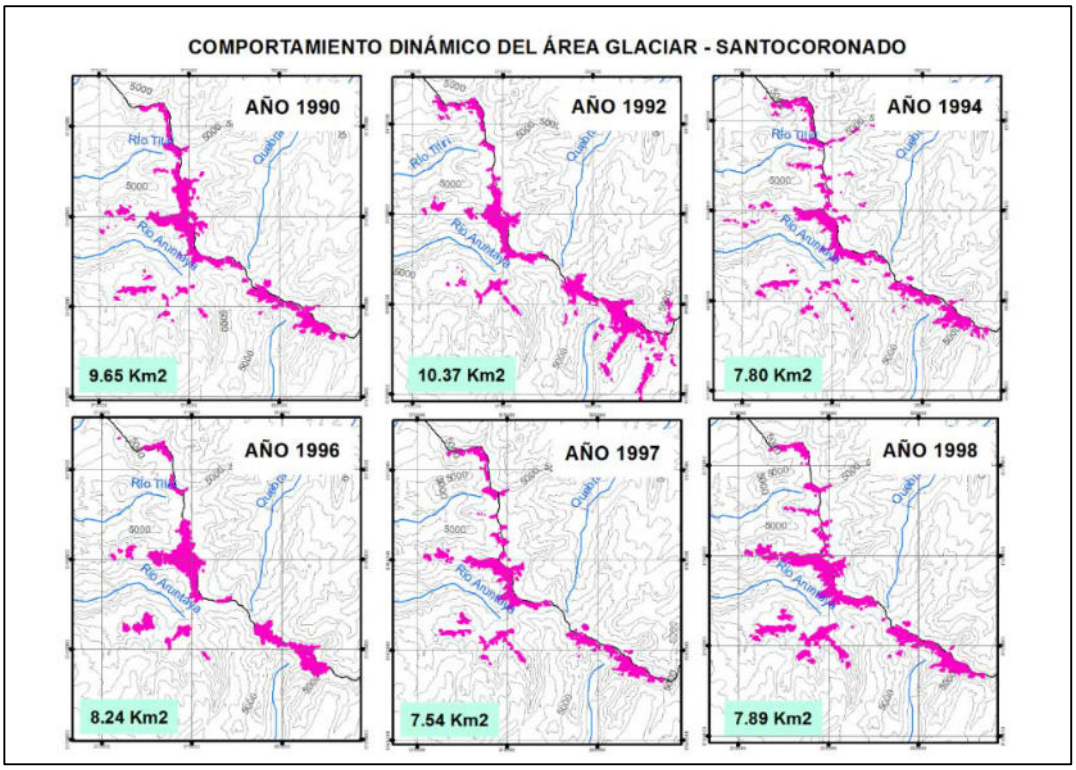


Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 32, 33 y 34 se muestra el resultado grafico del proceso de hallar el área glaciar del nevado Santocoronado utilizando el software ARCGIS 10.5, en los mapas temáticos se puede observar el comportamiento dinámico del área glaciar en el periodo de 1990 al 2018.

En la figura 32 se muestra el resultado del cálculo del área glaciar de 1990 a 1998, donde se evidencia un balance de masa glaciar, existiendo en este periodo pérdida y ganancia de nieve, que es un proceso normal en los glaciares, sin embargo el área glaciar para el año 1998 es menor que el área glaciar en 1990.

Figura 32 *Comportamiento dinámico del área glaciar 1990, 1992, 1994, 1996, 1997 y 1998.*

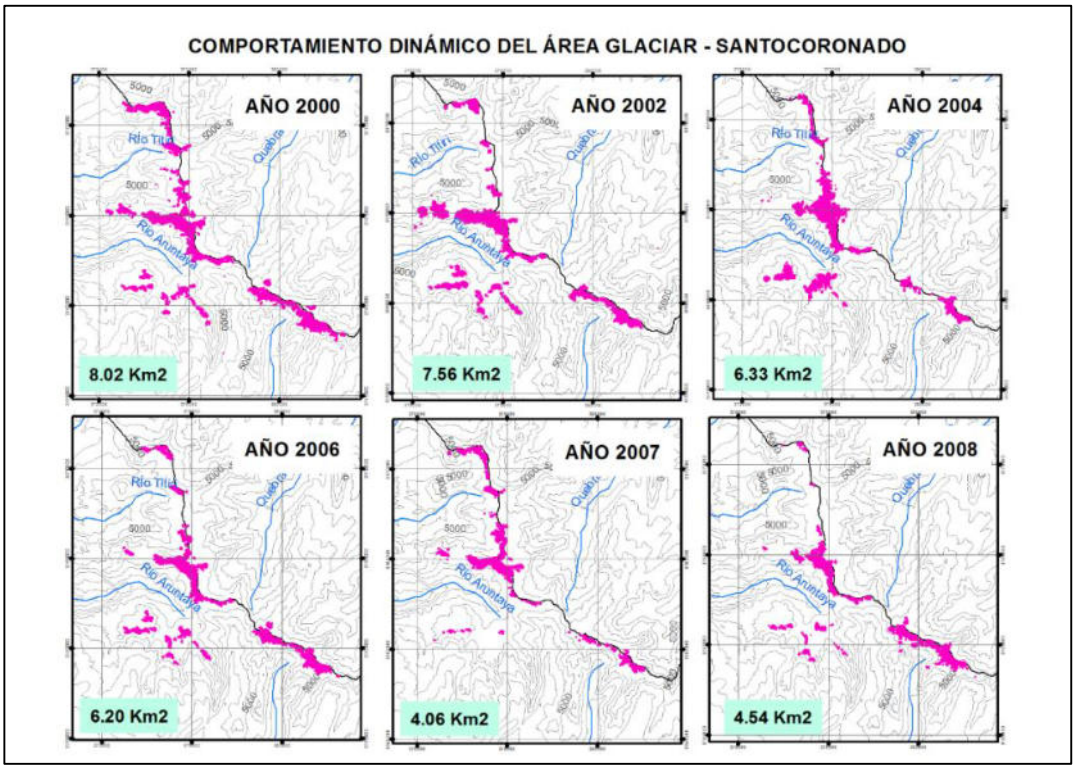


Fuente: *Elaboración propia*

Nota: *En la figura se hace una comparación Grafica de las áreas del Glaciar calculadas para el año de 1990, 1992, 1994, 1996, 1997 y 1998; donde se evidencia la ablación y acumulació n del área glaciar.*

En la figura 33 se muestra el resultado del área glaciar para el periodo 2000 a 2008, donde se evidencia una pérdida continua del área glaciar, el área glaciar para el 2008 es la mitad de lo que era en el año 2000, viéndose una pérdida del 50 por ciento, por lo que en este periodo ha habido mayor ablación que acumulación glaciar.

Figura 33 *Comportamiento dinámico del área glaciar 2000 , 2002, 2004, 2006, 2007 y 2008*

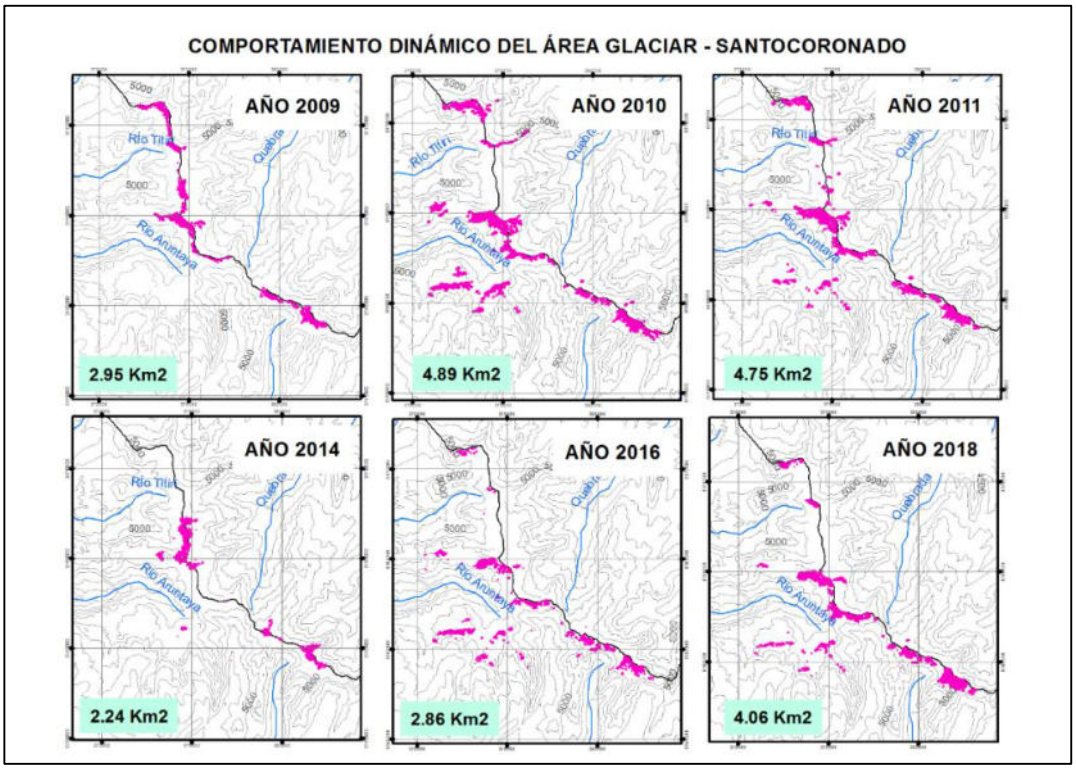


Fuente: *Elaboración propia*

Nota: *En la figura se hace una comparación Grafica de las áreas del Glaciar calculadas para el año de 2000, 2002, 2004, 2006 y 2007; donde se evidencia la ablación mas no la acumula ción del área glaciar.*

En la figura 34 se muestra el resultado del área glaciar para el periodo 2009 a 2018, donde se evidencia el balance de masa glaciar, presentándose mayor acumulación de nieve que perdida de la misma, se observa que para el año 2018 el área del glaciar es mayor que en el año 2009, en este periodo ha habido mayor acumulación que perdida glaciar.

Figura 34 *Comportamiento dinámico del área glaciar 2009, 2010, 2011,2014, 2016 y 2018.*



Fuente: *Elaboración propia*

Nota: *En la figura se hace una comparación Grafica de las áreas del Glaciar calculadas para el año de 2009, 2010, 20011, 2014, 2016 y 2018; donde se evidencia la ablación y acumulaci ón del área glaciar.*

4.4 Análisis de correlación entre la variabilidad climática y comportamiento dinámico del área glaciar

Para el análisis de correlación entre la variabilidad climática del entorno y la dinámica del área glaciar se utilizó el programa estadístico SPSS, para lo cual se consideró la precipitación anual, Temperatura máxima anual, Temperatura media anual y la Temperatura mínima anual registradas en la estación Pasto Grande, debido a que esta estación es la más cercana al nevado Santocoronado.

El análisis de correlación fue mediante el test de r de Pearson formula (15) donde básicamente se maneja dos hipótesis, hipótesis nula donde r es igual a cero, ésta rechaza la existencia de una correlación entre las variables, y la hipótesis alternativa donde r es diferente a cero y menor e igual a uno, ésta acepta que existe una correlación en las variables, se ha empleado la hipótesis nula y alternativa en cada correlación.

Una vez hallado el r de cada una de las correlaciones, se ha efectuado la prueba de la hipótesis con el estadístico de prueba t – student formula estadística (17), básicamente rechaza o acepta la hipótesis nula, donde el valor critico obtenido de la tabla de distribución de t, es mayor e igual o menor a t calculado.

Se utilizó los datos de precipitación y de temperatura de los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2016 y por ultimo 2018. Debido a que anteriormente se calculó el área glaciar para estos años. Como se muestra en la Tabla 21.

4.4.1 Análisis de correlación entre la variabilidad de la temperatura y la variabilidad de la precipitación anual 1990 – 2018

En la siguiente tabla se registra los datos de precipitación anual en mililitros (mm) unidad de medida de la precipitación y los datos de temperatura media anual, registradas en la estación Pasto Grande en el periodo de 1990 al 2018.

En la tabla 23 se muestra los datos de precipitación y Temperatura, para determinar la correlación entre las dos variables, se ha considerado los datos de precipitación y temperatura media anual de 1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2016 y 2018.

Tabla 23 *Precipitación y temperatura media anual*

año	Precipitación anual mm	Temperatura media °C
1990	153.90	1.60
1992	55.60	1.00
1994	205.10	1.40
1996	171.30	1.50
1997	422.10	1.80
1998	244.30	1.80
2000	333.30	2.20
2002	330.90	2.30
2004	259.50	2.20
2006	345.60	2.40
2007	180.80	3.20
2008	258.10	3.00
2009	158.60	2.80
2010	378.30	3.00
2011	489.50	1.80
2014	299.10	1.70
2016	274.70	2.60
2018	405.20	2.30

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 24 se muestra el resultado de la prueba de normalidad Shapiro Wilk para la variable precipitación y temperatura media, se observa que la significancia p de la precipitación y temperatura media, es mayor que 0.05, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula y se afirma que las variables siguen una distribución normal.

Tabla 24 *prueba de normalidad Shapiro wilk*

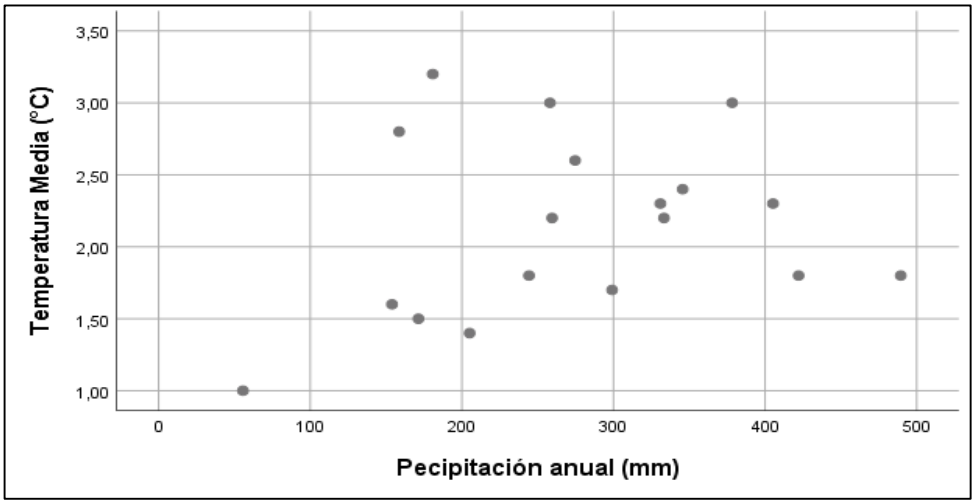
Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. p
Precipitación (mm)	0.988	18	0.996
Temperatura media (°C)	0.969	18	0.775

Fuente Elaboración propia

En la figura 35, se muestra el resultado grafico de la dispersión entre la temperatura media anual y la precipitación anual de la estación Pasto Grande en el periodo de 1990 a 2018

Figura 35 *Diagrama de dispersión de la Temperatura media y precipitación anual*



Fuente: *Elaboración propia*

Posterior al diagrama, se ha calculado la correlación con el test estadístico r de Pearson, entre la variable precipitación anual y la temperatura media anual de la estación Pasto Grande en el periodo de 1990 al 2018.

En la tabla 25 se muestra el resultado del análisis de correlación entre la precipitación y la temperatura media, donde se observa un $r = 0.222$ que indica una baja correlación entre las dos variables, ya que para una correlación regular o buena el r debe ser mayor a 0.6.

Tabla 25 *Correlación entre la precipitación y temperatura media anual*

Correlaciones			
		PP anual mm	Temperatura Media °C
Precipitación anual mm	Correlación de Pearson	1	0,222
	Sig. (bilateral)		0,376
	N	18	18
Temperatura Media	Correlación de Pearson	0,222	1
	Sig. (bilateral)	0,376	
	N	18	18

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 26 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de correlación, para la prueba se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se puede observar que la t calculada es menor al valor crítico de la tabla de t – student al 0.05, por ende se acepta la Ho hipótesis nula, que menciona que no existe una correlación lineal entre la variabilidad de la precipitación y la variabilidad de temperatura media anual en la estación Pasto Grande, debido a que el t calculado es menor a valor crítico de la tabla t-student.

Tabla 26 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la precipitación anual y la temperatura media*

Prueba de hipótesis al 95 %					
n-2	**r**	**Error Están.**	**t- S 0.05**	**t= r/Ee**	**Evaluación**
16	0.222	0.244	2.12	0.911	0.911 < 2.12
El coeficiente de correlación no es significativo (p<0.05)					

Fuente: *Elaboración propia*

4.4.2 Análisis de correlación entre la variabilidad de precipitación anual y el retroceso del área glaciar calculada periodo 1990 – 2018

En la siguiente tabla se registra los datos de precipitación anual en mililitros (mm) unidad de medida de la precipitación, registradas en la estación Pasto Grande y el área glacial del nevado Santocoronado en el periodo de 1990 al 2018.

En la tabla 27 se muestra los datos de precipitación anual y el área glaciar del periodo 1990 al 2018, los datos se utilizaron para determinar la correlación.

Tabla 27 *Precipitación anual de la estación Pasto Grande y área glaciar*

año	Precipitación anual mm	Área Glaciar km2
1990	153.90	9.65
1992	55.60	10.37
1994	205.10	7.80
1996	171.30	8.24
1997	422.10	7.54
1998	244.30	7.89
2000	333.30	8.02
2002	330.90	7.56
2004	259.50	6.33
2006	345.60	6.20
2007	180.80	4.06
2008	258.10	4.54
2009	158.60	2.95
2010	378.30	4.89
2011	489.50	4.75
2014	299.10	2.24
2016	274.70	2.86
2018	405.20	4.06

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 28 se muestra el resultado de la prueba de normalidad Shapiro Wilk para la variable precipitación y área glaciar, se observa que la significancia p de las variables es mayor que 0.05, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula, por lo que se puede afirmar que las variables siguen una distribución normal.

Tabla 28 *Prueba de normalidad Shapiro Wilk*

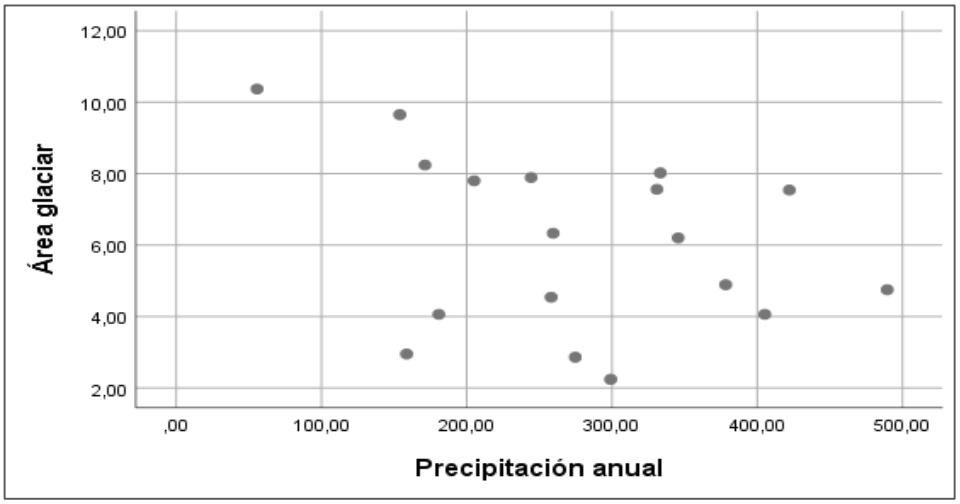
Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. p
Precipitación (mm)	0.988	18	0.996
Área Glaciar (km2)	0.952	18	0.462

Fuente Elaboración propia

En la figura 36 se muestra el resultado grafico de la dispersión entre la precipitación anual y el área glaciar, con el programa estadístico SPSS se ha elaborado el diagrama de dispersión entre las dos variable a 2018, se puede observar un diagrama de dispersión no lineal.

Figura 36 *Diagrama de dispersión de la variable Precipitación Anual y área glaciar*



Fuente: *Elaboración propia*

Posterior al diagrama, se ha calculado la correlación con el test estadístico r de Pearson, entre las dos variables en el periodo de 1990 al 2018.

En la tabla 29 se muestra el resultado del análisis de correlación entre las dos variables, se obtuvo una correlación baja con $r = -0.338$, ya que para que sea significativa el r tiene que ser mayor a 0.6.

Tabla 29 *Coeficiente de correlación entre la precipitación y el área glaciar*

Correlaciones			
		Precipitación anual	Área glaciar
Precipitación anual	Correlación de Pearson	1	-0,338
	Sig. (bilateral)		0.169
	N	18	18
Área glaciar	Correlación de Pearson	-0.338	1
	Sig. (bilateral)	0.169	
	N	18	18

Fuente: *Elaboración propia SPSS 25*

En la tabla 30 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de la correlación, para la prueba se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se puede observar que la t calculada es menor al valor crítico, lo que indica que la correlación no es significativa, por ende se acepta la Ho hipótesis nula, que menciona que no existe una correlación lineal entre la variabilidad de la precipitación en la estación Pasto Grande y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado, debido a que el t calculado es menor al valor crítico de la tabla de t-student.

Tabla 30 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la precipitación anual y el área glaciar*

Prueba de hipótesis al 95 %					
n-2	**r**	**Error Están.**	**t- S 0.05**	**t=r/Ee**	**Evaluación**
16	-0.338	-0.2352	2.12	1.437	1.437 < 2.12
El coeficiente de correlación no es significativo (p<0.05)					

Fuente: *Elaboración propia*

4.4.3 Análisis de correlación entre la variabilidad de temperatura máxima anual y el retroceso del área glaciar calculada periodo 1990 – 2018

En la siguiente tabla se registra los datos de la Temperatura máxima anual en grados centígrados (°C), registradas en la estación Pasto Grande en el periodo de 1990 al 2018.

En la tabla 31 se muestra los datos de temperatura máxima y el área glaciar del periodo 1990 a 2018, para determinar la correlación entre las dos variables.

Tabla 31 *Temperatura máxima anual de la estación Pasto Grande y área glaciar*

año	Temperatura máxima (°C)	Área Glaciar (km2)
1990	9.40	9.65
1992	9.10	10.37
1994	9.80	7.80
1996	9.50	8.24
1997	9.60	7.54
1998	9.80	7.89
2000	9.50	8.02
2002	9.40	7.56
2004	10.20	6.33
2006	10.00	6.20
2007	10.60	4.06
2008	10.60	4.54
2009	10.50	2.95
2010	11.00	4.89
2011	9.10	4.75
2014	9.30	2.24
2016	11.40	2.86
2018	10.70	4.06

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 32 se muestra el resultado de la prueba de normalidad Shapiro Wilk para la variable temperatura máxima y área glaciar, se observa que la significancia p de las variables es mayor a 0.05, por lo que se rechaza la Ho hipótesis nula y se puede afirmar que las variables siguen una distribución normal.

Tabla 32 Prueba de normalidad Shapiro Wilk

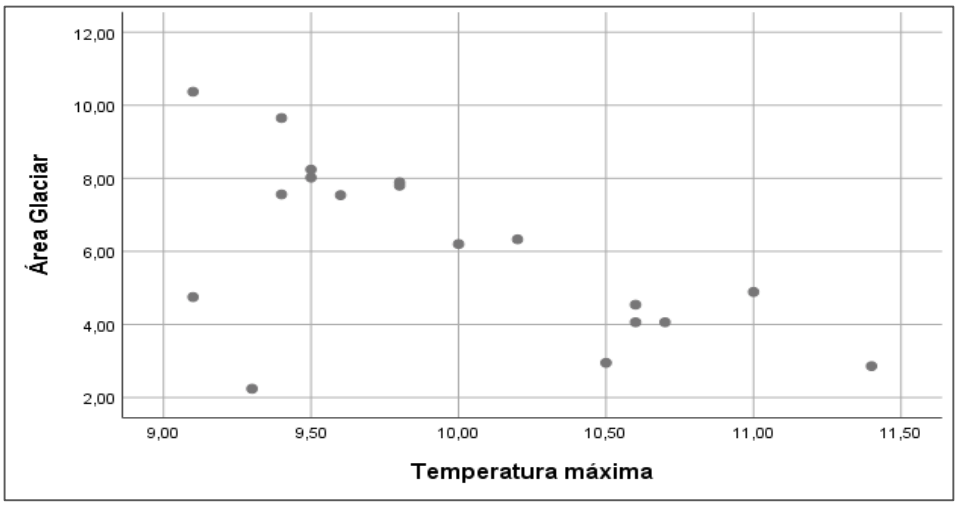
Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. p
Temperatura máxima (°C)	0.931	18	0.198
Área Glaciar (km2)	0.952	18	0.462

Fuente Elaboración propia

En la figura 37 se muestra el resultado del diagrama de dispersión entre la variable temperatura máxima y el área del glaciar, con el programa estadístico SPSS se ha elaborado el diagrama de dispersión entre las dos variables en el periodo de 1990 al 2018, se puede observar un diagrama de dispersión lineal.

Figura 37 *Diagrama de dispersión entre la variable Temperatura máxima y área glaciar*



Fuente: *Elaboración propia SPSS 25*

En la tabla 33 se muestra el resultado del análisis de correlación entre las variables temperatura máxima y el área glaciar, con el programa estadístico SPSS se ha calculado la correlación lineal r de Pearson, entre las dos variables en el periodo de 1990 al 2018; Como resultado se obtuvo una correlación inversamente significativa $r = -0.607$, al 99 por ciento de confianza, lo cual indica que la dinámica del área glaciar tiene relación con la temperatura máxima.

Tabla 33 *Coeficiente de correlación entre la Temperatura máxima y el área glaciar*

Correlaciones			
		Temperatura máxima C°	Área Glaciar Km2
Temperatura máxima C°	Correlación de Pearson	1	-0.607**
	Sig. (bilateral)		0,008
	N	18	18
Área Glaciar Km2	Correlación de Pearson	-0.607**	1
	Sig. (bilateral)	0.008	
	N	18	18

Fuente: *Elaboración propia SPSS 25*

En la tabla 34 se muestra la prueba de hipótesis al 95 % entre la temperatura máxima y el área glaciar, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula, se menciona que existe una correlación inversamente lineal entre la temperatura máxima anual de la estación Pasto Grande y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado, se afirma que si la temperatura máxima aumenta, entonces el área del glaciar se reduce, y si la temperatura disminuye, entonces el área del glaciar incrementara.

Tabla 34 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la Temperatura máxima anual y el área glaciar*

Prueba de hipótesis al 95 %					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t-S 0.05**	**E*t**	**Evaluación**
16	-0.607	-0.1987	2.12	3.055	**3.055 > 2.12**
El coeficiente de correlación es significativo (p<0.05)					

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 35 se muestra la prueba de hipótesis al 99 % entre la temperatura máxima y el área glaciar, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula, se menciona que existe una correlación inversamente lineal entre la temperatura máxima anual de la estación Pasto Grande y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado, se afirma que si la temperatura máxima aumenta, entonces el área del glaciar se reduce, y si la temperatura disminuye, entonces el área del glaciar incrementara.

Tabla 35 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la Temperatura máxima anual y el área glaciar*

Prueba de hipótesis al 99%					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t-S 0.01**	**t=r/Ee**	**Evaluación**
16	-0.607	-0.1987	2.92	3.055	**3.055 > 2.92**
El coeficiente de correlación es significativo (p<0.01)					

Fuente: *Elaboración propia*

4.4.4 Análisis de correlación entre la variabilidad de temperatura media anual y el retroceso del área glaciar

En la siguiente tabla se registra los datos de la Temperatura media anual en grados centígrados (°C), registradas en la estación Pasto Grande en el periodo de 1990 al 2018.

En la tabla 36 se muestra los datos de la temperatura media y el área del glaciar en el periodo de 1990 a 2018, los datos se emplearon para determinar la correlación entre las dos variables.

Tabla 36 *Temperatura media anual de la estación Pasto Grande y área glaciar*

año	Temperatura media (°C)	Área Glaciar (km2)
1990	1.60	9.65
1992	1.00	10.37
1994	1.40	7.80
1996	1.50	8.24
1997	1.80	7.54
1998	1.80	7.89
2000	2.20	8.02
2002	2.30	7.56
2004	2.20	6.33
2006	2.40	6.20
2007	3.20	4.06
2008	3.00	4.54
2009	2.80	2.95
2010	3.00	4.89
2011	1.80	4.75
2014	1.70	2.24
2016	2.60	2.86
2018	2.30	4.06

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 37 se muestra el resultado de la prueba de normalidad Shapiro Wilk para la temperatura media y área glaciar, se observa que el la significancia p de las variables es mayor que 0.05, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula y se puede afirmar que las variables siguen una distribución normal.

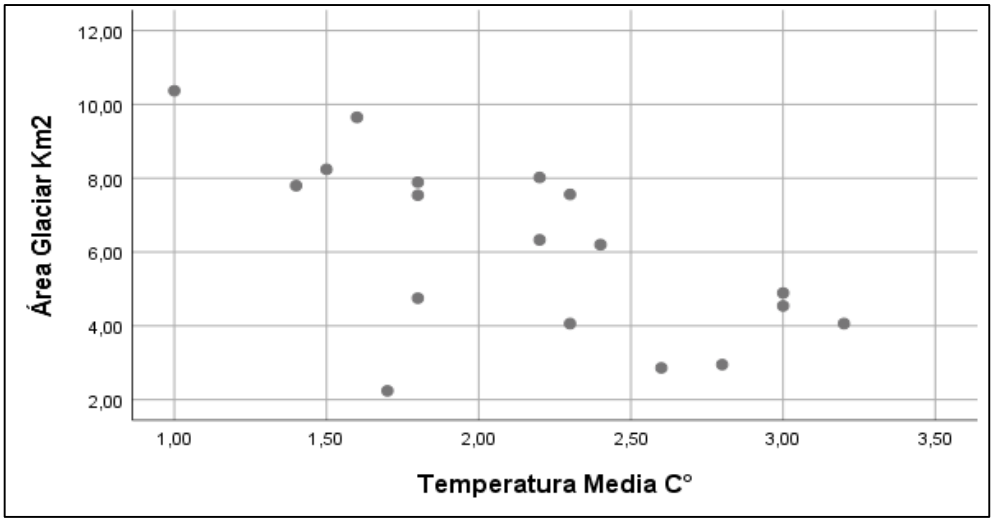
Tabla 37 Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.p
Temperatura media (°C)	0.969	18	0.775
Área Glaciar (km2)	0.952	18	0.462

Fuente Elaboración propia

En la figura 38 se muestra el resultado del diagrama de dispersión entre la variable temperatura media y el área glaciar, con el programa estadístico SPSS se ha elaborado el diagrama de dispersión entre las dos variable, se observa un diagrama de dispersión inversamente lineal.

Figura 38 *Diagrama de dispersión entre la variable Temperatura media y área glaciar*



Fuente: *Elaboración propia SPSS25*

En la tabla 38 se muestra el resultado del análisis de correlación entre la temperatura media y el área glaciar en el periodo 1990 a 2018, se observa una correlación inversamente significativa al 95 por ciento de confianza, con un $r = -0.649$.

Tabla 38 *Coeficiente de correlación entre la Temperatura media anual y el área glaciar*

Correlaciones

		Temperatura Media C°	Área Glaciar Km2
Temperatura Media C°	Correlación de Pearson	1	-0.649**
	Sig. (bilateral)		0.004
	N	18	18
Área Glaciar Km2	Correlación de Pearson	-0.649**	1
	Sig. (bilateral)	0.004	
	N	18	18

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 39 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de la correlación entre las dos variables, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se observa que el t calculado es mayor que el valor crítico, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula, se menciona que existe una correlación inversamente lineal entre la temperatura media anual de la estación Pasto Grande y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado.

Tabla 39 *Prueba de Hipótesis de la correlación entre la Temperatura media anual y el área g laciar al 95 por ciento.*

Prueba de hipótesis al 95 %					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t-S 0.05**	**t=r/Ee**	**Evaluación**
16	-0.649	-0.1902	2.12	-0.3994	**3.412 > 2.12**
El coeficiente de correlación es significativo (p<0.05**)**					

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 40 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de la correlación entre las dos variables, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se observa que el t calculado es mayor al valor crítico de la tabla t-student, por ende se rechaza la Ho hipótesis nula, se menciona que existe una correlación inversamente lineal entre la temperatura media anual de la estación Pasto Grande y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado,

Tabla 40 *Prueba de Hipótesis de la correlación entre la Temperatura media anual y el área gl aciar al 99 por ciento.*

Prueba de hipótesis al 99%					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t-S 0.01**	**t=r/Ee**	**Evaluación**
16	-0.649	-0.1902	2.88	3.412	**3.142 > 2.88**
El coeficiente de correlación es significativo (p<0.01)					

Fuente: *Elaboración propia*

4.4.5 Análisis de correlación entre la variabilidad de temperatura mínima anual y el retroceso del área glaciar

En la siguiente tabla se registra los datos del promedio de Temperatura mínima anual en grados centígrados (°C), registradas en la estación Pasto Grande en el periodo de 1990 al 2018.

En tabla 41 se muestra los datos de la temperatura mínima y el área del glaciar en el periodo 1990 a 2018, los datos se emplearon para determinar la correlación entre las dos variables.

Tabla 41 *Temperatura mínima anual de la estación Pasto Grande y área glaciar*

año	Temperatura mínima (°C)	Área Glaciar (km2)
1990	-6.10	9.65
1992	-7.00	10.37
1994	-6.90	7.80
1996	-6.50	8.24
1997	-5.90	7.54
1998	-6.30	7.89
2000	-5.20	8.02
2002	-4.80	7.56
2004	-5.70	6.33
2006	-5.30	6.20
2007	-4.30	4.06
2008	-4.60	4.54
2009	-5.00	2.95
2010	-5.00	4.89
2011	-5.50	4.75
2014	-5.90	2.24
2016	-6.10	2.86
2018	-6.10	4.06

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 42 se muestra el resultado de la prueba de normalidad Shapiro Wilk para la variable temperatura mínima y área glaciar, se observa que la significancia p de las variables es mayor que 0.05, por lo que se rechaza la Ho hipótesis nula, por ende se afirma que las variables siguen una distribución normal.

Tabla 42 *Prueba de normalidad Shapiro Wilk*

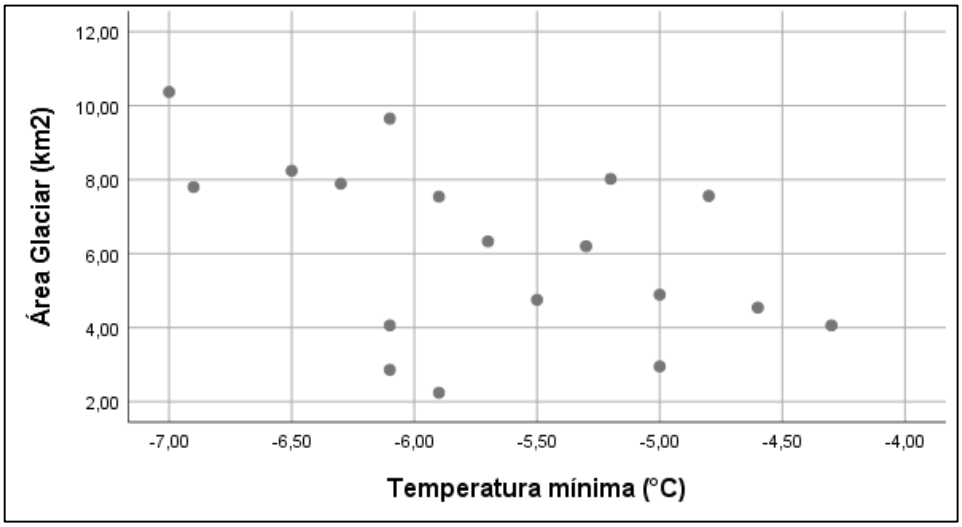
Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. p
Temperatura mínima (°C)	0.975	18	0.890
Área Glaciar (km2)	0.952	18	0.462

Fuente Elaboración propia

En la figura 39 se muestra el resultado grafico de la dispersión entre la temperatura mínima y el área del glaciar para el periodo 1990 a 2018, con el programa estadístico SPSS se ha elaborado el diagrama de dispersión de las dos variables, se observa un diagrama de dispersión inversamente lineal.

Figura 39 *Diagrama de dispersión entre la variable Temperatura mínima y área glaciar*



Fuente: *Elaboración propia SPSS 25*

En la tabla 43 se muestra el resultado del análisis de correlación entre la temperatura mínima y el área del glaciar en el periodo de 1990 al 2018, como resultado se obtuvo una correlación inversa de significancia baja, con un $r = -0.468$, ya que es menor a 0.6.

Tabla 43 *Coeficiente de correlación entre la Temperatura mínima y el área glaciar*

Correlaciones			
		Temperatura mínima (°C)	Área Glaciar (km2)
Temperatura mínima (°C)	Correlación de Pearson	1	-0.468
	Sig. (bilateral)		0.050
	N	18	18
Área Glaciar (km2)	Correlación de Pearson	-0.468	1
	Sig. (bilateral)	0.050	
	N	18	18

Fuente*: Elaboración propia SPSS 25*

En la tabla 44 se muestra la prueba de hipótesis al 95% de la correlación entre la temperatura mínima y el área glaciar, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se observa que el t calculado es menor al valor crítico de la tabla t-student, por lo que se acepta la Ho hipótesis nula, se menciona que no existe correlación entre las variables.

Tabla 44 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura mínima anual y el área gl aciar al 95 por ciento.*

significancia de correlación al 95 %					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t- S 0.05**	**t=r/Ee**	**comparación**
16	-0.468	-0.2209	2.12	2.118	**2.118 < 2.12**
El coeficiente de correlación no es significativo (p<0.05)					

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 45 se muestra la prueba de hipótesis al 99% de la correlación entre la temperatura mínima y el área glaciar, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se observa que el t calculado es menor al valor crítico de la tabla t-student, se acepta la Ho hipótesis nula, por ende se menciona que no existe una correlación lineal entre la temperatura mínima anual de la estación Pasto Grande y la dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado

Tabla 45 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura mínima anual y el área gl aciar al 99 por ciento.*

Prueba de hipótesis al 99%					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t- S 0.01**	**t=r/Ee**	**comparación**
16	-0.468	-0.2209	2.88	2.118	**2.118 < 2.88**
El coeficiente de correlación no es significativo (p<0.01)					

Fuente: *Elaboración propia*

4.5 Estimación del estado dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado para el año 2030

Con los datos de la siguiente tabla se ha realizado una regresión lineal entre los años y la temperatura media, todo ello con el fin estimar la temperatura media anual para el año 2030.

En la tabla 46 se muestra los datos de la temperatura media anual por cada año en el periodo de 1990 al 2018, los datos se emplearon para estimar la temperatura media anual para año 2030, la estimación se realizó con regresión lineal.

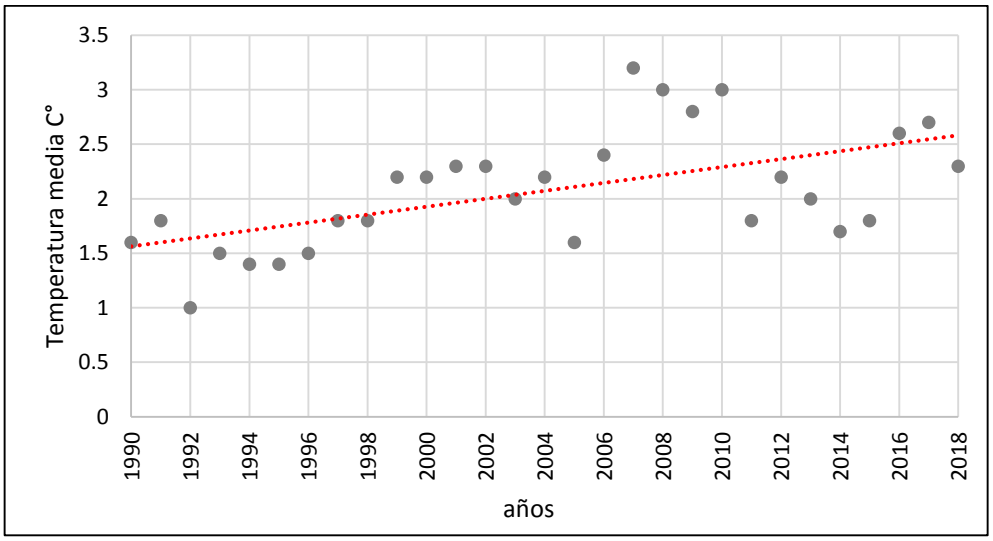
Tabla 46 *Temperatura media anual periodo 1990 - 2018*

AÑOS (x)	TEMPERATURA MEDIA °C (y)	AÑOS (x)	TEMPERATURA MEDIA °C (y)
1990	1.60	2005	1.60
1991	1.80	2006	2.40
1992	1.00	2007	3.20
1993	1.50	2008	3.00
1994	1.40	2009	2.80
1995	1.40	2010	3.00
1996	1.50	2011	1.80
1997	1.80	2012	2.20
1998	1.80	2013	2.00
1999	2.20	2014	1.70
2000	2.20	2015	1.80
2001	2.30	2016	2.60
2002	2.30	2017	2.70
2003	2.00	2018	2.30
2004	2.20	2030	y

Fuente*: Elaboración propia*

En la figura 40 se muestra el resultado del diagrama de dispersión entre los años y la temperatura media para el periodo de 1990 al 2018, se observa la dispersión de la temperatura media anual respecto a los años del periodo de 1990 – 2018 y la línea de tendencia.

Figura 40 *Diagrama de dispersión entre la temperatura media anual respecto a los años*



Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 47, se muestra los estadísticos descriptivos para la temperatura media anual y de los años periodo 1990 – 2018.

Tabla 47 *Estadísticos descriptivos de la temperatura media vs años*

Estadísticos descriptivos

	Media	Desv. Desviación	N
Temperatura Media	2.0724	0.54109	29
Años	2004.00	8.515	29

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 48, se muestra el coeficiente de correlación de r de Pearson para la variable temperatura y años, se observa un coeficiente $r = 0.573$, se podría mencionar que es regularmente aceptable pero para comprobar si existe una correlación se ha realizado la prueba de hipótesis.

Tabla 48 *Coeficiente de correlación entre la Temperatura media y los años de 1990 al 2018*

Correlaciones			
		Años	Temperatura Media
Años	Correlación de Pearson	1.00	0.573**
	Sig. (bilateral)		0.001
	N	29.00	29.00
Temperatura Media	Correlación de Pearson	0.573**	1.00
	Sig. (bilateral)	0.001	
	N	29.00	29.00

Fuente*: Elaboración propia SPSS*

En la tabla 49 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis al 95% de correlación entre la temperatura media y los años en el periodo de 1990 al 2018, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se observa que el t calculado es mayor al valor crítico, por ende se rechaza la hipótesis nula, se menciona que la correlación entre temperatura media y años es significativa.

Tabla 49 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura media y años al 95 por ci ento*

Prueba de hipótesis al 95%					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t- S 0.05**	**t=r/Ee**	**comparación**
16	0.573	0.2048	2.12	2.796	**2.796 > 2.12**
El coeficiente de correlación es significativo (p<0.05)					

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 50 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis al 99% de correlación entre la temperatura media y los años en el periodo de 1990 al 2018, para la prueba de hipótesis se utilizó la formula estadística (17) y la tabla de t-student de doble cola, se observa que el t calculado es menor al valor crítico por ende se acepta la hipótesis nula, no existe una correlación al 99 por ciento, se menciona que no existe una correlación lineal entre la temperatura media anual de la estación Pasto Grande y los años del periodo 1990 al 2018.

Tabla 50 *Prueba de hipótesis de la correlación entre la temperatura media y años al 99 por c iento*

Prueba de hipótesis al 99%					
n-2	**r**	**Error Estándar**	**t- S 0.01**	**t=r/Ee**	**comparación**
16	0.573	-0.2209	2.88	2.796	**2.118 < 2.88**
El coeficiente de correlación no es significativo (p<0.01)					

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 51, se muestra el resultado de la regresión lineal entre la temperatura media y los años; como resultado se obtuvo el siguiente modelo lineal $y = -70.881 + 0.0364x$, el modelo obtenido ha pasado por la prueba de hipótesis de regresión lineal con el fin de ajustar el modelo.

Tabla 51 *Regresión lineal de la Temperatura media anua respecto a lo s años y su ecuación.*

Coeficientes[a]						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	-70.881	20.089		-3.528	0.002
	Años	0.0364	0.010	0,573	3.632	0.001

a. Variable dependiente: Temperatura Media

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 52, se muestra el resultado error típico para una estimación que se aproxime a la realidad.

Tabla 52 *Cálculo del error típico*

error típico		
Sy	**1-r**	**Et**
0.541	0.672	0.363

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 53 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de regresión lineal, esta prueba se realiza con el fin de ajustar el modelo lineal para describir la relación entre temperatura media y años, se observa que la probabilidad de rechazo es baja, por ende se acepta el modelo para realizar estimaciones, Por lo que se rechaza la Ho hipótesis nula ya que la probabilidad de rechazo es baja tanto para el intercepto como para la pendiente por otro lado también se puede observar que el t calculado es mayor al valor crítico, que reafirma el rechazo a la Ho hipótesis nula.

Tabla 53 *Prueba de hipótesis para ajustar el modelo lineal que describe la relaccion entre T° y años al 95 por ciento.*

	Mínimos Cuadrados	***Estándar***	***Estadístico***	**Valor crítico 95%**	**Probabilidad de rechazo**
Parámetro	***Estimado***	***Error***	***T***	***Gl 27***	***Valor-P***
Intercepto	-70.8811	20.0889	-3.52837	2.052	0.0015
Pendiente	0.0364039	0.0100243	3.63157		0.0012

Fuente: *Elaboración propia*

Entonces, para estimar la temperatura media para el año 2030, se puede realizar mediante el siguiente modelo lineal ajustado

$$y = -70.881 + 0.0364x \pm 0.363 \qquad (26)$$

En la tabla 54, se puede observar la aplicación del modelo lineal ajustado para el caculo estimado de temperatura media para el año 2030, dando como resultado una temperatura media de 2.65 y 3.37 °C.

Tabla 54 *Temperatura media estimada para el año 2030*

x (año)	Ecuación	y (Temperatura media estimada °C)
2030	$y = 0.0364x - 70.881 \pm 0.363$	2.65 y 3.37

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 55 se muestra los datos de temperatura media y el área glaciar periodo de 1990 al 2018; se ha realizado la regresión lineal entre las dos variables, con el fin de obtener un modelo lineal para estimar el área del glaciar para el año 2030.

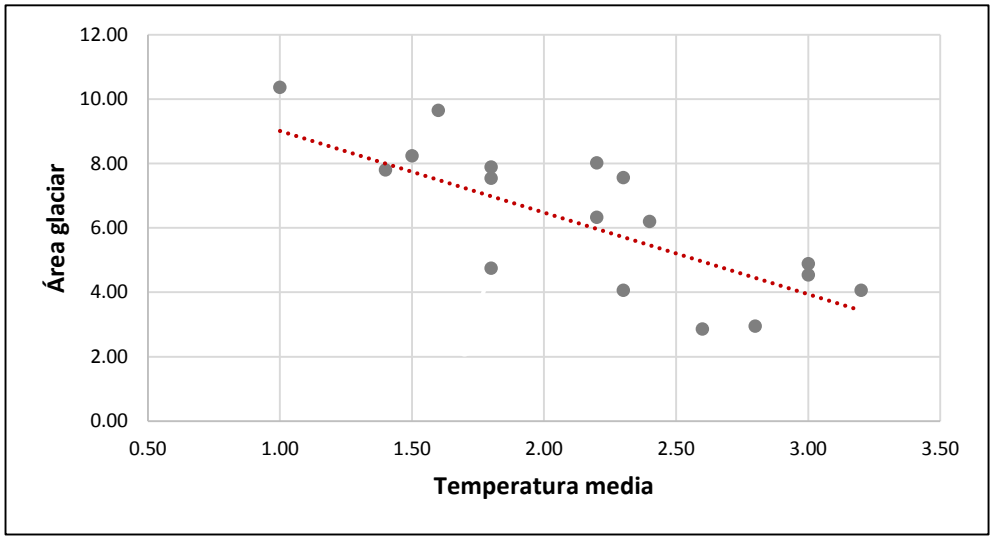
Tabla 55 *Datos de temperatura media y área glaciar*

Años (x)	Temperatura media (y)	área glaciar (u)
1990	1.60	9.65
1992	1.00	10.37
1994	1.40	7.80
1996	1.50	8.24
1997	1.80	7.54
1998	1.80	7.89
2000	2.20	8.02
2002	2.30	7.56
2004	2.20	6.33
2006	2.40	6.20
2007	3.20	4.06
2008	3.00	4.54
2009	2.80	2.95
2010	3.00	4.89
2011	1.80	4.75
2014	1.70	2.24
2016	2.60	2.86
2018	2.30	4.06
2030	3.37	u

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 41 se muestra el resultado de la dispersión de la temperatura media anual respecto al área del glaciar periodo de 1990 – 2018 y la línea de tendencia.

Figura 41 *diagrama de dispersión entre la temperatura media anual respecto al área del glaciar*



Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 56, se muestra los estadísticos descriptivos para la temperatura media anual y del área glaciar en el periodo 1990 – 2018.

Tabla 56 *Datos estadísticos descriptivos*

Estadísticos descriptivos

	Media	Desv. Desviación	N
Área Glaciar	6.1083	2.41107	18
Temperatura Media	2.1444	0.61665	18

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 57 se muestra el resultado de la regresión lineal entre la temperatura media y el área del glaciar para el periodo de 1990 al 2018, se observa el siguiente modelo $u = 11.551 - 2.5378y$, el modelo fue ajustado mediante la prueba de hipótesis.

Tabla 57 *Regresión lineal de del área glaciar respecto a la Temperatura media anual y su ec uación.*

Coeficientes[a]						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	11.551	1.656		6.976	0.00
	Temperatura media	-2.5378	0.744	-0.649	-3.413	0.004

a. Variable dependiente: Área glaciar

Fuente*: Elaboración propia*

En la tabla 58, se muestra el error típico para una estimación que se aproxime a la realidad.

Tabla 58 *Cálculo del error típico*

error típico		
Sy	1-r	Et
2.41	0.579	1.395

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 59 se muestra el resultado de la prueba de hipótesis de regresión lineal, esta prueba se realiza con el fin de ajustar el modelo lineal, por lo que se rechaza la Ho hipótesis nula ya que la probabilidad de rechazo es baja tanto para el intercepto como para la pendiente, por otro lado también se puede observar que el t calculado es mayor al valor crítico, que reafirma el rechazo a la Ho hipótesis nula, por ende es válido el modelo lineal para realizar la estimación del área glaciar para el año 2030.

Tabla 59 *Prueba de hipótesis para ajustar el modelo lienal que describe la relación entre la te mperatura media y el área glaciar*

	Mínimos Cuadrados	***Estándar***	***Estadístic o***	**Valor crítico 95%**	**Probabilidad de rechazo**
Parámetro	***Estimado***	***Error***	***T***	***Gl - 27***	***Valor-P***
Intercepto	11.5506	1.6557	6.97627	2.052	0.0000
Pendiente	-2.53783	0.743596	-3.41292		0.0036

Fuente: *Elaboración propia*

Entonces, para estimar el área del glaciar para el año 2030, se puede realizar mediante el siguiente modelo lineal ajustado.

$$u = 11.551 - 2.5378y \pm 1.395 \qquad (27)$$

En la tabla 60 se muestra el resultado de la aplicación del modelo lineal para estimar el área glaciar para el año 2030, se observa el caculo de estimación del área glaciar para el año 2030 con una temperatura media de 3.37 °C, dando como resultado un área de 4.39 km2.

Tabla 60 *Área del glaciar estimado para el año 2030*

y (Temperatura media estimada)	**Ecuación**	**u (área glaciar estimado km2)**
3.37	$u = -2.5378y + 11.551 + 1.395$	**4.39**

Fuente: *Elaboración propia*

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos se acepta la hipótesis general, si bien es cierto no existe una relación entre la precipitación anual y la dinámica del área glaciar; pero si existe una relación moderadamente fuerte entre la dinámica del área glaciar y temperatura máxima anual y media anual del entorno con un $r = -0.607$ y un $r = -0.649$, con un nivel de confianza del 95 %, entonces se concuerda con (Larraín, 2007) menciona que los glaciares no solo están amenazadas por los cambios climáticos asociados al calentamiento global, sino también por actividades humanas que intervienen directamente el glaciar, Sin embargo, si el promedio de las variable y temperatura siguen aumentado año tras año más el incremento de actividades humanas cerca al glaciar el clima del entorno y del Perú podría verse afectado ya que según (Bomshoms, Quispe, & Quispe, 2018) menciona que el clima del Perú es regulada por la cordillera dando origen a tres regiones: costa, sierra y selva,

Por otro lado los parámetros climáticos de precipitación y temperatura de las cinco estaciones que se encuentran una zona climática similar han sido analizados; como resultado se acepta la hipótesis alternativa aceptando una variación en la precipitación y temperatura ya que se ha presentado fluctuaciones por encima y por debajo del promedio, del mismo modo han presentado una tendencia positiva en el periodo de 1990 al 2018, por lo que se concuerda con (Montealegre & Pabon, 2000), menciona que los valores de las variables meteorológicas como precipitación, temperatura y otros, que fluctúan por encima o por debajo del promedio, se conoce como variabilidad climática.

Del mismo modo se calculó el área del glaciar Santocornado bajo el análisis de 18 imágenes satelitales que pasaron por un proceso de correcciones radiométricas y de reflectancia, se hizo la comparativa de las áreas, dando como resultado que el glaciar Santocoronado ha ido disminuyendo drásticamente su área en el periodo de 1990 al 2018, pero sin embargo hubo años en que el área del glaciar se recuperaba obedeciendo así al proceso natural de balance de masa glaciar concordando con (Cogley et al., 2011) citado por, (Rivera, Bown, Napoleoni, Muñoz, & Vuille, 2016), menciona que la suma de la acumulación y la ablación en un lapso de tiempo dado, hace que el glaciar sea concebido como "sistema" o flujo de caja, donde la acumulación representa una ganancia de masa, por el contrario, la ablación representa la pérdida de masa, por lo que se difiere con (Arroyo & Artica, 2017) menciona que el retroceso de los glaciares es un proceso irreversible y constituye un caso más entre los muchos que existen en el Perú. Sin embargo se puede mencionar que el proceso del comportamiento dinámico del área glaciar si es reversible, pero condicionado por las variables de Temperatura y actividades antrópicas, ya que esta juega un papel importante en la dinámica del área glaciar, no por ello se niega la reducción del área de los glaciares

Se hizo una estimación del área glaciar para el año 2030 todo ello bajo un modelo lineal entre la temperatura media anual y el área glaciar con los datos del periodo de 1990 al 2018, como resultado de la aplicación del modelo se ha obtenido un área 4.39 km2 para el año 2030, dándose una recuperación en el área del glaciar respecto al 2018, sin embargo según can (CAN, 2013) menciona que su capacidad de resiliencia enfrenta la amenaza del aumento sostenido de la temperatura global y los cambios en los patrones de precipitación, de tal modo que para el año 2030 se seguirá con la escasez hídrica si se siguen desarrollando actividades antrópicas cerca a los glaciares concordando con (Sustentable, 2006), menciona que los glaciares sostienen el balance del recurso hídrico y climático en las cuencas; aportan agua a los ríos, lagos y napas subterráneas y son reservas estratégicas de agua dulce.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

Mediante la aplicación del Vector Regional, en el software Hydracces, se ha completado los datos faltantes de precipitación y temperatura para la estación de Calacoa y Pasto Grande. El cual sirvió de base para el al análisis de variabilidad climática tomando como indicadores la tendencia significativas creciente de la data de cada estación, se ha observado que la precipitación de la estación Mazo Cruz y Pasto Grande presentaron tendencia significativa creciente con el 95% de confianza, la temperatura máxima de las cinco estaciones presentaron tendencia significativa creciente con el 95% de confianza, la temperatura media de la estación Calacoa, Mazo Cruz y Pasto Grande presentaron tendencia significativa creciente con el 95% de confianza; por lo que se concluye que las cinco estaciones meteorológicas presentan variabilidad climática.

Mediante el uso del software ArcGIS, se ha realizado las correcciones radiométricas y de reflectancia de las dieciocho imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, que sirvieron de base para el cálculo de Índice normalizado de diferenciación de nieve NDSI, quedando como resultado el área del glaciar de cada imagen procesada; se hizo la comparación de las dieciocho áreas glaciares, se ha observado que para el periodo de 1990 al 2000 el área del glaciar sufre ablación y acumulación, obedeciendo así al balance de masa glaciar que es un proceso natural en los glaciares, pero en el periodo del 2000 al 2007 se ha observado un descenso en el tamaño del área glaciar si ninguna acumulación o ganancia en el área glaciar, viéndose como algo anormal en el proceso de balance de masa glaciar, sin embargo para el periodo del 2009 al 2018, se presenta el proceso de balance de masa glaciar, por lo que se concluye que se ha determinado el comportamiento dinámico del área glaciar obedeciendo al proceso de balance de masa glaciar, viéndose así una pérdida de 5.6 km2 en el periodo de 1990 al 2018.

Aplicando la regresión lineal entre la temperatura media anual y los años se obtuvo el primer modelo para la estimación de temperatura, con el uso del modelo se ha estimado la temperatura media anual para el año 2030, del mismo modo se ha realizado la regresión lineal para la temperatura media anual y el área glaciar del nevado Santocoronado, dando como resultado un segundo modelo, con el uso del segundo modelo se ha estimado el área glaciar para el año 2030, por lo que se concluye que para el año 2030 la temperatura media anual será de 3.37 °C y el área glaciar del nevado Santocoronado será de 4.39 km2.

El área glaciar del nevado Santocoronado respecto a la precipitación, tiene correlación baja con un coeficiente de correlación de $r = -0.338$. El área glaciar del nevado Santocoronado, tiene una correlación inversamente significativa de $r = -0.607$ con la temperatura máxima. El coeficiente de correlación entre el área glaciar del nevado Santocoronado y la Temperatura media anual es inversamente significativa de $r = -0.649$. Por último el área glaciar del nevado Santocoronado, tiene una correlación poco significativa con $r = -0.468$ con temperatura mínima, entonces se concluye que existe una correlación inversamente moderada significativa entre el comportamiento dinámico del área glaciar y la variabilidad climática del entorno.

Por último, se ha desarrollado una aplicación para el registro de la temperatura media y la precipitación en el glaciar Santocoronado, la aplicación usa las bandas del satélite TerraClimate para el periodo de 1990 al 2030, se puede visualizar y descargar la data meteorológica en el siguiente enlace https://rfloresortega11.users.earthengine.app/view/santocoronado

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

Aun no se disponen de datos meteorológicos de un largo periodo del propio nevado por lo que se recomienda a las entidades de competentes la implementación de estaciones meteorológicas en el nevado de interés y a los otros nevados de la región y país, con la finalidad de monitorear datos meteorológicos, por ser sensibles ante la variación climática e importantes por su aporte hídrico en la cuenca.

La dinámica del área glaciar del nevado Santocoronado, ha tenido una reducción significativa en el periodo 2000 al 2007, sin presentarse el proceso natural de balance de masa glaciar, por lo que se recomienda a la Universidad Nacional de Moquegua que se realice investigación sobre otras variables que hayan tenido influencia en el retroceso del área glaciar.

Los glaciares son importantes por la reserva de agua dulce en estado sólido y su aporte al caudal en temporada de estiaje, por lo que se recomienda a las instituciones en competencia (ANA, SENAMHI e INAIGEM) tengas en cuenta a los glaciares de Moquegua en el inventario nacional de glaciares y que estas puedan servir de base para la conservación de los glaciares a nivel nacional.

Se recomienda al gobierno local y regional poner mayor énfasis en la protección y preservación de los glaciares, así mismo se promueva un proyecto de ley para la protección y preservación de los glaciares, considerando a los glaciares como zonas intangibles y restringiendo actividades extractivas cerca a los nevados.

CAPÍTULO VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, R. D., Larico, S. V., Laura, E. L., & Laura, A. L. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los. *Investigación Altoandina*, 265-274.

Alencar, K. (2017). Tendencia Pluviometrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxoto - Pernamcuco - Brasil. *Rvista Geográfica de América Central*, 58-74.

ANA. (2014). *Inventario de glaciares del Perú.* Huaraz.

Arroyo, J., & Artica, L. (2017). Retroceso glaciar del Nevado Huaytapallana como consecuencia del calentamiento global. *Instituto Geofísico del Perú*.

Bernex, N., & Tejada, M. (2010). *Cambio climático, retroceso glaciar y gestíon integrada de los recursos hídricos.* Lima.

BLASCO. (2012). *Estudio de impacto ambiental semidetallado.* Moquegua.

Bomshoms, M., Quispe, N., & Quispe, K. (2018). *Estudio de la frecuncia de nevadas en el Perú.* Lima: SENAMHI.

CAN. (2013). *Glaciares andinos: La necesidad de una agenda transversal.*

Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat -5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 2674-2677.

Dagnino, J. (2014). Correlación. *Rev Chil Anest*, 150-153.

Díaz, R., Sanchez, S., Lujano, E., & Lujano, A. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *revista investigacion altoandina*, 265-274.

Espinoza, J. (2005). *El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos.* Lima: SENAMHI. Obtenido de https://ff148839-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/jhancarloespinoza/sitios-de-

interes/ElM%C3%A9tododelVectorRegionalde%C3%ADndicespluviom%C3%A9tricos.pdf?attachauth=ANoY7crK46n9vdHgIIYrfzaei-RdHQxKqn2ML6xSDeaf5ucKcJhv7UAnYzbOtYmwkCNtm0OrL55jAQX3Wn

Fernández, P., & Díaz, P. (2001). Relacion entre variables cuantitativas. *Unidad de epidemiologia clínica y bioestadística*, 141-144.

Francou. (2013). El rápido retroceso de los glaciares en los Andes tropicales: Un desafío para el estudio de la dinámica de los ecosistemas de alta montaña. *Ecología en Bolivia*, 69-71.

Francou, B., & Pouyaud, B. (2008). Glaciares: ¿cómo y dónde estudiarlos? *revista virtual REDESMA*, 31-41.

Geocento. (2 de febrero de 2016). *Geocento*. Obtenido de http://geocento.es/galeria-de-satelites-para-buscar-y-adquirir-imagenes/satelite-imagenes-landsat-5/

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la investigación.* Mexico D.F.: Interamericana editores S.A.

Herrera, G., & Ruiz, J. (2008). Retroceso glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy, Boyacá - Colombia, 1986-2007. *Perspectiva Geográfica*, 27-36.

INAIGEM. (2017). *Manual Metodológico de inventario nacional de glaciares.* Huaraz: Biblioteca nacional del Peru.

Jhon, A. L., & Yesid, Q. O. (2013). Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. caso de estudio: río soapaga, sector paz de río, Bocayá. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 55-76.

Larraín, S. (2007). Glaciares chilenos: Reservas estratégicas de agua dulce. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*, 28-35.

Mardones, M., Aguayo, M., Smith, E., & Ruiz, P. (2018). Retroceso glacial reciente en el Campo de Hielo Norte, región de Aysén, Chile: relación con variaciones climáticas. *Revista de Geografía Norte Grande*, 121-147.

Martínez, C. (2011). *Estadística básica aplicada.* Bogotá: Ecoe ediciones.

Medina, G., & Mejía, A. (2014). Análisis multitemporal y multifractal de la deglaciación de la cordillera Paron en los andes de Perú . *Ecología Aplicada* .

Montealegre, J., & Pabon, J. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 7-21.

Monterroso, M. F., Londoño, J. M., & Samsonov, S. (2018). Estimación del retroceso glaciar en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel, Colombia a través de imágenes ópticas y Din-SAR. *revista DYNA*, 329-337.

Monterroso, M., Londoño, J., & Samsonov, S. (2017). Estimación del retroceso glaciar en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel, Colombia a través de imágenes ópticas y Din-SAR. *Dyna*.

Morfitt, R., Barsi, J., Levy, R., Brian Markham, E. M., Ong, L., Scaramuzza, P., & Vanderwerff, K. (2015). Ladnsat - 8 operational land imager (OLI) radiometric performance on-orbit. *Remote sensing*, 2208-2237.

OEFA. (2013). *Informe de supervisión espacial de la unidad mineria Tucari de Aruntani SAC.* Moquegua: OEFA.

Quesada, R. B. (2014). *Impacto de la minería en el Perú y alternativas al desarrollo.* Cordoba: Universidad de Cordoba .

Quintero, M., Escobar, Y. C., & Aldunce, P. (2012). Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático: Intereacciones con la gestión de riesgo. *Revista Luna Azul*, 257-271.

Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, F., Muñoz, C., & Vuille, M. (2016). *Balance de masa glaciar.* Valdivia, Chile: Centro de Estudios Cientificos .

Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTic*, 13-41.

SENAMHI. (2014). *Mapa de clasificación climatica del Perú.* Lima: SENAMHI.

SENAMHI. (15 de agosto de 2019). *Descarga datos metereologicos* . Obtenido de https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos

Sustentable, C. (2006). *Glaciares y minería: Continua la destucción de los glaciares .*

Tapia, M. (2013). *Diagnóstico de los ecosistemas de montaña en el Perú.*

USGS. (12 de juilio de 2019). *EarthExplorer*. Obtenido de https://earthexplorer.usgs.gov/

Vargas, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú.* Banco Central de Reserva del Perú.

CAPÍTULO IX. ANEXOS

Anexo 1 Mapa de ubicación del nevado Santocoronado..... 114

Anexo 2 *Datos de precipitación para las estaciones Carumas, Calacoa y Mazo Cruz*..... 116

Anexo 3 *Datos de precipitación para las estaciones Pampa Umlazo y Pasto Gra nde*..... 117

Anexo 4 *Datos de Temperatura Máxima periodo 1990 – 2018, Estación Carum as, Calacoa y Mazo Cruz* 118

Anexo 5 Datos de Temperatura Máxima periodo 1990 – 2018, Estación Pampa Umalzo y Pasto Grande 119

Anexo 6 Datos meteorológicos de Temperatura mínima, Estación Carumas, Ca lacoa y Mazo Cruz 120

Anexo 7 Datos meteorológicos de Temperatura mínima, Estación Pampa Umalz o y Pasto Grande. 121

Anexo 8 Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primaver a 123

Anexo 9 Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primaver a 124

Anexo 10 Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primave ra..... 125

Anexo 11 Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primav era..... 126

Anexo 12 Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primave ra..... 127

Anexo 13 Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 128

Anexo 14 Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 129

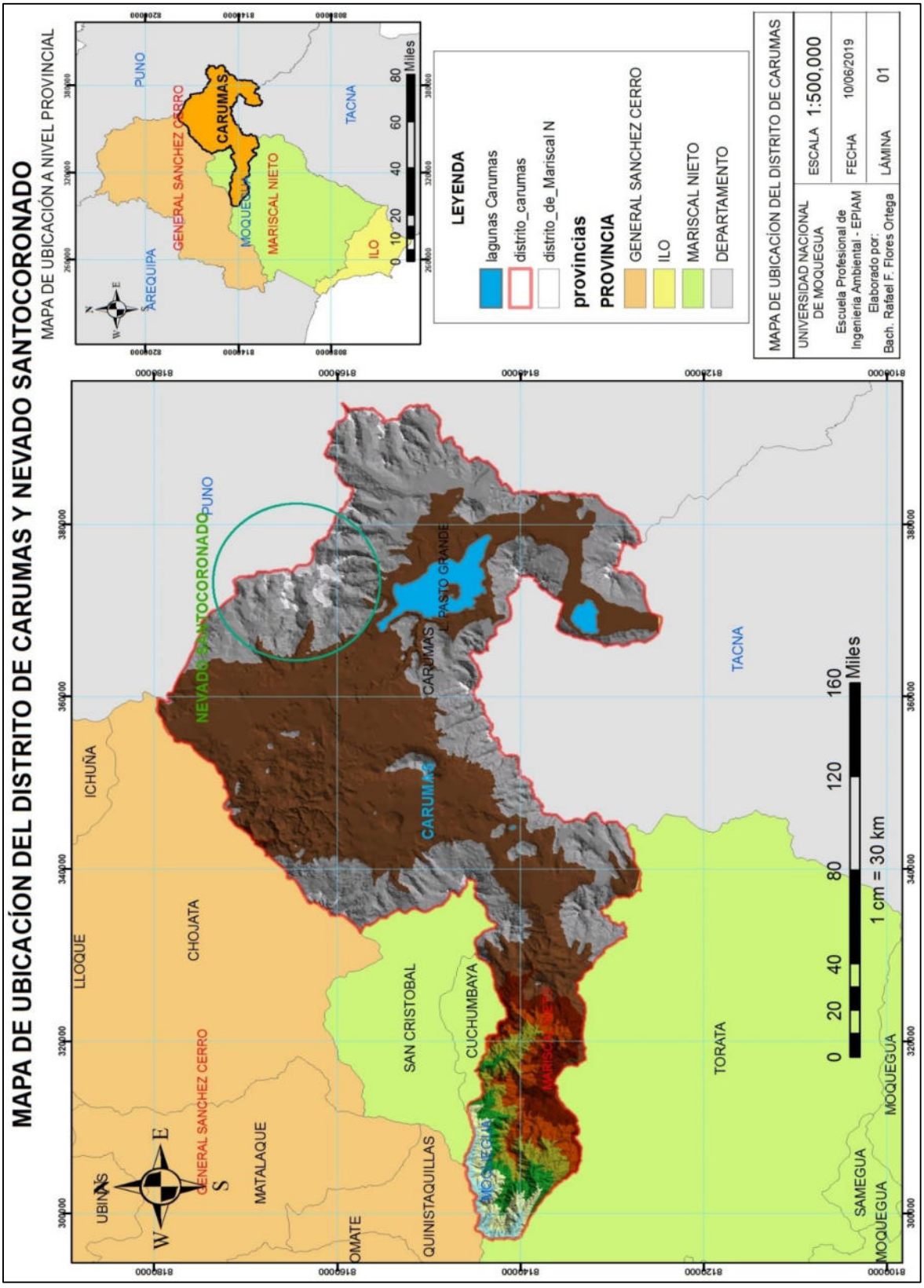
Anexo 15 Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 130

Anexo 16 Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 131
Anexo 17 Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 132
Anexo 18 Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y p rimavera..... 133
Anexo 19 Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y p rimavera..... 134
Anexo 20 Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y p rimavera..... 135
Anexo 21 Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y p rimavera..... 136
Anexo 22 Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y p rimavera..... 137
Anexo 23 Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 138
Anexo 24 Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 139
Anexo 25 Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 140
Anexo 26 Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 141
Anexo 27 Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera..... 142
Anexo 28 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1990..... 144
Anexo 29 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1992..... 145
Anexo 30 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1994..... 146
Anexo 31 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1996..... 147
Anexo 32 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1997..... 148
Anexo 33 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1998..... 149
Anexo 34 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2000..... 150
Anexo 35 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2002..... 151
Anexo 36 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2004..... 152
Anexo 37 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2006..... 153
Anexo 38 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2007..... 154

Anexo 39 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2008 155
Anexo 40 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2009 156
Anexo 41 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 20 10 157
Anexo 42 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2011 158
Anexo 43 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2014 159
Anexo 44 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2016 160
Anexo 45 Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2018 161
Anexo 46 Área glaciar del nevado Santocoronado 1990..... 163
Anexo 47 Área glaciar del nevado Santocoronado 1992..... 164
Anexo 48 Área glaciar del nevado Santocoronado 1994..... 165
Anexo 49 Área glaciar del nevado Santocoronado 1996..... 166
Anexo 50 Área glaciar del nevado Santocoronado 1997..... 167
Anexo 51 Área glaciar del nevado Santocoronado 1998..... 168
Anexo 52 Área glaciar del nevado Santocoronado 2000..... 169
Anexo 53 Área glaciar del nevado Santocoronado 2002..... 170
Anexo 54 Área glaciar del nevado Santocoronado 2004..... 171
Anexo 55 Área glaciar del nevado Santocoronado 2006..... 172
Anexo 56 Área glaciar del nevado Santocoronado 2007..... 173
Anexo 57 Área glaciar del nevado Santocoronado 2008..... 174
Anexo 58 Área glaciar del nevado Santocoronado 2009..... 175
Anexo 59 Área glaciar del nevado Santocoronado 2010..... 176
Anexo 60 Área glaciar del nevado Santocoronado 2011..... 177
Anexo 61 Área glaciar del nevado Santocoronado 2014..... 178
Anexo 62 Área glaciar del nevado Santocoronado 2016..... 179
Anexo 63 Área glaciar del nevado Santocoronado 2018..... 180
Anexo 64 Tabla de distribución t de student..... 182
Anexo 65 Solicitud dirigida a Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SE NAMHI..... 184
Anexo 66 Solicitud dirigida a Proyecto Especial Pasto Grande PERPG 185

MAPA DE UBICACIÓN DEL NEVADO SANTOCORNADO

Anexo 1 *Mapa de ubicación del nevado Santocoronado*



DATOS METEOROLÓGICOS PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA BRINDADAS POR SENAMHI Y PERPG

Anexo 2 *Datos de precipitación para las estaciones Carumas, Calacoa y Mazo Cruz*

	PP	años																														
estacion	MES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
carumas LAT: 16° 48' 47" LONG: 70° 41' 40" ALT: 2976 MSNM	ENE	42	66	28	122	142	66	96		158	51	183	128	37	30	116	116	139	49	261	25	41	120	178	99	144	51	0	251	52
	FEB	56	93	0.9	19	138	1	100		106	227	197	319	181	73	73	87	137	74	62	139	121	213	246	206	14	260	164	113	54
	MAR	55	99	0.4	55	1.1	60	35		7.5	203	132	161	158	62	58	35	185	130	44	53	7.6	8.2	102	59	30	208	6.4	117	41
	ABR	0.1	8.6	0	0	0.1	0.1	0.1		1.1	9.6	9.5	7.5	10	19	2.1	2.3	0	9.3	1.1	26	2.1	0	52	0	11	14	16	0.2	2.4
	MAY	0.1	1.9	0	0	0	1.1	0		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11	7	0	15	0	0	0	1.2	0
	JUN	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0	2.3	0	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0	2.2	0	0.7
	JUL	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	6.1	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0	0	0.8	2.9	0	7.3
	AGO	0	0	0		0	0	0.1	31	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	3.8	0	0	0	0	0.8	0.5	0	0	0	0
	SET	0	0	0		0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OCT	0	0	0		0	0	0	0	0	2.7	0	3.2	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0
	NOV	1.9	0	0	0.1	0	1.1	1.8	0	5.5	0	0	1.4	11	0	0	0	1.2	0	0	5.2	0	5.5	0	0	0.8	0.1	0	0	0
	DIC	54	0.1	32	25	17	0.3	20	26	51	22	35	3.9	7.9	19	38	45	7.9	7.9	23	8	33	113	128	24	0	0	16	27	8.4
calacoa LAT: 16° 44' 6" LONG: 70° 58.08" ALT: 3260 MSNM	ENE	29	82	4	150	184	125	84	306	192	101	214	138	38	36	144	92	160	71	226	32	19	93	95	16	100	119	7.1	384	
	FEB	13	90	0	30	216	0	85	148	136	273	148	334	226	68	100	126	133	83	155	77	53	260	288	267	2.1	242	186	113	33
	MAR	25	100	0	60	0	43	8.3	82	16	207	143	168	126	51	72	71	82	80	225	73	15	5.8	57	92	11	272	0	189	25
	ABR	0	13	0	0	0	7.1	0	0	0	0	2.5	13	17	1	0	15	3.1	3.6	0	5.7	4.6	19	42	0	0	17	18	0	19
	MAY	0	3.5	0	0	0	4.2	0	0	0	0	6.3	0	0	9.2	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0	22	0	0	0	0	0
	JUN	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0.6	8.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	8.5	0	3.7
	JUL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	12	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	16
	AGO	0	0	0	21	0	0	0	22	0	0	0	0.5	0	3.7	3	0	0	0	5.6	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
	SEP	0	1	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OCT	0	0	2	0	0	0	0	0	0	8.1	0	5.6	0	0	0	0	3	0.5	0	0	0.5	0	0	2.3	0	0	0	0	0
	NOV	6.1	1	0	9.2	0	2.5	4.4	5.1	6.1	0	0	0	9.7	0	0	0	0	0	0	8.3	0	0	2.6	0	0	0	0	2.2	0
	DIC	162	2	91	36	12	0	0.3	39	97	22	27	3.2	22	17	5	56	1	33	29	4.3	35	42	100	16	0	0	15	50	5.2
mazo cruz LAT: 16° 44' 20.4" LONG: 69° 42' 55.7" ALT: 4003 MSNM	ENE	46	79	54	147	105	74	177	242	127	140	180	268	70	103	143	109	272	87	194	71	104	122	183	152	161	142	34	209	172
	FEB	36	82	46	16	123	50	88	184	44	178	136	184	175	104	119	188	118	113	53	130	61	154	174	166	28	102	175	84	169
	MAR	45	89	16	97	63	91	29	61	77	213	64	116	120	93	82	40	110	107	58	62	41	47	87	49	37		26	102	83
	ABR	2.5	5.4	4.2	19	28	11	20	13	14	64	23	34	76	5.8	16	43	27	29	1.4	33	44	48	74	1.8	26		72	7	42
	MAY	5.6	6.7	0	2.1	1.8	0.3	14	5	0	1.6	6.4	4.8	17	8	0	0	11	0	0	0.7	21	5.8	0.2	22	0		0	13	1.4
	JUN	27	10	0	0	0.2	0	0	0	19	0	1.2	0.6	9.2	0	0.8	0	0.2	0.4	0	0	0	0	0	8.2	0	0	8.8	0	14
	JUL	12	5.3	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	10	2.2	26	0	0	0	0	6.4	0	3.2	0.4	4	0		4.6	3.4	43
	AGO	17	0	8.2	45	1.7	0	14	32	0.6	0	1.2	6.4	2.2	7.5	60	0	0.4	0.2	6.4	0	0	0	3.4	8	15		0	0.4	0.2
	SEP	2.2	0	0.6	13	4.1	3.6	0	42	0.4	8.4	0.6	0.2	2	7	12	18		11	0	6.4	0.8	12	0.9	2.6	25	9	4	30	
	OCT	44	1	32	51	3.4	2.5	1	8	12	35	28	14	51	12	0	6.6	38	3.1	6.3	4.6	9.4	0.4	7.6	66	33	38	9.9	7.2	43
	NOV	4.1	0	24	46	19	22	34	63	38	0	7.9	14	36	11	0	18	57	49	3	73	6.3	38	36	18	48	39	11	23	14
	DIC	32	0	36	94	49	53	102	82	21	46	82	27	81	76	42	158	94	88	132	65	82	172	143	141	57	19		71	94

DATOS COMPLETOS | DATOS POR COMPLETAR

Anexo 3 *Datos de precipitación para las estaciones Pampa Umlazo y Pasto Grande*

	PP	años																												
estacion	MES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
pampa umalzo LAT: 16° 52' 30" LONG: 70° 25' 25" ALT: 4609 MSNM	ENE	63	59	27	107	153	40	65	104	162	57	129	143	143	70	147	74	128		47	13	42	192	140	92	118	109	42	150	86
	FEB	39	68	0.6	7.1	38	28	67	191	34	222	118	204	154	71	136	138	98		42	34	66	137	130	89	12	114	146	57	58
	MAR	47	89	0.3	2.3	40	44	57	74	22	115	98	130	183	115	100	98	109		83	64	54	44	44	56	24	181		80	41
	ABR	14	24	0	0	1.5	0	20	11	12	59	22	58	77	16	17	12	15		5	24	15	33	6.3		37	46		29	14
	MAY	0.1	1	0	0	0	1.5	0.4	2.5	0	0	0	2.8	8.1	16	0	0	0	14	0	0	11	7.5	0		0	0	0	5.5	0
	JUN	0	0	0	4.1	0	0.2	0	0	4.1	0	0.3	1.9	4.5	0		0	5.5		0	0	0	0	0		0	0	0	0	14
	JUL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	20			0	0	0	0	16	0	1	0		0	8.8	4.2	0	16
	AGO	0	0	0	13	0	0	4.1	32	0	0	0	6.5	20			0	0		6.6	0	0	0	0		0.8	1.4	0	0	0
	SEP	0	0	0	0	0	0.6	1.6	30	0	11	0	0	0	4.3			1		0	0	3.4	1.6	1.3		0.7	0	0	7.2	0
	OCT	7	7	0	0	3.4	0	0	0	0	12	19	9.4	0	0.8			19	0	0	12	0	0	18		3.1	4.6	0	0	5.1
	NOV	16	15	0	0	9.2	4.3	3.6	17	14	0	4.9	22	54	4.9	0.1		64		0	41	0	25	7.2		8.4	0	0	6.5	0
	DIC	73	24	31	26	38	31	31	48	45	31	58	41	53	68	33		69		59	14	104	121	50		10	0		49	19
pasto grande LAT: 16° 43' 30" LONG: 70° 14' 22" ALT: 4524 MSNM	ENE	28	44	19	80	93	43	63	127	102	51	108	101	49	37	79	57	96	39	111	19	122	147	177	125	92	62	21	154	97
	FEB	37	62	0.6	12	92	0.6	66	142		156	116	198	135	62	86	103	90	54	54	69	68	143	202	135	103	78	137	75	126
	MAR	22	39	0.2	22	0.4	24	14	30		76	48	59	60		34	25	50		39	26	52	67	85	46	25	91	16	42	92
	ABR	0.1	11	0	0	0.1	0.1	0.2	0.1		1.3		19	30	8.6	0.3	14	0.5		0.1	17	27	40	28	0	27	26	53	16	31
	MAY	0	1.6	0	0	0	0.9	0	3.6	5	0			0	4.1	0	0	0		0	0	4	10	3.5	0	0	0	0	0	2.2
	JUN	0	0.1	0	0	0	0	0	0	3.7	0		1.4	3	0	0	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	19
	JUL	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2.4		12	7	10	8.5	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4
	AGO	0	0		40	0	0	0.2	63	0	0	0	10	1.3			0	2	0	6	0	0		0	0	0	21	0	0	0
	SEP	0	0		0	0	0	0	25	0	0.7	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	3.3	3.8	7	0	8.7	0	0	12	0
	OCT	0.8	0.3		0	0.2	0	0	0	0	9.3	5	8	0	0	0	0	81	0	0	0	13	0	6.2	13	19	6.6	12	4.1	23
	NOV	6.1	0.1		0.2	0.1	3.6	5.8	0.6	11	17	9.7	10	19	14	8.2	0	0.7	0	0	16	0	0	9.3	6.4	5.4	11	0	1.4	0
	DIC	60	0.2	35	28	19	0.4	22	35	52	23	36	12	27	31	21	65	25	28	39	12	85	78	158		19	15	36	45	11

DATOS COMPLETOS | DATOS POR COMPLETAR

Anexo 4 *Datos de Temperatura Máxima periodo 1990 – 2018, Estación Carumas, Calacoa y Mazo Cruz*

	T° max								años																					
estacion	meses	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
carumas LAT: 16° 48' 47" LONG: 70° 41' 40" ALT: 2976 MSNM	ENE	19	16	16	17	19	17	18		18	18	16	16	19	19	17	18	18	21	19	21	22	20	20	20	20	20	21	19	20
	FEB	20	15	16	17	19	18	19		19	15	15	16	17	19	18	19	18	19	20	20	21	17	19	18	21	18	20	17	19
	MAR	19	16	16	16	19	19	19		19	16	16	16	18	19	20	19	18	19	20	21	22	19	20	19	21	18	21	17	20
	ABR	20	18	19	19	20	20	19		20	18	18	19	19	20	20	20	19	21	20	20	21	21	20	21	21	20	21	20	20
	MAY	18	19	18	20	18	20	19		20	18	19	18	20	20	20	19	20	20	20	19	21	21	21	20	21	21	21	21	20
	JUN	19	18	18	20	20	20	19	18	18	18	18	18	20	20	20	19	20	20	20	20	21	21	20	20	21	21	20	20	19
	JUL	18	18	18	18	18	19	20	20	18	18	18	18	18	19	18	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	21	20	21	19
	AGO	19	19	18	20	20	21	20	18	18	19	19	19	20	20	19	20	21	21	20	21	21	20	21	20	21	21	21	21	20
	SET	18	19		19	20	19	20	18	18	18	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	22	21	21	21	20	21	21	21	21
	OCT	19	19		19	20	20	20	19	19	19	19	20	21	20	20	20	20	21	21	22	23	20	21	21	21	21	21	21	20
	NOV	18	19		19	20	21	19	19	19	18	19	19	20	20	21	20	21	22	21	21	22	21	21	22	21	20	21	21	21
	DIC	18	18	18	19	20	18	19	19	18	18	18	19	20	20	20	19	21	21	21	22	20	20	20	20	21	21	21	20	20
calacoa LAT: 16° 44' 6" LONG: 70° 40' 58.08" ALT: 3260 MSNM	ENE	20	18	18	19	20	20	19	19	20	19	20	20	20	21	20	20	18	23	22	22	22	22	22	23	21	21	27	21	20
	FEB	19	16	16	18	19	18	18	18	18	17	16	17	17	18	19	17	19	19	20	19	21	18	18	21	22	19	19	20	20
	MAR	18	17	17	16	19	18	18	18	19	17		17	17	18	20	19	18	18	19	19	22	17	19	20	21	18	17	20	20
	ABR	18	16	17	16	18	18	17	17	18	17		17	16	17	19	18	17	18	18	17	19	18	17	19	18	17	17	20	19
	MAY	16	16	16	16	16	18	17	16	18	17	17	17	16	17	17		17	17	17	17	17	17	18	17	17	17	16	19	19
	JUN	17	17	17	18	17	19	17	17	18	18	18	18	18	19	18		18	20	19	18	20	19	19	17	20	21	16	20	19
	JUL	16	16	16	16	16	17	17	16	17	17	15	17	16	18	15	17	18	17	18	17	19	17	18	17	17	17	17	20	19
	AGO	17	17	17	18	18	19	18	17	18		19	18	18	19	17	19	19	20	19	19	20	19	20	17	19	21	19	20	19
	SEP	17	17	17	18	18	17	18	18	17	18	19	18	18	18	19	17	19	19	19	20	20	19	21	19	19	21	21	20	20
	OCT	17	17	17	18	19	18	19	19	19	18	17				20	19	20	19	19	20	19	19	20	19	19	20	20	19	19
	NOV	16	16	16	16	18	18	16	18	18	17	17	17	17	17	19	18	18	18	18	18	19	19	19	19	18	19	18	21	19
	DIC	17	17	17	18	19	18	18	20	18	20	19	18	18	19	21	18	20	20	19	20	19	19	19	19	21	22	22	21	19
mazo cruz LAT: 16° 44' 20.4" LONG: 69° 42' 55.7" ALT: 4003 MSNM	ENE	15	13	14	12	14	15	15	13	16	16	15	15	17	17	15	17	14	17	16	18	17	18	16	16	17	16	21	16	17
	FEB	17	13	14	15	13	16	13	12	17	14	16	15	14	17	16	15	15	17	18	17	18	15	15	17	19	17	18	18	17
	MAR	16	14	17	12	13	14	15	13	18	15	16	15	14	16	17	17	15	16	18	17	19	16	16	18	19	16	21	16	17
	ABR	16	14	17	14	14	16	14	13	18	16	18	18	13	17	17	17	16	18	18	17	19	17	16	18	18		18	17	18
	MAY	15	13	16	14	14	15	14	14	17	17	17	17	15	16	16	16	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	17	18
	JUN	14	13	14	14	13	16	13	15	15	16	15	15	14	16	15	15	15	17	17	16	18	16	16	15	18	18	16	17	15
	JUL	14	13	13	13	14	16	14	15	15	15	14	14	11	16	13	15	16	16	16	15	17	16	17	16	16	16	17	18	14
	AGO	13	13	12	13	15	17	15	14	16	17	16	15	15	16	14	16	17	18	18	17	19	18	18	17	17	17	18	19	16
	SEP	16	13	14	16	15	16	16	16	16	17	18	17	18	17	17	15	19	17	19	19	20	18	19	19	17	19	19	18	19
	OCT	17	15	15	16	17	16	17	17	18	17	17	18	17	19	19	18	21	20	20	21	19	20	20	19	19	19	19	20	19
	NOV	16	17	15	15	16	16	15	17	17	20	21	19	19	20	20	18	19	19	21	19	21	21	21	20	20	21	20	22	22
	DIC	15	15	15	15	14	16	14	18	18	19	18	17	18	20	20	17	19	18	18	19	18	17	17	18	20	20	20	19	20
DATOS COMPLETOS									DATOS POR COMPLETAR																					

Anexo 5 *Datos de Temperatura Máxima periodo 1990 – 2018, Estación Pampa Umalzo y Pa sto Grande*

	T° max	años																													
estacion	meses	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
pampa umalzo LAT: 16° 52' 30" LONG: 70° 25' 25 ALT: 4609 MSNM	ENE	10	9	10	10	11	10	10	10	10	10	10	10			11	10	9	11	11	10	10	10	12	13	11	11	14	10	10
	FEB	11	9	10	11	11	9	11	10	11	10	9	10		12	12	9	11	9	10	10	9	16	12	13	13	12	12	11	10
	MAR	10	10	10	9	11	11	10	11	11	10	10	11	11	12	13	11	10	10	11	10	9	13	12	14	12	11	14	10	10
	ABR	11	10	10	11	11	12	11	11	12	11	11	10	11	12	13	12	12	11	10	10	10	12	12		12	11		11	12
	MAY	10	10	11	11	10	12	11	10	12	11	10	11		11	10	13	12	10	11	11	11	11	13		10	11	12	11	11
	JUN	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	11	11		11	11	11	11	11	8	16		11	13	11	10	9
	JUL	10	10	10	10	9	11	11	9	11	11	10	10	7	11	9	11	11	10	11	10	11	11	17		10	10	11	11	10
	AGO	10	10	10	11	10	12	11	10	11	11	11	11	10	11	10	12	11	12	11	11	12	11	16		11	12	11	11	10
	SEP	11	10	10	11	11	10	11	11	10	11	11	11	12	11	12	10	11	11	11	11	11	12	14		12	12	12	11	12
	OCT	10	11	11	11	12	12	12	12	12	12	10	11	13	13	14	13	12	10	11	11	11	12	14		13	13	12	12	12
	NOV	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	11	11	13	14	14	14	12	11	11	10	11	13	14		13	14	12	13	12
	DIC	10	11	11	11	12	10	11	12	10	12	12	11	14	13	13	10	13	12	10	10	9	13	13		13	14	12	11	12
pasto grande LAT: 16° 43' 30" LONG: 70° 14' 22 ALT: 4524 MSNM	ENE	9	8	8	9	9	9	8			9	9	9	9	9	9	9	8	11	11	11	10	11	8	10	8	6	13	8	9
	FEB	10	8	9	9	10	9	9			9			9	10	10	9	10	11	11	10	11	8	8	13	11	8	10	12	8
	MAR	9	8	9	8	9	9	9			8	8	9	8	9	10	9	9	9	9	10	11	2	9	8	10	7	13	10	9
	ABR	10	9	10	9	10	10	10			10	10	10	9	10	11	10	10	11	11	10	12	10	7	11	10	9	10	11	12
	MAY	9	9	9	9	9	10	9	9	10		9	9	9	10	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	9	12	10	11
	JUN	9		9	9	9	10	9	9	9		9	9	9	10	10	9	10	10	10	9	11	10	9	7	10	10	10	15	9
	JUL	8		8	8	8	9	8	8	8		8	8	8	9	8	9	9	9	9	8	10	8	9	8	7	8	10	12	10
	AGO	9		9	9	9	10	10	9	10		10	9	10	10	9	10	10	11	11	9	11	9	10	7	9	13	11	12	10
	SEP	10		10	10	10	10	10		9	10	10	10	10	10	11	9	11	10	10	12	11	10	10	10	10	13	12	10	12
	OCT	10		10	11	11	11	11		11	11	10	11	11	11	12	11	12	12	12	13	12	11	12	11	5	12	11	12	12
	NOV	10	11	11	11	12	12	11		12	11	11	11	11	11	13	12	12	13	13	12	13	13	12	12	11	12	13	13	14
	DIC	10	10	10	10	10	10	10		10	11	10	10	10	10	12	10	11	11	11	12	11	9	10	8	11	13	12	11	11

DATOS COMPLETOS | DATOS POR COMPLETAR

Anexo 6 *Datos meteorológicos de Temperatura mínima, Estación Carumas, Calacoa y Maz o Cruz*

	T° mir	años																														
estacion	mes	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
carumas LAT: 16° 48' 47" LONG: 70° 41' 40" ALT: 2976 MSNM	ENE	6	5	4	5	6	6	4		11	6	6	4	6	5	5	4	6	6	5	4	5	6	6	4	6	5	5	5	6
	FEB	5	5	5	6	7	5	5		9	6	5	5	7	6	6	5	6	5	5	5	6	7	5	5	5	5	7	4	6
	MAR	7	5	5	5	5	5	4		9	6	5	4	6	7	6	5	6	7	5	5	5	5	5	4	5	5	6	4	7
	ABR	5	4	4	4	5	5	3		9	6	5	4	5	6	5	5	5	5	4	4	4	5	5	3	5	5	6	4	6
	MAY	5	3	3	3	5	5	4		7	4	5	4	6	5	4	4	4	5	3	3	3	5	5	4	4	5	3	3	4
	JUN	5	2	1	3	4	3	3	6	7	4	4	6	5	3	3	4	3	5	2	1	3	4	3	3	3	4	2	2	6
	JUL	4	3	3	3		3	2	8	7	6	4	5	4	3	2	3	3	4	3	3	3	4	3	2	3	2	3	2	6
	AGO	3	2	3	4		3	3	7	7	6	5	6	5	2	3	2	3	3	2	3	4	4	3	3	4	4	3	3	7
	SET	5	3	4	6		4	4	9	6	5	4	5	5	3	3	3	4	5	3	4	6	5	4	4	4	4	3	6	7
	OCT	5	4	4	6		4	5	9	7	6	5		4	4	4	5	4	5	4	4	6	5	4	5	5	5	4	6	8
	NOV	6	4	5	5	5	4	5	9	7	4	3	5	5	5	5	5	5	6	4	5	5	5	4	5	5	5	4	7	8
	DIC	5	4	5	6	6	4	5	10	6	5	4	5	5	5	5	5	6	5	4	5	6	6	4	5	5	5	4	6	8
calacoa LAT: 16° 44' 6" LONG: 70° 40' 58.08" ALT: 3260 MSNM	ENE	8	7	5	5	5	7	12	10	13	4	4	2	4	3	3	5	7	8	5	3	5	7	4	2	4	4	7	12	7
	FEB	6	6	6	5	6	5	10	8	8	4	3	7	5	7	7	6	7	6	4	3	7	8	4	6	3	4	5	10	7
	MAR	8	3	3	5	4	7	10	12	9	7	4	5	8	8	7	6	4	5	4	4	7	6	3	6	4	4	7	10	8
	ABR	7	5	2	5	4	6	8	8	8		6	5	7	4	3	6	6	4	5	3	5	6	6	4	3	5	6	8	7
	MAY	3	4	1	4	6	4	7	6	6		6	5	7	3	4	2	5	3	4	4	4	4	6	2	2	5	4	7	6
	JUN	3	3	1	3	5	4	5	8	6	2	3	5	6	1	4	2	4	6	2	1	2	2	2	3	4	4	4		6
	JUL	3	2	3	1	4	5	3	10	9	4	5	4		4	3	2	2	5	1	3	1	2	2	2	4	3	5		5
	AGO	4	3	4	4	6	8	3	6	8	4	3	4	4	3	3	3	3	4	2	4	3	3	2	4	4	3	8		4
	SEP	6	4	3	5	6	8	4	8	8	7	4	7	3	3	4	3	5	4	2	5	5	6	5	5	5	4	8		5
	OCT	6	5	3	8	6	9	6	8	8	7	6	6	2	5	5	6	6	3	5	5	8	6	5	6	3	5	9		6
	NOV	4	5	4	7	5	7	7	12	8	2	1	6	6	3	3	3	7	4	5	4	7	7	5	7	3	6	7		7
	DIC	6	2	5	7	5	11	7	12	4	3	2	4	6	3	6	6	4	4	5	5	7	7	1	7	3	8	11	7	7
mazo cruz LAT: 16° 44' 20.4" LONG: 69° 42' 55.7" ALT: 4003 MSNM	ENE	0	-1	-2	-1	-1	-1	-2	1	2	-1	3	3	-2	2	3	1	2	0	3	0	2	0	2	2	2	1	-2	3	2
	FEB	-4	-4	-4	-5	-1	-3	0	1	-1	3	3	4	1	1	1	2	0	1	0	2	3	3	3	2	-1	2	3	1	0
	MAR	-3	0	-5	-2	-3	0	-4	-2	-2	3	1	3	0	2	0	-1	1	2	-1	0	-1	1	1	-1	-2	2	-2	2	1
	ABR	-7	-2	-7	-6	-4	-7	-5	-7	-7	-1	-4	-1	-2	-4	-4	-4	-4	-3	-8	-5	-5	-4	0	-8	-4		-3	-3	-5
	MAY	-11	-4	-12	-10	-13	-13	-10	-11	-13	-8	-8	-7	-6	-8	-14	-14	-11	-8	-14	-11	-8	-8	-9	-7	-11	-9	-11	-7	-10
	JUN	-9	-3	-13	-16	-16	-15	-15	-15	-11	-13	-12	-11	-11	-15	-15	-18	-14	-11	-14	-17	-11	-11	-13	-9	-14	-12	-13	-11	-7
	JUL	-13	-6	-14	-15	-16	-15	-15	-14	-13	-11	-14	-14	-9	-13	-10	-15	-15	-13	-15	-12	-16	-11	-13	-9	-13	-13	-11	-13	-8
	AGO	-13	-15	-13	-10	-14	-13	-11	-9	-12	-11	-11	-11	-11	-12	-7	-18	-11	-12	-14	-16	-13	-10	-13	-11	-9	-11	-13	-13	-9
	SEP	-14	-10	-14	-11	-11	-9	-12	-5	-12	-9	-10	-9	-8	-12	-9	-11	-10	-6	-13	-10	-10	-8	-10	-11	-4	-9	-10	-5	-12
	OCT	-5	-7	-8	-7	-11	-14	-10	-8	-7	-3	-5	-8	-3	-9	-8	-9	-3	-7	-6	-9	-8	-8	-7	-5	-4	-6	-6	-8	-3
	NOV	-1	-8	-6	-4	-5	-8	-5	-4	-6	-9	-7	-5	-4	-7	-8	-6	0	-6	-6	-1	-10	-5	-4	-4	-5	-4	-8	-6	-5
	DIC	-1	-6	-4	-1	-3	-4	-1	-3	-4	-3	0	-4	-1	-3	-3	-1	-1	-1	0	0	-1	0	2	1	0	-4	-1	0	-2

DATOS COMPLETOS | DATOS POR COMPLETAR

Anexo 7 *Datos meteorológicos de Temperatura mínima, Estación Pampa Umalzo y Pasto Gr ande.*

	T° mir	años																													
estacion	mes	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
pampa umalzo LAT: 16° 52' 30" LONG: 70° 25' 25 ALT: 4609 MSNM	ENE	-2	-3	-4	-3	-3	-3	-3	1	1	-1	3	4			-4	-2	-2	-1	-7	-3	-2	-2	-9	-2	-4	-4	-6	0	0
	FEB	-5	-5	-5	-6	-3	-4	-2	1	0	3	3	5		-2	-3	-2	-3	-2	-6	-3	-3	-2	-6	-1	-4	-2	0	-2	0
	MAR	-5	-3	-6	-4	-5	-2	-5	-3	-2	3	1	2	-1	-3	-3	-3	-2	-3	-6	-4	-3	-6	-3	-4	-4	-1	-4	0	-1
	ABR	-7	-4	-7	-6	-5	-7	-6	-6	-7	-1	-4	-1	-2	-4	-4	-5	-5	-5	-8	-4	-5	-7	-5		-3	-2		-4	-6
	MAY	-10	-5	-11	-9	-11	-12	-9	-10	-11	-8	-8	-7		-7	-7	-8	-8	-7	-9	-8	-9	-7	-6		-10	-9	-11	-7	-11
	JUN	-8	-5	-11	-13	-14	-13	-12	-14	-12	-13	-12	-11	-6	-9	-9	-10	-10	-8	-10	-11	-9		-8		-13	-12	-12	-11	-9
	JUL	-12	-6	-12	-13	-14	-13	-13	-13	-12	-11	-14	-14	-7	-11	-9	-10	-11	-9	-9	-7	-13		-9		-12	-12	-10	-12	-9
	AGO	-11	-12	-11	-9	-12	-11	-10	-8	-13	-11	-11	-11	-7	-9	-7	-10	-9	-10	-8	-8	-10	-7	-9		-10	-11	-12	-14	-11
	SEP	-12	-10	-12	-10	-10	-9	-11	-4	-11	-9	-10	-9	-6	-9	-7	-7	-9	-8	-9	-9	-6	-8	-8		-8	-10	-11	-9	-12
	OCT	-6	-7	-8	-7	-10	-12	-9	-7	-8	-3	-5	-8	-5	-7	-7	-5	-5	-7	-10	-6	-4	-9	-7		-7	-9	-10	-12	-7
	NOV	-3	-8	-6	-5	-6	-8	-6	-3	-6	-9	-7	-5	-5	-8	-7	-5	-4	-7	-9	-5	-8	-10	-6		-8	-8	-10	-10	-9
	DIC	-3	-7	-5	-3	-4	-5	-3	-3	-4	-3	0	-4	-3	-6	-6	-3	-3	-7	-4	-3	-3	-10	-2		-7	-7	-6	-7	-6
pasto grande LAT: 16° 43' 30" LONG: 70° 14 22" ALT: 4524 MSNM	ENE	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3			-3	0	0	-3	-1	0	-2	-1	0	-1	-2	0	-2	-1	-2	-2	-2	-3	-1	-3
	FEB	-5	-4	-4	-5	-2	-4	-2			-1	0	0	-1	-1	-2	-1	-2	0	-0	0	0.3	-1	12	-1	-4	-2	-1	-3	-2
	MAR	-4	-2	-5	-3	-4	-2	-4			0	-1	0	-2	-1	-2	-2	-1	0	0	0	0	-2	0.3	-3	-4	-2	-3	-2	-3
	ABR	-6		-6	-6	-5	-6	-5	-6	-6	-3	-4	-2	-3	-4	-5	-5	-4	-2	-2	-2	-2	-4	-2	-7	-5	-3	-4	-4	-6
	MAY	-8		-9	-8	-9	-10	-8	-9	-10	-7	-7	-6	-5	-7	-10	-10	-9	-6	-7	-8	-7	-6	-7	-6	-9	-9	-8	-7	-9
	JUN	-7		-9	-11	-12	-11	-11	-11	-9	-10	-9		-8	-11	-11	-13	-10	-7	-8	-9	-7	-9	-9	-9	-11	-10	-10	-9	-8
	JUL	-10		-10	-11	-12	-11	-11	-11	-10	-8	-10		-7	-10	-8	-11	-11	-10	-10	-10	-11	-10	-10	-8	-11	-11	-9	-11	-8
	AGO	-10	-11	-10	-8	-10	-10	-9	-7	-9	-8	-8	-9	-8	-9	-6	-12	-9	-8	-10	-11	-9	-10	-10	-10	-10	-11	-10	-11	-11
	SEP	-10	-8	-10	-8	-9	-7	-9	-5	-9	-7	-8	-7	-7	-9	-7	-8	-8	-6	-7	-8	-8	-7	-8	-9	-7	-11	-8	-6	-9
	OCT	-5	-6	-7	-6	-9	-10	-8	-7	-6	-4	-5	-7	-4	-7	-7	-7	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-6	-7	-3	-7	-7	-6	-5
	NOV	-3	-7	-6	-5	-5	-7	-5	-5	-6	-7	-6	-5	-5	-6	-7	-6	-2	-4	-3	-2	-7	-5	-4	-3	-3	-5	-7	-5	-5
	DIC	-3	-6	-4	-3	-4	-4	-3	-4	-4	-4	-2	-4	-3	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1		-3	-4	-3	-3	-4
DATOS COMPLETOS									DATOS POR COMPLETAR																						

DATOS METEOROLÓGICOS (PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA) PROCESADOS

Anexo 8 *Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CARUMAS (mm)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	209.30	135.10	55.30	0.00	1.90
1990-1991	268.30	213.00	109.20	0.00	0.00
1991-1992	61.00	29.10	0.40	0.00	0.00
1992-1993	234.30	172.20	54.90	13.70	0.10
1993-1994	298.30	304.80	1.20	0.00	0.00
1994-1995	129.70	84.20	61.40	0.00	1.10
1995-1996	252.20	195.80	34.80	0.10	1.80
1996-1997	574.10	426.10	76.90	31.00	34.30
1997-1998	307.80	290.20	8.60	3.50	5.50
1998-1999	544.00	329.10	212.20	0.00	2.70
1999-2000	546.20	402.00	141.90	2.30	0.00
2000-2001	655.00	481.90	168.50	0.00	4.60
2001-2002	431.10	221.90	168.10	29.80	11.30
2002-2003	193.00	110.40	81.10	1.50	0.00
2003-2004	274.60	208.40	60.10	6.10	0.00
2004-2005	284.40	240.10	37.70	0.00	6.60
2005-2006	506.50	320.10	184.60	0.00	1.80
2006-2007	269.50	130.30	139.20	0.00	0.00
2007-2008	379.60	331.00	44.80	3.80	0.00
2008-2009	273.40	187.00	79.60	1.60	5.20
2009-2010	190.90	169.90	21.00	0.00	0.00
2010-2011	387.10	366.40	15.20	0.00	5.50
2011-2012	692.40	536.90	153.70	0.00	1.80
2012-2013	513.80	432.70	74.40	6.70	0.00
2013-2014	222.80	181.30	40.20	0.50	0.80
2014-2015	534.00	310.80	222.30	0.80	0.10
2015-2016	191.80	164.40	22.30	5.10	0.00
2016-2017	498.00	379.70	118.30	0.00	0.00
2017-2018	184.00	132.30	43.70	8.00	0.00

Anexo 9 *Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CALACOA (mm)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	235.30	131.26	25.30	0.00	6.10
1990-1991	293.20	334.00	116.20	1.00	2.00
1991-1992	97.20	6.00	0.00	0.00	2.00
1992-1993	305.40	270.50	59.50	21.00	9.20
1993-1994	411.70	436.50	0.00	0.00	0.00
1994-1995	181.90	136.90	54.10	0.00	2.50
1995-1996	181.90	168.90	8.30	0.00	4.40
1996-1997	647.50	454.80	82.00	21.60	50.40
1997-1998	390.80	366.30	16.40	2.00	6.10
1998-1999	685.50	470.40	207.00	0.00	8.10
1999-2000	537.70	383.40	151.30	3.00	0.00
2000-2001	687.30	498.90	181.70	1.10	5.60
2001-2002	450.40	266.50	142.40	31.80	9.70
2002-2003	191.20	126.10	61.40	3.70	0.00
2003-2004	348.70	261.30	72.40	15.00	0.00
2004-2005	318.80	222.70	86.60	0.00	9.50
2005-2006	436.70	348.90	84.80	0.00	3.00
2006-2007	239.50	155.40	83.60	0.00	0.50
2007-2008	644.00	413.80	224.60	5.60	0.00
2008-2009	224.90	136.80	78.60	1.20	8.30
2009-2010	95.90	76.30	19.10	0.00	0.50
2010-2011	419.40	388.30	31.10	0.00	0.00
2011-2012	526.50	424.60	99.30	0.00	2.60
2012-2013	531.00	383.00	114.00	31.70	2.30
2013-2014	128.80	118.00	10.80	0.00	0.00
2014-2015	649.50	361.20	288.30	0.00	0.00
2015-2016	219.70	193.30	17.90	8.50	0.00
2016-2017	703.90	512.50	189.20	0.00	2.20
2017-2018	278.70	214.80	44.60	19.30	0.00

Anexo 10 *Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	MAZO CRUZ (mm)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	273.60	82.00	52.90	56.30	50.00
1990-1991	278.40	160.80	101.30	15.30	1.00
1991-1992	205.70	99.50	5.80	8.20	56.70
1992-1993	530.20	162.90	118.70	44.60	109.80
1993-1994	398.60	228.30	93.00	2.20	26.50
1994-1995	306.80	123.50	102.20	0	27.70
1995-1996	478.90	265.20	62.10	14.20	35.10
1996-1997	731.00	425.20	79.20	32.20	112.90
1997-1998	413.00	252.50	91.20	19.20	50.10
1998-1999	659.90	337.90	278.40	0	43.60
1999-2000	493.70	361.10	93.40	2.40	36.80
2000-2001	723.90	533.80	154.70	7.00	28.40
2001-2002	596.50	272.80	212.90	21.40	89.40
2002-2003	433.80	288.10	106.60	9.70	29.40
2003-2004	534.80	337.50	98.60	86.60	12.10
2004-2005	464.20	338.60	82.80	0	42.80
2005-2006	791.20	547.90	147.80	0.60	94.90
2006-2007	495.10	295.00	136.40	0.60	63.10
2007-2008	409.90	334.90	59.30	6.40	9.30
2008-2009	519.20	333.20	95.90	6.40	83.70
2009-2010	352.10	230.30	105.30	0	16.50
2010-2011	511.30	357.60	100.10	3.20	50.40
2011-2012	738.40	529.00	161.10	3.80	44.50
2012-2013	641.20	461.00	73.60	20.20	86.40
2013-2014	512.40	329.50	62.50	15.00	105.40
2014-2015	630.70	301.40	243.10	0.20	86.00
2015-2016	363.70	227.40	98.00	13.40	24.90
2016-2017	538.80	353.60	121.80	3.80	59.60
2017-2018	653.50	411.30	126.90	57.70	57.60

Anexo 11 *Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	PAMPA UMALZO (mm)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	258.68	101.90	61.38	0.00	22.60
1990-1991	286.46	199.50	113.76	0.00	22.00
1991-1992	59.00	51.90	0.30	0.00	0.00
1992-1993	159.20	145.00	2.30	17.20	0.00
1993-1994	282.40	215.90	41.30	0.00	12.60
1994-1995	150.00	105.90	45.90	0.20	4.90
1995-1996	249.90	163.60	77.00	4.10	5.20
1996-1997	509.40	326.30	86.90	32.30	47.40
1997-1998	295.20	243.30	34.20	4.10	13.60
1998-1999	520.60	324.00	174.20	0.00	22.40
1999-2000	422.70	278.40	119.20	0.90	24.20
2000-2001	637.20	406.00	191.10	8.40	31.70
2001-2002	704.10	338.10	268.10	43.50	54.40
2002-2003	362.30	194.40	146.50	11.40	10.00
2003-2004	467.60	349.70	117.10	0.70	0.10
2004-2005	360.50	244.30	109.60	0.00	6.60
2005-2006	527.50	314.90	123.80	5.50	83.30
2006-2007	308.30	169.10	139.20	0.00	0.00
2007-2008	222.20	127.80	87.80	6.60	0.00
2008-2009	262.20	106.40	87.20	16.00	52.60
2009-2010	204.30	121.10	79.80	0.00	3.40
2010-2011	546.50	433.60	84.90	1.00	27.00
2011-2012	468.00	391.50	50.40	0.00	26.10
2012-2013	289.00	230.70	57.10	0.60	0.60
2013-2014	251.10	176.80	61.30	0.80	12.20
2014-2015	474.30	233.20	226.30	10.20	4.60
2015-2016	260.80	187.50	69.10	4.20	0.00
2016-2017	367.80	239.00	115.10	0.00	13.70
2017-2018	281.90	192.80	54.80	29.20	5.10

Anexo 12 *Precipitación anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	PASTO GRANDE (mm)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	153.90	64.90	21.70	0.00	6.90
1990-1991	157.40	165.60	51.50	0.10	0.40
1991-1992	55.60	19.30	0.20	0.00	0.90
1992-1993	182.30	128.10	21.50	39.90	0.20
1993-1994	205.10	213.00	0.50	0.00	0.30
1994-1995	72.60	63.30	24.60	0.00	3.60
1995-1996	171.30	129.60	13.80	0.20	5.80
1996-1997	422.10	290.60	30.20	63.00	25.40
1997-1998	244.30	192.40	18.70	4.90	11.30
1998-1999	335.10	258.40	76.90	2.40	27.00
1999-2000	333.30	246.90	57.40	0.50	14.70
2000-2001	432.80	335.60	80.00	23.40	18.00
2001-2002	330.90	196.10	90.10	11.30	19.00
2002-2003	215.10	125.50	49.00	22.00	14.30
2003-2004	276.20	196.60	34.30	46.60	8.20
2004-2005	268.00	181.30	38.60	5.00	0.00
2005-2006	345.60	250.10	50.70	2.00	82.10
2006-2007	180.80	118.70	59.10	0.00	0.00
2007-2008	258.10	193.00	39.30	15.00	0.00
2008-2009	158.60	126.10	43.00	0.00	16.30
2009-2010	378.30	202.20	83.00	4.00	16.30
2010-2011	488.80	375.00	117.00	0.00	3.80
2011-2012	676.00	457.00	116.50	0.00	22.50
2012-2013	325.40	418.00	46.00	0.00	19.40
2013-2014	299.10	195.00	52.00	0.00	33.10
2014-2015	310.60	159.00	117.00	21.00	17.60
2015-2016	275.00	173.00	69.00	0.00	12.00
2016-2017	349.50	265.00	58.00	0.00	17.50
2017-2018	404.60	268.00	125.20	22.40	23.00

Anexo 13 *Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CARUMAS (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	18.73	18.66	19.15	18.66	18.38
1990-1991	17.76	16.10	17.65	18.12	18.92
1991-1992	17.90	16.85	17.71	18.20	18.97
1992-1993	18.48	17.47	18.22	19.00	19.03
1993-1994	19.53	19.11	19.17	19.16	20.19
1994-1995	19.25	18.45	19.37	19.92	19.83
1995-1996	19.24	18.38	19.19	19.61	19.62
1996-1997	18.44	17.91	18.56	18.61	18.54
1997-1998	18.67	18.7	19.56	17.97	18.82
1998-1999	17.69	17.13	17.35	18.03	18.38
1999-2000	17.76	16.1	17.65	18.12	18.92
2000-2001	18.21	16.85	17.71	18.65	19.4
2001-2002	19.21	18.27	18.89	19	20.31
2002-2003	19.78	19.67	19.70	19.65	20.19
2003-2004	19.35	18.45	19.97	18.97	20.16
2004-2005	19.46	18.77	19.59	19.61	20.11
2005-2006	19.73	18.38	19.26	20.33	20.4
2006-2007	20.50	20.17	19.98	20.31	21.42
2007-2008	20.31	19.99	20.00	19.88	21.33
2008-2009	20.74	20.72	20.15	20.36	21.47
2009-2010	21.44	21.57	21.12	21.19	22.31
2010-2011	20.05	19.15	20.11	20.26	20.79
2011-2012	20.26	19.93	20.10	20.16	20.92
2012-2013	20.17	19.44	19.77	19.94	21.39
2013-2014	20.75	20.71	20.60	20.75	20.84
2014-2015	20.27	19.75	19.77	20.95	20.62
2015-2016	20.79	20.62	21.01	20.32	21.16
2016-2017	19.93	19.12	19.19	20.53	21.07
2017-2018	20.19	19.91	20.14	19.62	21.04

Anexo 14 *Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CALACOA (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	17.28	18.72	17.17	16.67	16.67
1990-1991	16.45	17.07	15.97	16.30	16.47
1991-1992	16.78	17.20	16.80	16.47	16.63
1992-1993	17.20	17.97	16.20	17.17	17.27
1993-1994	17.96	18.83	17.37	16.87	18.43
1994-1995	18.04	18.70	17.77	18.23	17.83
1995-1996	17.52	18.10	17.10	17.20	17.57
1996-1997	17.64	18.17	16.87	16.87	18.03
1997-1998	18.14	19.50	18.47	17.63	17.63
1998-1999	17.65	18.03	16.93	17.50	17.63
1999-2000	17.52	18.47	16.97	17.23	17.63
2000-2001	17.48	18.47	17.00	17.20	17.67
2001-2002	17.33	18.23	16.17	17.03	17.63
2002-2003	18.21	19.13	17.33	18.30	18.00
2003-2004	18.57	19.17	18.50	16.67	19.23
2004-2005	18.19	19.50	18.13	18.07	18.03
2005-2006	18.34	18.17	17.33	18.23	18.77
2006-2007	18.98	20.80	17.83	18.90	18.60
2007-2008	18.97	20.53	18.13	18.63	18.93
2008-2009	18.77	19.93	17.87	17.90	18.93
2009-2010	19.66	21.00	19.17	19.73	19.27
2010-2011	18.64	19.73	17.53	18.03	19.13
2011-2012	19.15	19.57	17.93	19.00	20.03
2012-2013	18.93	21.07	18.57	17.07	19.17
2013-2014	19.19	20.37	18.83	18.23	18.57
2014-2015	19.28	20.23	17.37	19.47	19.67
2015-2016	19.08	22.54	16.84	17.32	19.70
2016-2017	20.05	20.99	19.75	19.95	19.87
2017-2018	19.45	20.22	19.39	19.19	19.41

Anexo 15 *Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	MAZO CRUZ (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	15.45	15.55	16.01	14.01	16.14
1990-1991	13.83	13.58	13.60	12.96	14.91
1991-1992	14.70	14.43	16.69	13.03	14.94
1992-1993	14.08	13.86	13.44	13.39	15.52
1993-1994	14.38	14.08	13.79	13.85	16.07
1994-1995	15.71	14.97	15.04	16.20	16.05
1995-1996	14.60	14.77	14.14	14.00	16.05
1996-1997	14.80	13.23	13.48	14.75	16.52
1997-1998	16.66	16.98	17.55	15.32	16.80
1998-1999	16.61	16.09	15.84	16.05	18.09
1999-2000	16.74	16.76	16.95	14.91	18.72
2000-2001	16.18	15.91	16.53	14.43	18.18
2001-2002	15.47	16.35	14.05	13.31	18.01
2002-2003	17.23	17.31	16.36	15.98	18.70
2003-2004	16.60	17.01	16.77	13.91	18.70
2004-2005	16.19	17.03	16.59	15.19	16.98
2005-2006	16.81	15.42	15.29	16.16	19.55
2006-2007	17.66	18.05	16.83	17.26	18.79
2007-2008	17.86	17.37	17.38	16.86	20.02
2008-2009	17.77	17.66	17.09	16.25	19.62
2009-2010	18.38	18.13	18.14	17.86	19.90
2010-2011	17.40	16.87	16.71	16.57	19.62
2011-2012	17.17	15.99	16.30	16.80	19.80
2012-2013	17.45	16.46	17.75	15.92	19.45
2013-2014	18.07	17.82	18.02	16.88	18.76
2014-2015	17.64	17.66	16.37	17.12	19.30
2015-2016	18.75	19.81	18.75	16.88	19.63
2016-2017	18.08	18.15	16.81	17.81	19.88
2017-2018	17.59	17.65	17.54	15.09	19.89

Anexo 16 *Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	PAMPA UMALZO (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	10.37	10.35	10.49	10.00	10.62
1990-1991	10.15	9.60	10.18	10.07	10.72
1991-1992	10.26	9.86	10.17	10.07	10.82
1992-1993	10.66	10.40	10.43	10.50	11.29
1993-1994	10.96	10.84	10.87	10.13	11.83
1994-1995	11.07	10.46	11.33	11.36	11.47
1995-1996	10.90	10.37	10.72	10.67	11.66
1996-1997	10.72	10.27	10.67	10.13	11.53
1997-1998	11.04	10.97	11.46	11.05	11.16
1998-1999	10.89	10.03	10.82	10.67	11.66
1999-2000	10.56	10.27	10.49	10.64	10.86
2000-2001	10.67	10.65	10.78	10.54	11.05
2001-2002	10.44	9.86	10.17	10.56	11.06
2002-2003	10.98	10.70	10.61	11.29	11.29
2003-2004	11.87	11.22	12.03	10.13	13.28
2004-2005	11.38	11.10	11.78	11.36	12.25
2005-2006	11.13	10.12	11.36	10.67	11.66
2006-2007	10.74	10.99	10.49	10.97	10.86
2007-2008	10.78	11.09	10.78	10.88	11.05
2008-2009	10.24	9.54	10.17	10.56	10.54
2009-2010	10.50	9.65	10.34	11.29	10.92
2010-2011	11.76	11.79	11.92	9.92	12.33
2011-2012	13.77	12.16	12.09	16.35	14.32
2012-2013	11.73	13.19	12.30	10.00	12.10
2013-2014	11.75	11.45	11.47	10.94	12.50
2014-2015	11.84	11.90	10.87	11.35	12.93
2015-2016	12.10	13.12	12.56	10.86	12.36
2016-2017	11.10	11.28	10.75	10.83	11.85
2017-2018	10.77	10.40	11.18	9.41	11.88

Anexo 17 *Temperatura máxima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	PASTO GRANDE (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989-1990	9.36	9.35	9.33	8.67	10.03
1990-1991	8.94	8.67	8.70	8.43	9.97
1991-1992	9.12	8.70	9.13	8.57	10.03
1992-1993	9.33	9.10	8.83	8.90	10.40
1993-1994	9.76	9.53	9.43	8.77	11.13
1994-1995	9.79	9.43	9.67	9.47	10.80
1995-1996	9.52	9.17	9.27	8.97	10.60
1996-1997	9.59	9.20	9.17	8.77	10.90
1997-1998	9.84	7.38	10.07	9.13	10.70
1998-1999	9.59	6.80	9.23	9.10	10.70
1999-2000	9.50	6.97	9.23	8.97	10.63
2000-2001	9.49	6.98	9.27	8.93	10.67
2001-2002	9.41	6.88	8.80	8.90	10.63
2002-2003	9.87	7.23	9.40	9.50	10.90
2003-2004	10.18	7.32	10.07	8.70	11.73
2004-2005	9.93	7.48	9.90	9.40	11.00
2005-2006	10.03	6.98	9.47	9.50	11.37
2006-2007	10.64	8.30	9.99	9.96	11.64
2007-2008	10.64	8.24	9.99	9.96	11.64
2008-2009	10.51	7.94	10.08	8.83	12.19
2009-2010	11.01	8.46	10.75	10.63	11.95
2010-2011	9.13	7.39	7.27	8.76	11.22
2011-2012	9.15	5.99	7.98	9.16	11.24
2012-2013	9.49	8.05	9.35	7.25	11.27
2013-2014	9.35	6.67	9.98	8.55	8.74
2014-2015	9.96	6.46	8.22	10.42	12.10
2015-2016	11.39	8.80	11.76	10.27	11.95
2016-2017	11.17	7.90	10.24	12.68	11.64
2017-2018	10.73	7.15	10.79	9.84	12.74

Anexo 18 *Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CARUMAS (°C)				
AÑO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	11.87	12.16	12.31	11.34	11.75
1990 -1991	10.73	10.55	10.81	10.25	11.33
1991-1992	10.90	10.61	10.85	10.26	11.76
1992-1993	11.61	11.44	11.24	11.16	12.42
1993-1994	12.26	12.57	12.11	11.53	12.59
1994-1995	11.70	12.01	12.15	11.36	11.92
1995-1996	11.70	11.36	11.54	11.27	12.26
1996-1997	13.53	13.10	13.52	12.95	13.78
1997-1998	13.16	14.22	14.02	12.56	12.71
1998-1999	11.48	11.46	11.34	11.66	11.72
1999-2000	11.14	10.62	11.34	11.10	11.43
2000-2001	11.62	10.73	10.88	12.25	12.30
2001-2002	12.21	12.11	12.29	11.83	12.48
2002-2003	12.11	12.47	12.72	11.31	12.02
2003-2004	11.72	11.70	12.40	10.79	12.04
2004-2005	11.81	11.77	12.16	11.21	12.17
2005-2006	12.10	11.95	12.02	11.63	12.46
2006-2007	12.76	12.91	12.73	12.17	13.27
2007-2008	12.01	12.50	11.99	11.13	12.54
2008-2009	12.32	12.55	12.07	11.34	13.01
2009-2010	13.09	13.49	12.69	12.25	14.06
2010-2011	12.52	12.59	12.58	12.08	12.89
2011-2012	12.20	12.75	12.51	11.48	12.47
2012-2013	12.17	11.89	11.83	11.44	13.15
2013-2014	12.63	13.05	12.79	12.03	12.69
2014-2015	12.41	12.41	12.41	12.13	12.64
2015-2016	12.50	13.18	12.99	11.41	12.54
2016-2017	12.18	11.85	11.54	11.33	13.76
2017-2018	13.35	12.95	12.85	13.02	14.37

Anexo 19 *Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CALACOA (°C)				
AÑO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	11.31	12.29	11.48	10.08	11.02
1990 -1991	10.21	11.64	9.95	9.38	10.56
1991-1992	10.04	10.82	9.38	9.67	9.90
1992-1993	11.04	11.34	10.42	9.97	11.91
1993-1994	11.55	12.42	11.07	10.86	11.99
1994-1995	12.44	12.21	11.69	11.98	13.00
1995-1996	12.24	14.65	12.71	10.47	11.76
1996-1997	13.31	13.34	12.69	12.46	13.62
1997-1998	13.08	15.31	12.99	12.76	12.91
1998-1999	11.23	11.11	11.78	10.53	11.46
1999-2000	10.76	10.92	11.11	10.45	10.77
2000-2001	11.24	11.10	11.02	10.73	12.07
2001-2002	11.27	11.31	11.62	10.90	10.70
2002-2003	11.11	12.34	11.23	10.49	10.89
2003-2004	11.45	11.65	11.74	9.95	11.56
2004-2005	11.24	12.71	11.50	10.03	11.15
2005-2006	11.64	12.51	11.14	10.69	12.20
2006-2007	11.84	13.41	10.82	11.95	11.23
2007-2008	11.29	12.37	11.20	10.13	11.46
2008-2009	11.27	11.94	10.67	10.39	11.97
2009-2010	12.35	13.21	12.23	10.92	12.91
2010-2011	12.01	13.61	11.48	10.19	12.66
2011-2012	11.45	12.24	11.53	10.41	12.51
2012-2013	11.71	12.23	11.20	10.02	12.63
2013-2014	11.40	12.53	11.00	11.18	11.10
2014-2015	11.93	12.00	11.02	11.49	12.31
2015-2016	12.96	14.55	11.23	11.53	13.93
2016-2017	13.50	16.09	14.04	11.84	12.92
2017-2018	12.77	13.63	13.13	12.01	12.62

Anexo 20 *Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	MAZOCRUZ (°C)				
AÑO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	4.34	6.70	4.54	1.16	4.62
1990 -1991	4.10	5.74	5.65	2.58	3.18
1991-1992	3.13	5.19	4.22	-0.08	2.94
1992-1993	3.45	5.38	3.72	0.00	4.19
1993-1994	3.10	6.60	3.49	-0.77	3.45
1994-1995	3.62	6.40	4.14	0.96	2.88
1995-1996	3.53	6.45	3.83	0.20	3.50
1996-1997	4.14	6.59	3.37	0.97	5.31
1997-1998	4.78	8.15	5.23	1.56	4.23
1998-1999	5.71	7.80	6.85	2.34	5.53
1999-2000	5.75	8.94	6.66	1.36	5.73
2000-2001	5.66	9.27	7.61	1.08	5.47
2001-2002	5.45	7.49	5.81	1.51	6.44
2002-2003	5.39	9.06	6.48	1.29	4.81
2003-2004	5.22	8.67	5.33	1.68	5.21
2004-2005	4.19	8.44	5.17	-0.97	4.23
2005-2006	5.70	7.93	5.40	1.31	7.77
2006-2007	6.25	9.07	6.96	2.76	6.31
2007-2008	5.18	9.05	4.82	1.15	5.73
2008-2009	5.70	9.22	5.84	0.83	6.55
2009-2010	5.96	10.07	6.76	2.23	5.17
2010-2011	6.11	8.88	6.46	2.85	6.26
2011-2012	6.01	8.74	6.71	1.92	6.37
2012-2013	6.18	9.19	6.18	3.02	6.35
2013-2014	6.35	9.42	6.19	2.43	7.24
2014-2015	6.05	9.16	6.44	2.44	6.61
2015-2016	6.18	9.59	6.62	2.27	5.86
2016-2017	6.58	9.60	7.22	2.75	6.78
2017-2018	6.47	9.16	6.60	3.61	6.68

Anexo 21 *Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	PAMPA UMALZO (°C)				
AÑO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	1.68	3.12	1.68	-0.21	1.75
1990 -1991	1.96	2.90	3.12	1.18	1.24
1991-1992	1.05	2.36	1.07	-0.68	1.11
1992-1993	1.68	2.96	1.97	-0.54	2.01
1993-1994	1.49	3.95	1.92	-1.41	1.58
1994-1995	1.44	3.31	2.16	-0.41	1.01
1995-1996	1.67	3.37	1.95	-0.53	1.53
1996-1997	2.38	4.80	2.05	-0.84	3.32
1997-1998	2.04	5.10	2.47	-0.51	1.41
1998-1999	2.84	4.76	4.34	-0.35	2.31
1999-2000	2.66	5.70	3.43	-0.77	1.80
2000-2001	2.87	6.74	4.48	-0.87	1.90
2001-2002	2.93	4.25	3.87	0.14	2.96
2002-2003	2.26	5.75	3.61	-1.06	1.10
2003-2004	2.87	3.95	3.66	0.84	3.14
2004-2005	2.76	3.82	3.35	0.58	3.28
2005-2006	2.58	3.60	3.11	0.29	2.93
2006-2007	2.35	4.48	2.87	1.05	1.77
2007-2008	1.42	2.17	1.55	0.99	0.82
2008-2009	2.20	3.11	2.44	1.00	2.01
2009-2010	2.08	3.63	2.26	0.20	2.39
2010-2011	2.26	4.70	2.64	0.65	1.68
2011-2012	3.52	1.78	3.63	3.65	3.69
2012-2013	2.98	5.72	3.23	0.72	2.80
2013-2014	2.13	3.76	2.87	-0.28	2.37
2014-2015	2.33	3.87	3.44	-0.07	1.88
2015-2016	1.95	4.37	2.92	-0.25	0.92
2016-2017	1.88	4.33	3.40	-0.65	0.76
2017-2018	2.04	3.87	2.67	-0.08	1.31

Anexo 22 *Temperatura media anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	PASTO GRANDE (°C)				
AÑO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	1.61	2.85	1.59	-0.13	1.95
1990 -1991	1.77	2.66	2.62	0.89	1.44
1991-1992	1.04	2.11	1.11	-0.62	1.32
1992-1993	1.52	2.59	1.61	-0.51	2.06
1993-1994	1.44	3.45	1.68	-1.15	1.84
1994-1995	1.37	3.03	1.80	-0.48	1.34
1995-1996	1.50	2.98	1.69	-0.54	1.60
1996-1997	1.84	3.53	1.56	-0.41	2.67
1997-1998	1.79	3.66	1.91	-0.05	1.86
1998-1999	2.22	3.33	2.94	0.18	2.24
1999-2000	2.16	3.92	2.50	-0.12	2.14
2000-2001	2.27	4.36	3.19	-0.17	2.17
2001-2002	2.31	3.13	2.63	0.40	2.76
2002-2003	1.99	3.99	2.65	-0.21	1.74
2003-2004	2.23	3.92	2.20	0.22	2.40
2004-2005	1.63	3.88	2.07	-1.35	1.96
2005-2006	2.38	3.72	2.37	-0.25	3.46
2006-2007	3.16	4.91	3.65	0.75	3.25
2007-2008	3.00	4.85	3.48	0.36	3.27
2008-2009	2.77	4.53	3.36	-0.59	3.57
2009-2010	3.01	5.41	3.86	0.69	2.35
2010-2011	1.83	4.29	1.59	-0.54	2.40
2011-2012	2.20	3.69	2.46	-0.27	2.63
2012-2013	1.97	4.56	1.96	-0.74	2.63
2013-2014	1.73	3.02	1.97	-0.91	2.25
2014-2015	1.79	3.21	1.86	-0.18	2.22
2015-2016	2.62	4.59	3.36	0.26	2.29
2016-2017	2.73	4.19	2.91	1.12	2.83
2017-2018	2.31	3.56	2.42	0.40	3.10

Anexo 23 *Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CARUMAS (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	5.01	5.65	5.47	4.03	5.12
1990 -1991	3.71	5.00	3.97	2.38	3.74
1991-1992	3.90	4.37	3.99	2.32	4.55
1992-1993	4.73	5.40	4.26	3.31	5.81
1993-1994	4.99	6.03	5.04	3.91	4.99
1994-1995	4.15	5.57	4.93	2.79	4.01
1995-1996	4.16	4.35	3.89	2.93	4.91
1996-1997	8.63	8.44	8.47	7.28	9.02
1997-1998	7.66	9.75	8.47	7.15	6.59
1998-1999	5.28	5.79	5.33	5.29	5.07
1999-2000	4.52	5.13	5.03	4.07	3.94
2000-2001	5.02	4.61	4.05	5.85	5.21
2001-2002	5.20	5.95	5.69	4.65	4.64
2002-2003	4.44	5.26	5.73	2.97	3.84
2003-2004	4.10	4.94	4.82	2.61	3.93
2004-2005	4.15	4.77	4.73	2.82	4.23
2005-2006	4.48	5.52	4.78	2.93	4.53
2006-2007	5.01	5.65	5.47	4.03	5.12
2007-2008	3.71	5.00	3.97	2.38	3.74
2008-2009	3.90	4.37	3.99	2.32	4.55
2009-2010	4.73	5.40	4.26	3.31	5.81
2010-2011	4.99	6.03	5.04	3.91	4.99
2011-2012	4.15	5.57	4.93	2.79	4.01
2012-2013	4.16	4.35	3.89	2.93	4.91
2013-2014	4.52	5.38	4.97	3.31	4.54
2014-2015	4.55	5.07	5.04	3.31	4.66
2015-2016	4.21	5.75	4.96	2.49	3.92
2016-2017	4.43	4.58	3.88	2.14	6.45
2017-2018	6.51	5.99	5.55	6.42	7.69

Anexo 24 *Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	CALACOA (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	5.35	7.01	5.80	3.49	5.37
1990 -1991	3.98	6.21	3.93	2.46	4.65
1991-1992	3.30	4.43	1.96	2.88	3.16
1992-1993	4.88	4.71	4.63	2.78	6.55
1993-1994	5.14	6.01	4.78	4.85	5.55
1994-1995	6.83	5.73	5.61	5.74	8.16
1995-1996	6.96	11.20	8.33	3.74	5.96
1996-1997	8.97	8.52	8.52	8.05	9.20
1997-1998	8.02	11.11	7.52	7.88	8.19
1998-1999	4.81	4.19	6.62	3.57	5.30
1999-2000	4.01	3.38	5.25	3.66	3.90
2000-2001	4.99	3.73	5.04	4.27	6.47
2001-2002	5.21	4.39	7.07	4.77	3.77
2002-2003	4.01	5.54	5.12	2.69	3.78
2003-2004	4.34	4.14	4.99	3.24	3.88
2004-2005	4.28	5.92	4.87	1.99	4.26
2005-2006	4.94	6.86	4.94	3.14	5.62
2006-2007	4.69	6.02	3.80	5.01	3.87
2007-2008	3.60	4.21	4.27	1.63	3.98
2008-2009	3.78	3.95	3.48	2.88	5.01
2009-2010	5.05	5.41	5.30	2.11	6.55
2010-2011	5.37	7.49	5.43	2.35	6.20
2011-2012	3.74	4.92	5.13	1.81	4.98
2012-2013	4.50	3.40	3.83	2.98	6.10
2013-2014	3.62	4.69	3.17	4.12	3.64
2014-2015	4.59	3.76	4.66	3.52	4.94
2015-2016	6.83	6.56	5.61	5.74	8.16
2016-2017	6.96	11.20	8.33	3.74	5.96
2017-2018	6.08	7.03	6.87	4.83	5.83

Anexo 25 *Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

ESTACIÓN	MAZO CRUZ (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	-6.77	-2.17	-6.93	-11.69	-6.91
1990 -1991	-5.63	-2.11	-2.31	-7.79	-8.55
1991-1992	-8.44	-4.05	-8.25	-13.19	-9.07
1992-1993	-7.19	-3.10	-6.01	-13.40	-7.14
1993-1994	-8.17	-0.88	-6.80	-15.38	-9.17
1994-1995	-8.48	-2.17	-6.77	-14.28	-10.30
1995-1996	-7.55	-1.86	-6.48	-13.60	-9.06
1996-1997	-6.52	-0.05	-6.73	-12.81	-5.90
1997-1998	-7.11	-0.68	-7.09	-12.21	-8.33
1998-1999	-5.20	-0.50	-2.13	-11.37	-7.04
1999-2000	-5.24	1.13	-3.62	-12.18	-7.26
2000-2001	-4.86	2.64	-1.31	-12.28	-7.24
2001-2002	-4.58	-1.36	-2.43	-10.29	-5.14
2002-2003	-6.46	0.80	-3.40	-13.41	-9.09
2003-2004	-6.16	0.33	-6.11	-10.56	-8.28
2004-2005	-7.82	-0.15	-6.25	-17.13	-8.51
2005-2006	-5.43	0.44	-4.49	-13.55	-4.01
2006-2007	-5.16	0.09	-2.91	-11.74	-6.18
2007-2008	-7.50	0.73	-7.75	-14.56	-8.56
2008-2009	-6.36	0.77	-5.41	-14.59	-6.51
2009-2010	-6.48	2.01	-4.62	-13.40	-9.56
2010-2011	-5.19	0.90	-3.79	-10.87	-7.10
2011-2012	-5.16	1.49	-2.88	-12.96	-7.06
2012-2013	-5.10	1.92	-5.38	-9.89	-6.75
2013-2014	-5.37	1.02	-5.65	-12.02	-4.28
2014-2015	-5.55	0.66	-3.50	-12.24	-6.09
2015-2016	-6.39	-0.64	-5.51	-12.33	-7.90
2016-2017	-4.92	1.05	-2.37	-12.31	-6.33
2017-2018	-4.65	0.67	-4.34	-7.88	-6.53

Anexo 26 *Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

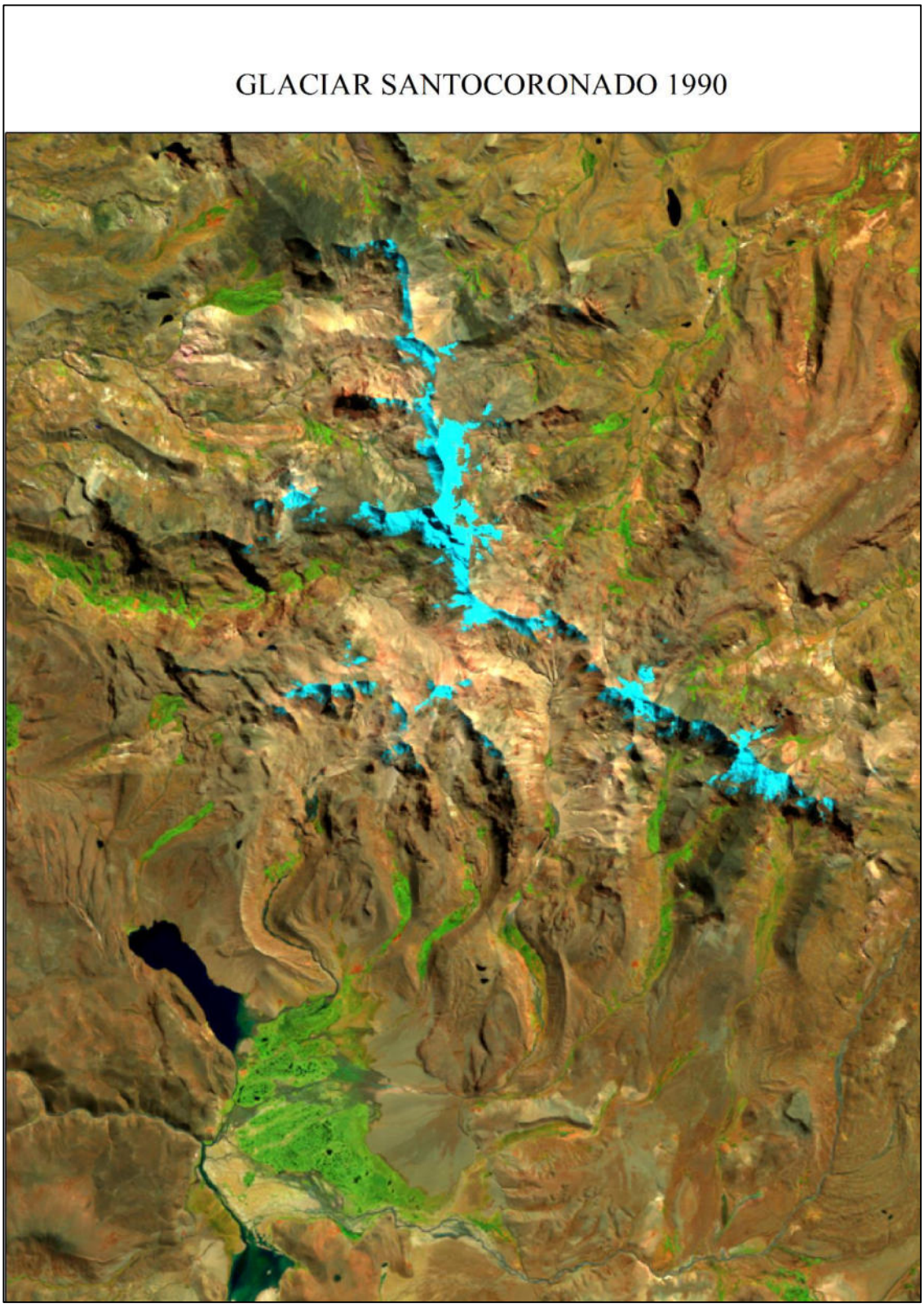
ESTACIÓN	PAMPA UMALZO (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	-7.01	-3.77	-7.12	-10.41	-7.11
1990 -1991	-6.22	-3.80	-3.93	-7.71	-8.24
1991-1992	-8.16	-5.13	-8.03	-11.44	-8.60
1992-1993	-7.30	-4.48	-6.48	-11.58	-7.27
1993-1994	-7.98	-2.94	-7.03	-12.95	-8.67
1994-1995	-8.19	-3.84	-7.01	-12.19	-9.44
1995-1996	-7.55	-3.63	-6.81	-11.73	-8.59
1996-1997	-5.97	-0.67	-6.56	-11.81	-4.90
1997-1998	-6.96	-0.77	-6.53	-12.08	-8.33
1998-1999	-5.20	-0.50	-2.13	-11.37	-7.04
1999-2000	-5.24	1.13	-3.62	-12.18	-7.26
2000-2001	-4.93	2.84	-1.81	-12.28	-7.24
2001-2002	-4.58	-1.36	-2.43	-10.29	-5.14
2002-2003	-6.46	0.80	-3.40	-13.41	-9.09
2003-2004	-6.13	-3.31	-4.72	-8.45	-7.00
2004-2005	-5.87	-3.46	-5.07	-10.21	-5.70
2005-2006	-5.96	-2.92	-5.13	-10.09	-5.80
2006-2007	-6.04	-2.04	-4.76	-8.88	-7.33
2007-2008	-7.95	-6.76	-7.68	-8.90	-9.40
2008-2009	-5.84	-3.32	-5.29	-8.56	-6.51
2009-2010	-6.33	-2.38	-5.83	-10.89	-6.14
2010-2011	-7.24	-2.40	-6.65	-8.62	-8.98
2011-2012	-6.73	-8.61	-4.83	-9.04	-6.94
2012-2013	-5.78	-1.74	-5.84	-8.55	-6.51
2013-2014	-7.48	-3.93	-5.73	-11.51	-7.77
2014-2015	-7.18	-4.17	-4.00	-11.50	-9.17
2015-2016	-8.20	-4.38	-6.72	-11.35	-10.52
2016-2017	-7.35	-2.61	-3.94	-12.12	-10.32
2017-2018	-6.70	-2.67	-5.83	-9.57	-9.26

Anexo 27 *Temperatura mínima anual y por estaciones verano, otoño, invierno y primavera*

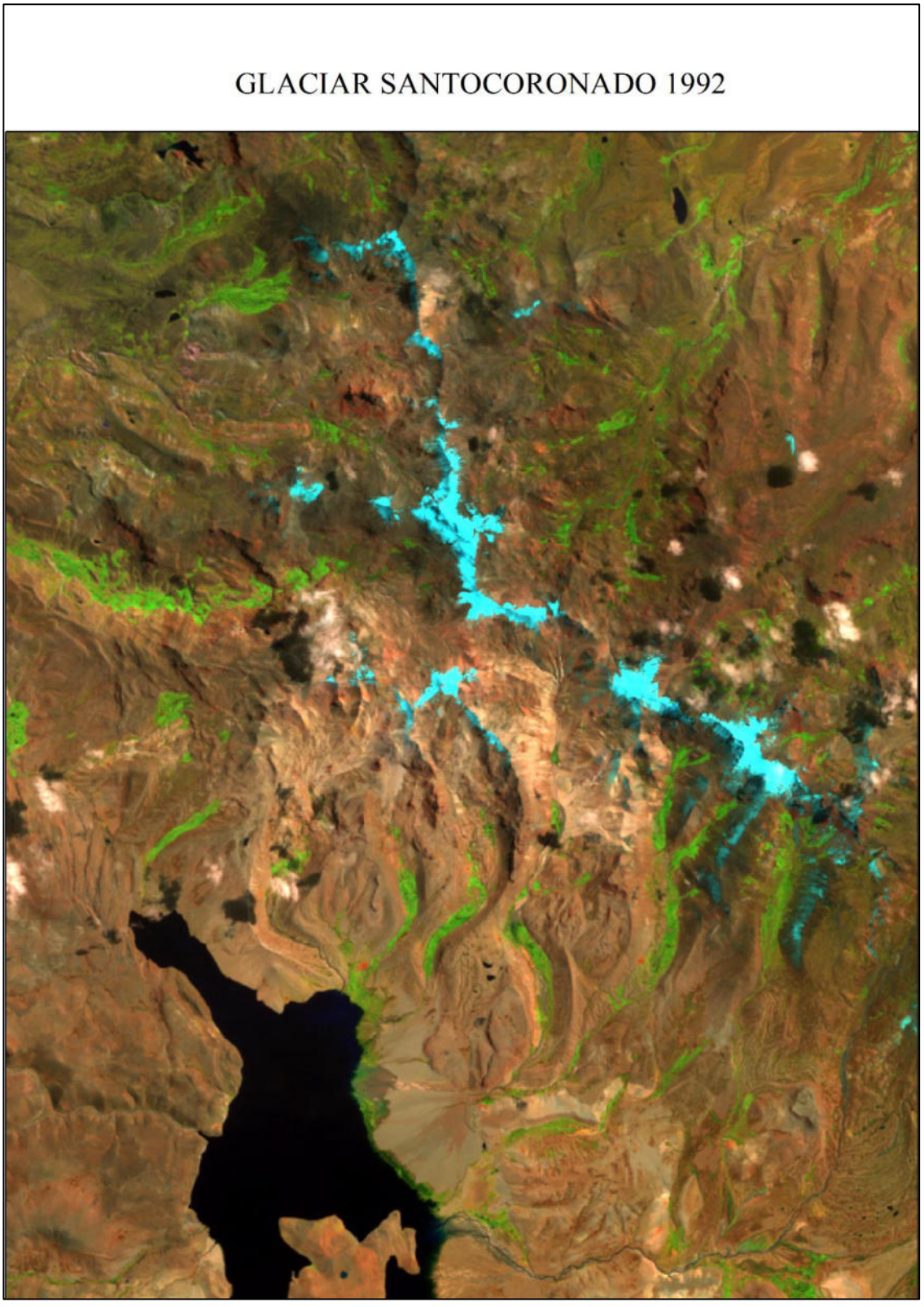
ESTACIÓN	PASTO GRANDE (°C)				
AÑOS	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
1989 -1990	-6.14	-3.61	-6.15	-8.93	-6.14
1990 -1991	-5.39	-3.35	-3.46	-6.65	-7.10
1991-1992	-7.03	-4.47	-6.92	-9.80	-7.40
1992-1993	-6.30	-3.92	-5.61	-9.92	-6.27
1993-1994	-6.88	-2.63	-6.08	-11.07	-7.46
1994-1995	-7.05	-3.38	-6.06	-10.43	-8.11
1995-1996	-6.51	-3.20	-5.89	-10.04	-7.39
1996-1997	-5.91	-2.15	-6.04	-9.58	-5.55
1997-1998	-6.26	-2.51	-6.25	-9.23	-6.97
1998-1999	-5.15	-2.41	-3.36	-8.74	-6.22
1999-2000	-5.17	-1.46	-4.23	-9.21	-6.35
2000-2001	-4.95	-0.58	-2.88	-9.27	-6.33
2001-2002	-4.78	-2.91	-3.53	-8.11	-5.11
2002-2003	-5.88	-1.65	-4.10	-9.93	-7.41
2003-2004	-5.71	-1.92	-5.68	-8.27	-6.94
2004-2005	-6.67	-2.21	-5.76	-12.10	-7.08
2005-2006	-5.28	-1.86	-4.73	-10.01	-4.45
2006-2007	-4.32	-1.24	-2.69	-8.46	-5.13
2007-2008	-4.65	-1.29	-3.03	-9.24	-5.10
2008-2009	-4.97	-1.53	-3.37	-10.01	-5.06
2009-2010	-5.00	-0.46	-3.03	-9.26	-7.26
2010-2011	-5.48	-1.28	-4.10	-9.85	-6.42
2011-2012	-4.74	-0.62	-3.06	-9.69	-5.99
2012-2013	-5.56	-1.61	-5.43	-8.73	-6.01
2013-2014	-5.88	-2.85	-6.04	-10.36	-4.25
2014-2015	-6.37	-2.20	-4.50	-10.79	-7.66
2015-2016	-6.14	-2.56	-5.03	-9.74	-7.38
2016-2017	-5.72	-2.16	-4.41	-10.44	-5.98
2017-2018	-6.11	-2.43	-5.96	-9.03	-6.54

IMÁGENES CORREGIDAS RADIOMETRICAMENTE

Anexo 28 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1990*

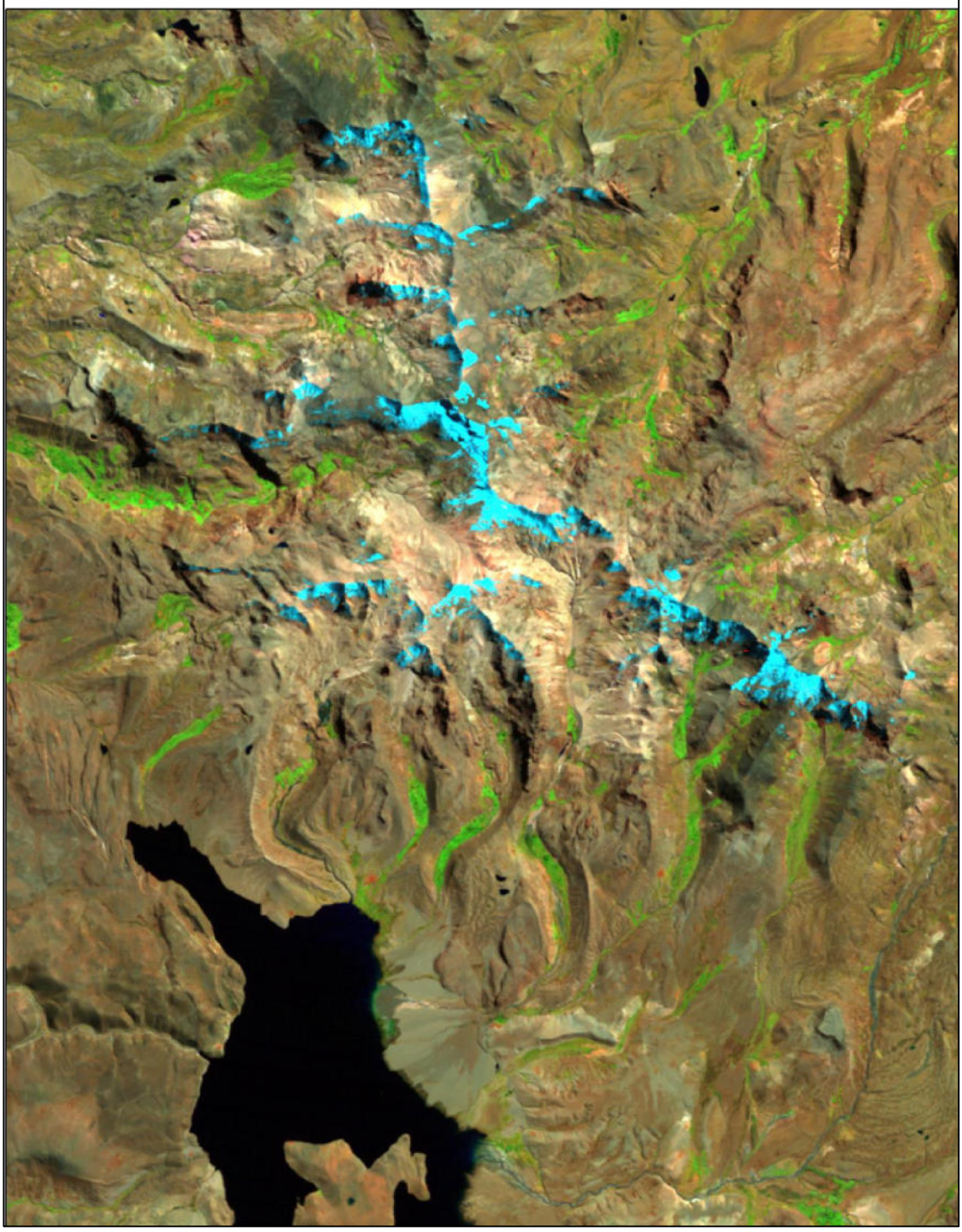


Anexo 29 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1992*

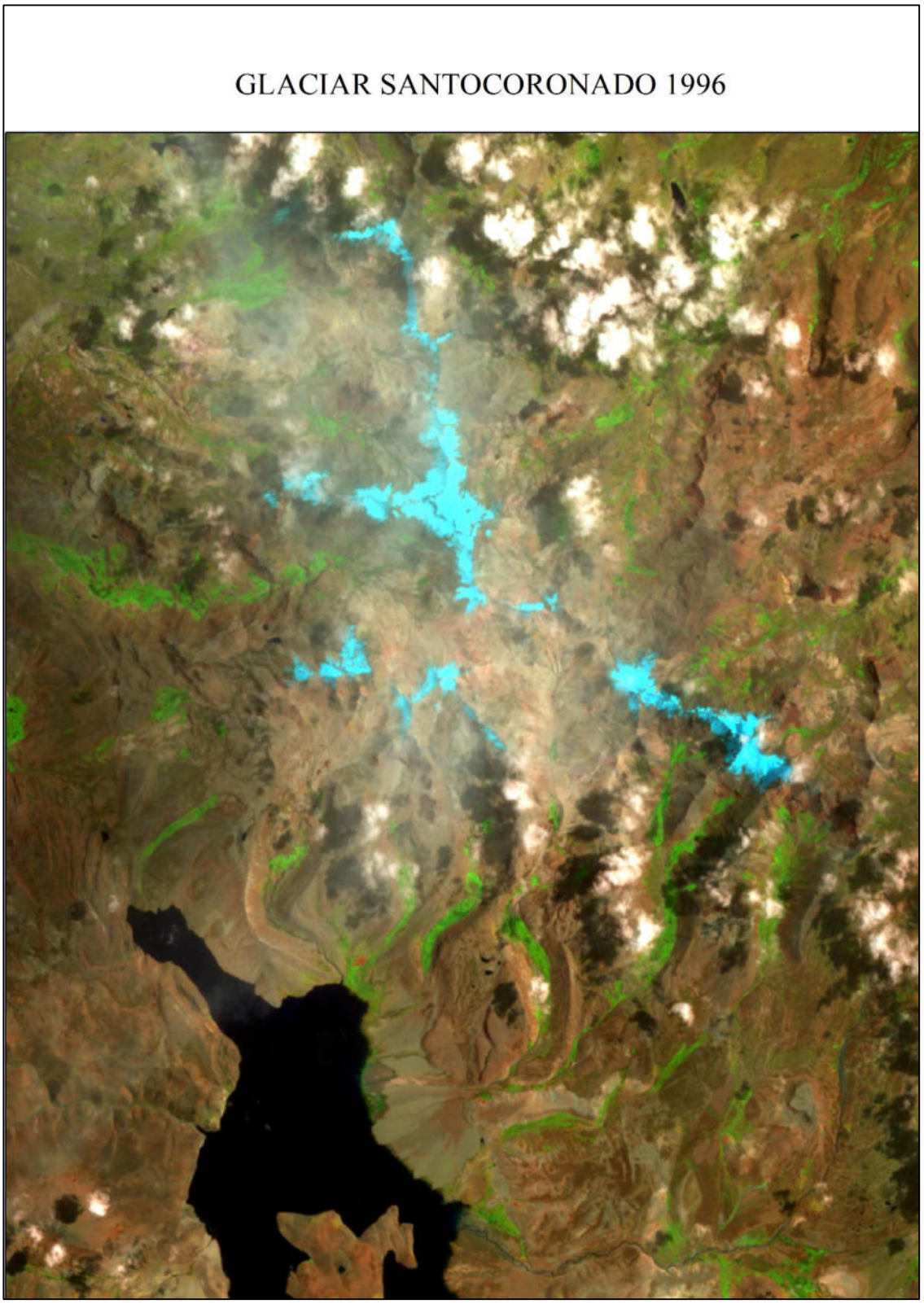


Anexo 30 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1994*

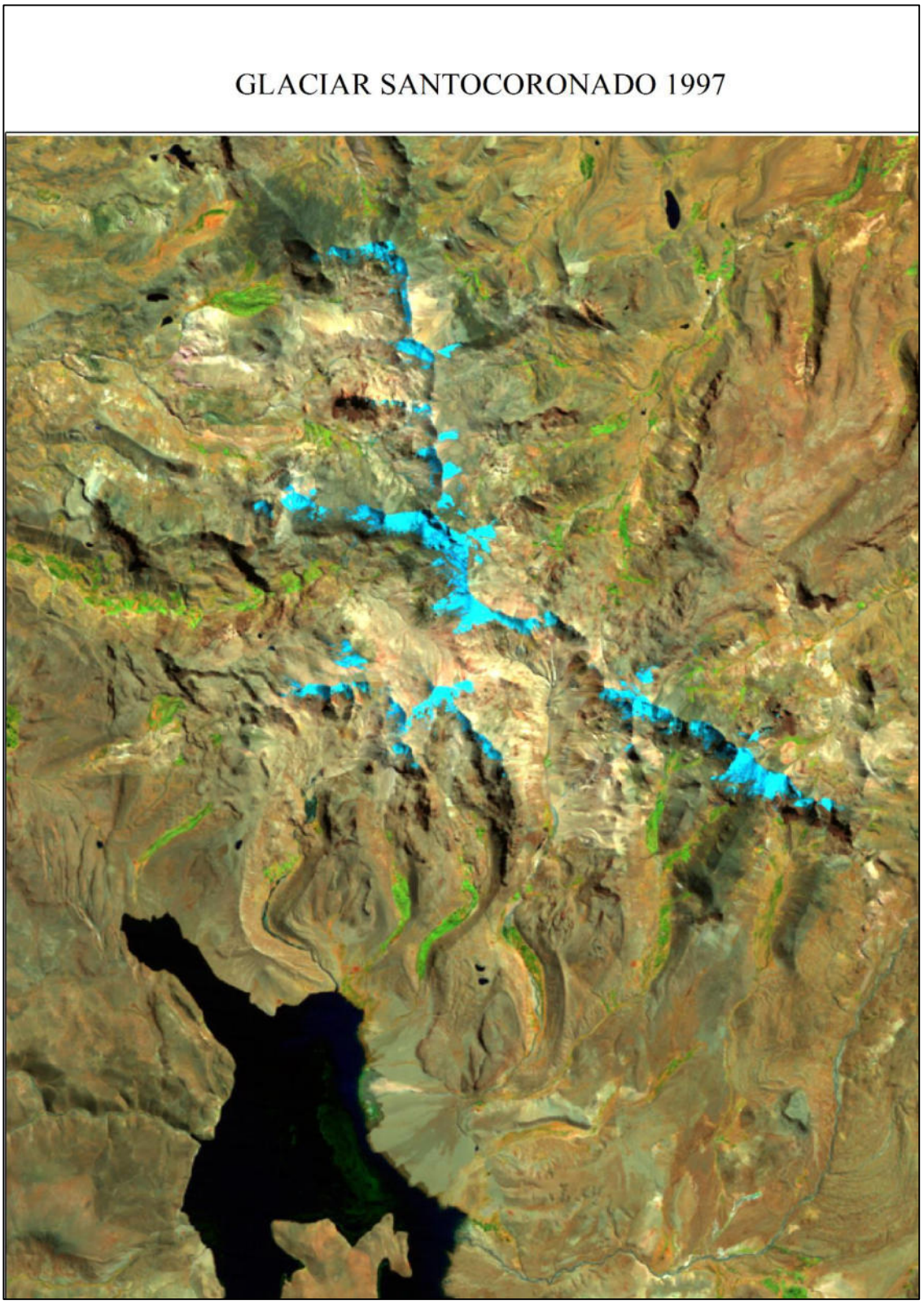
GLACIAR SANTOCORONADO 1994



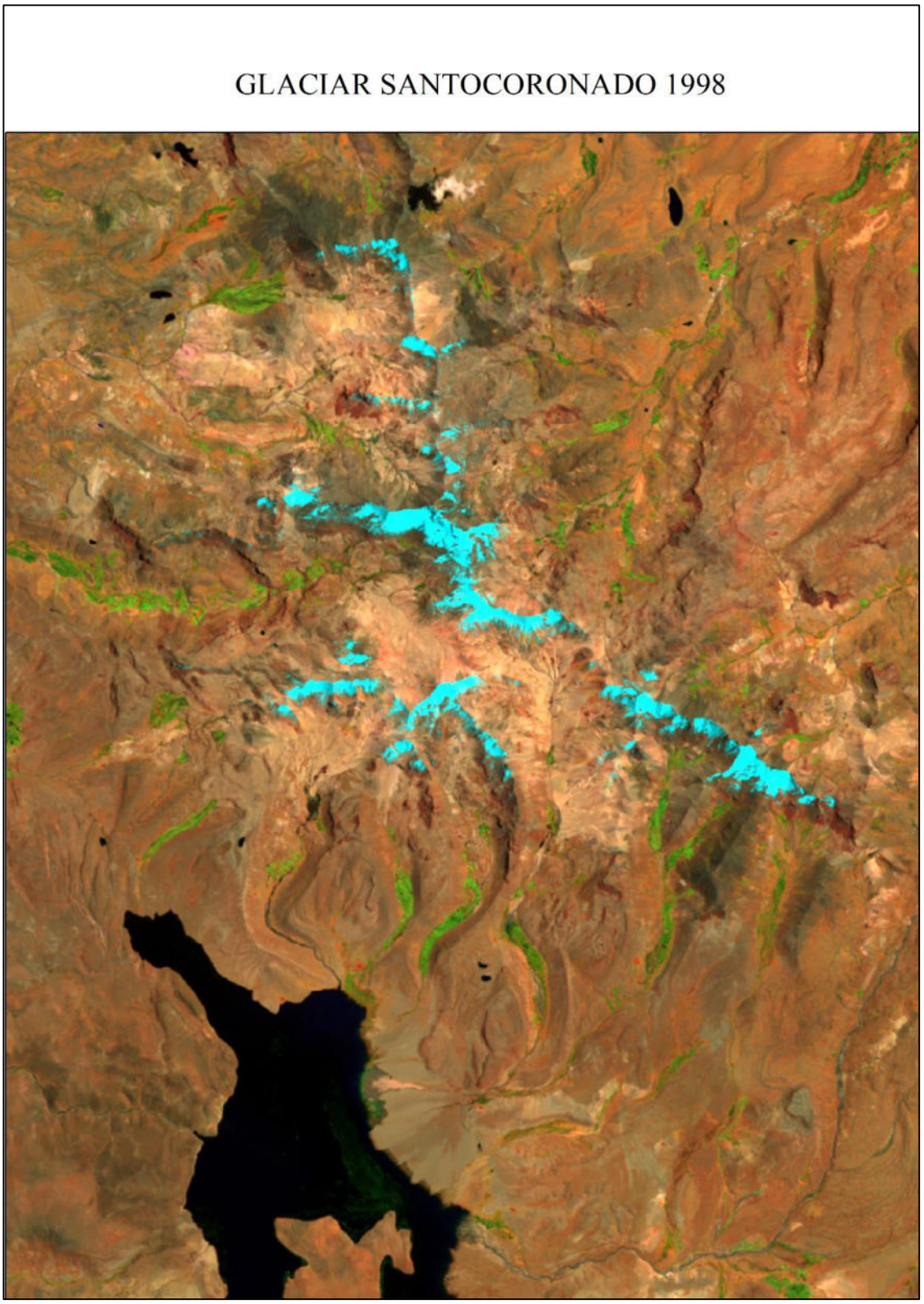
Anexo 31 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1996*



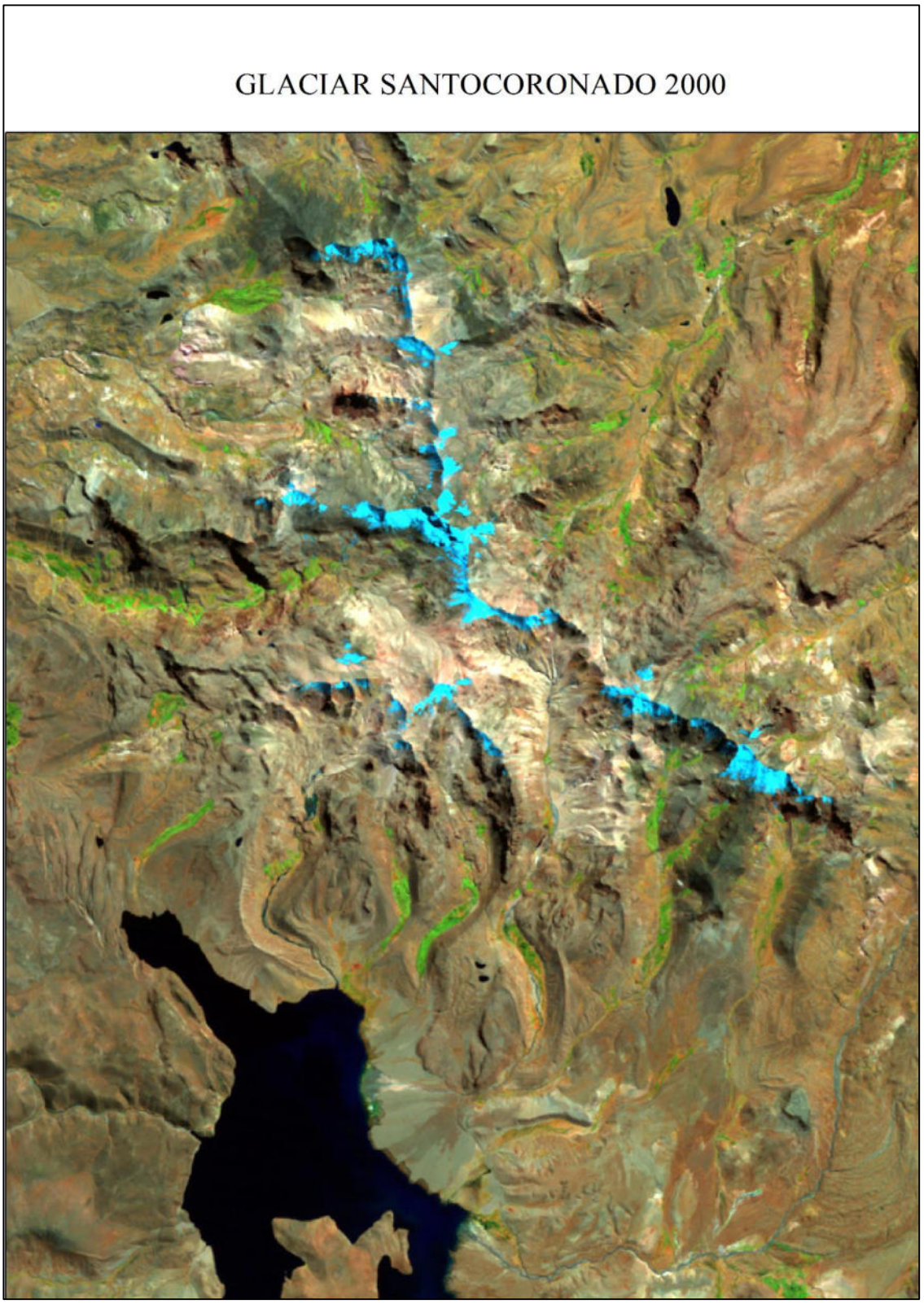
Anexo 32 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1997*



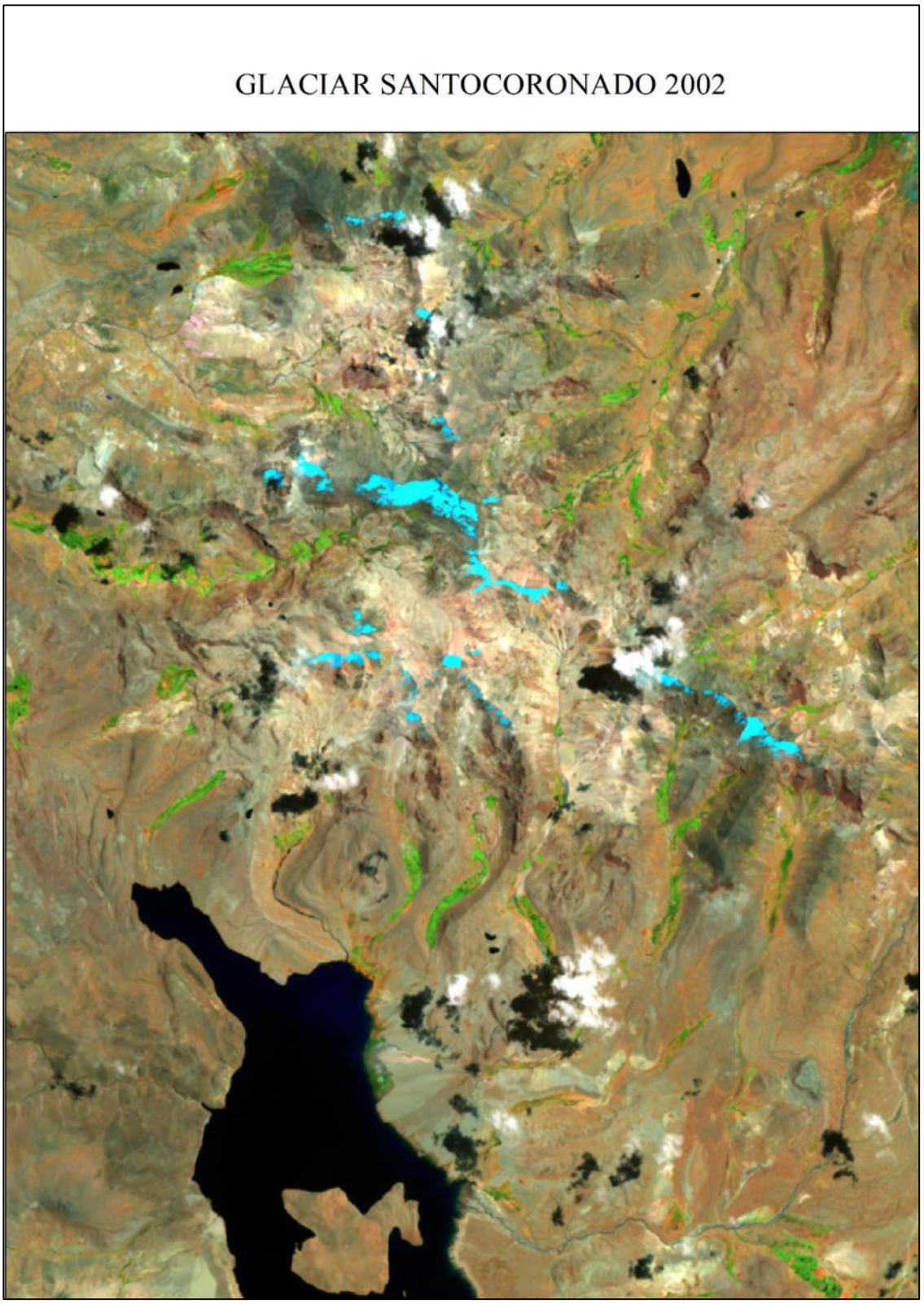
Anexo 33 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 1998*



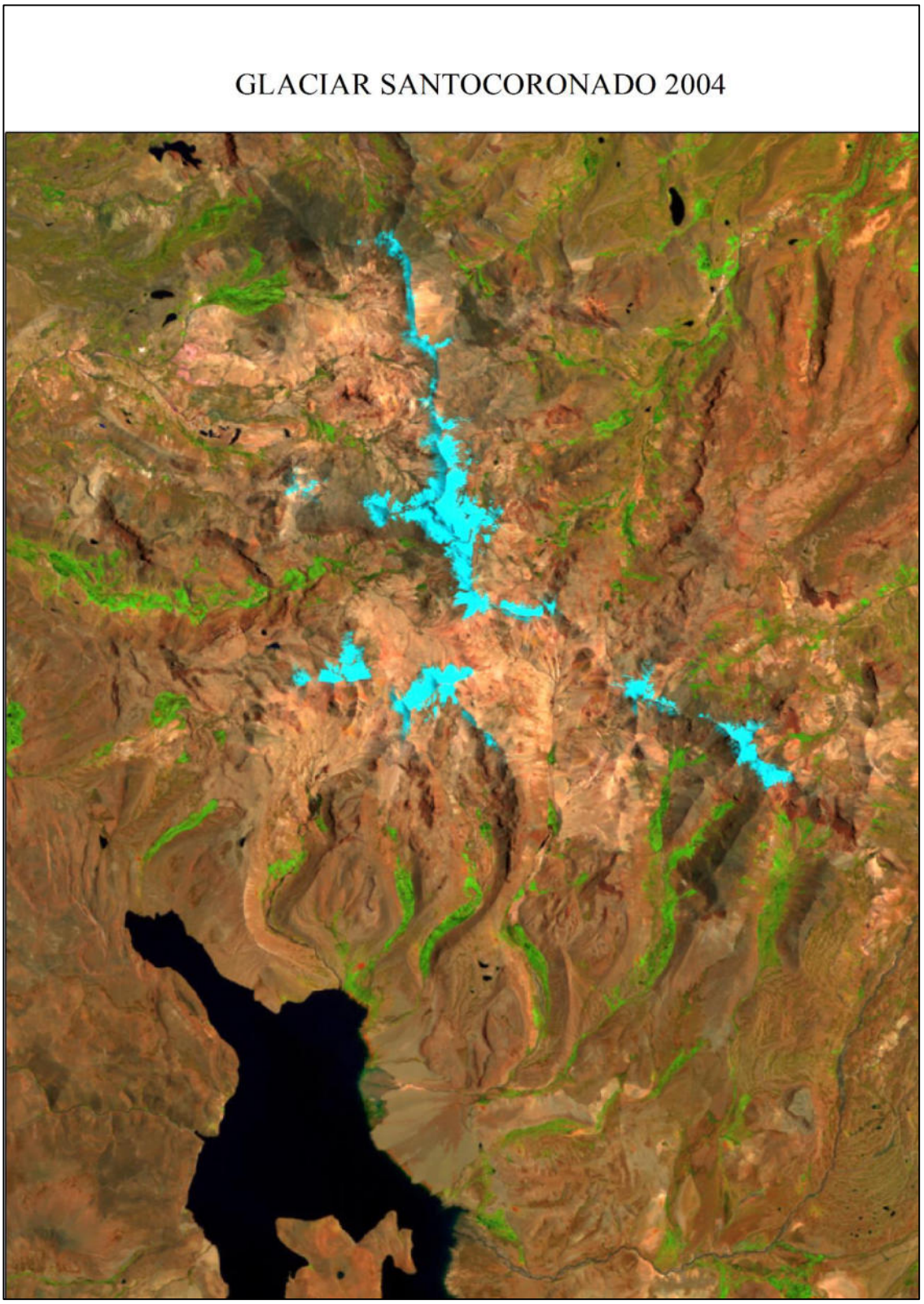
Anexo 34 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2000*



Anexo 35 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2002*

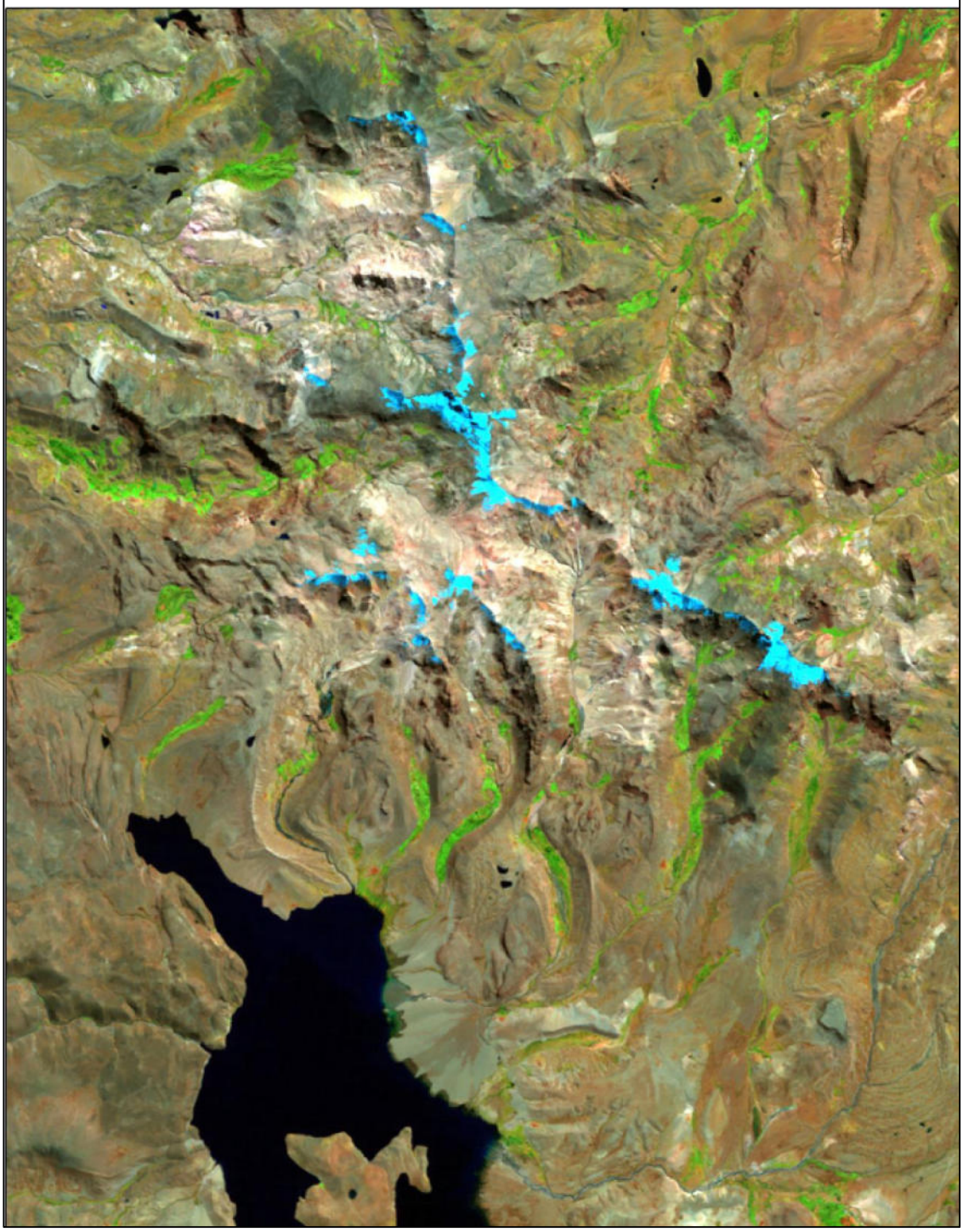


Anexo 36 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2004*

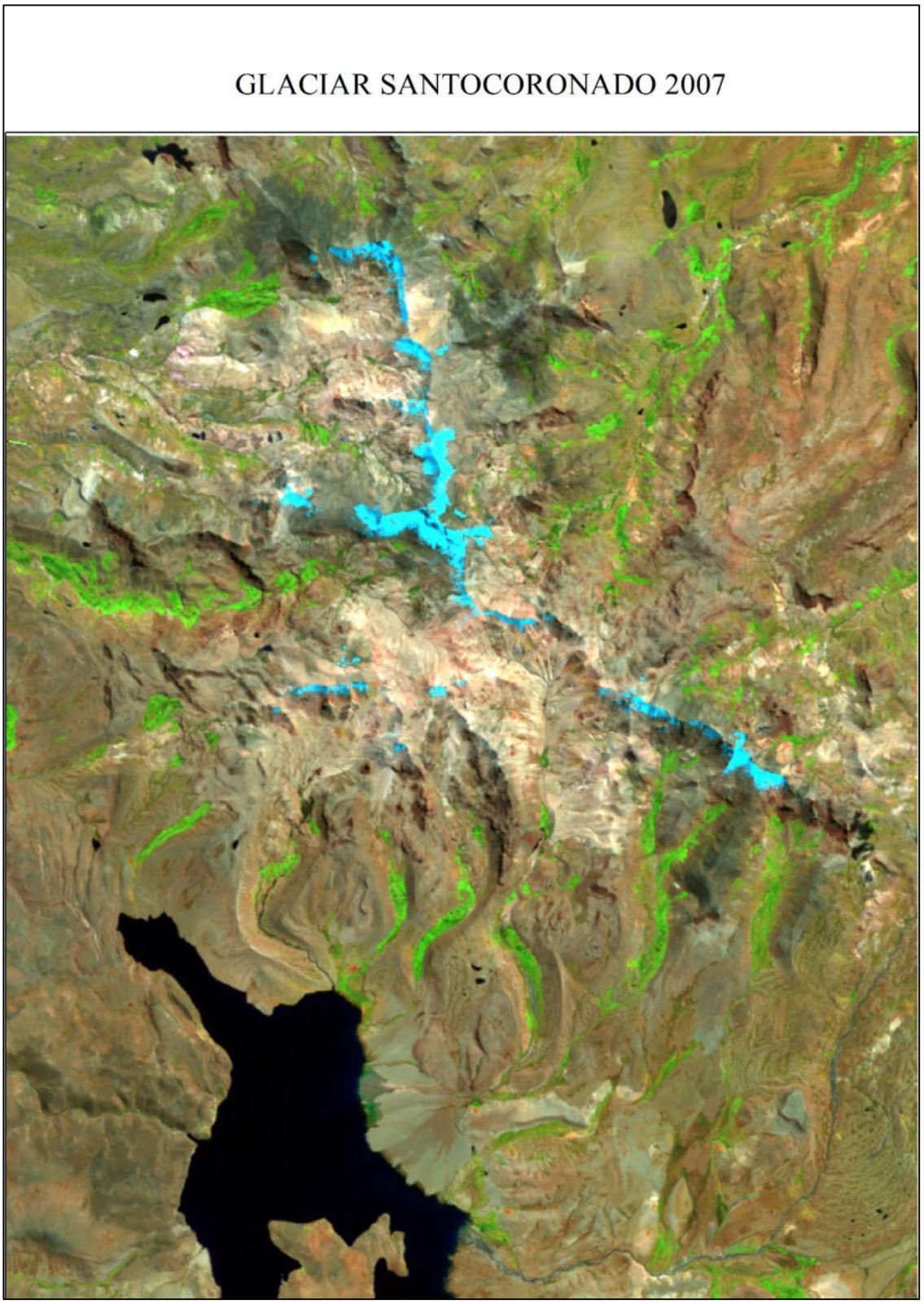


Anexo 37 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2006*

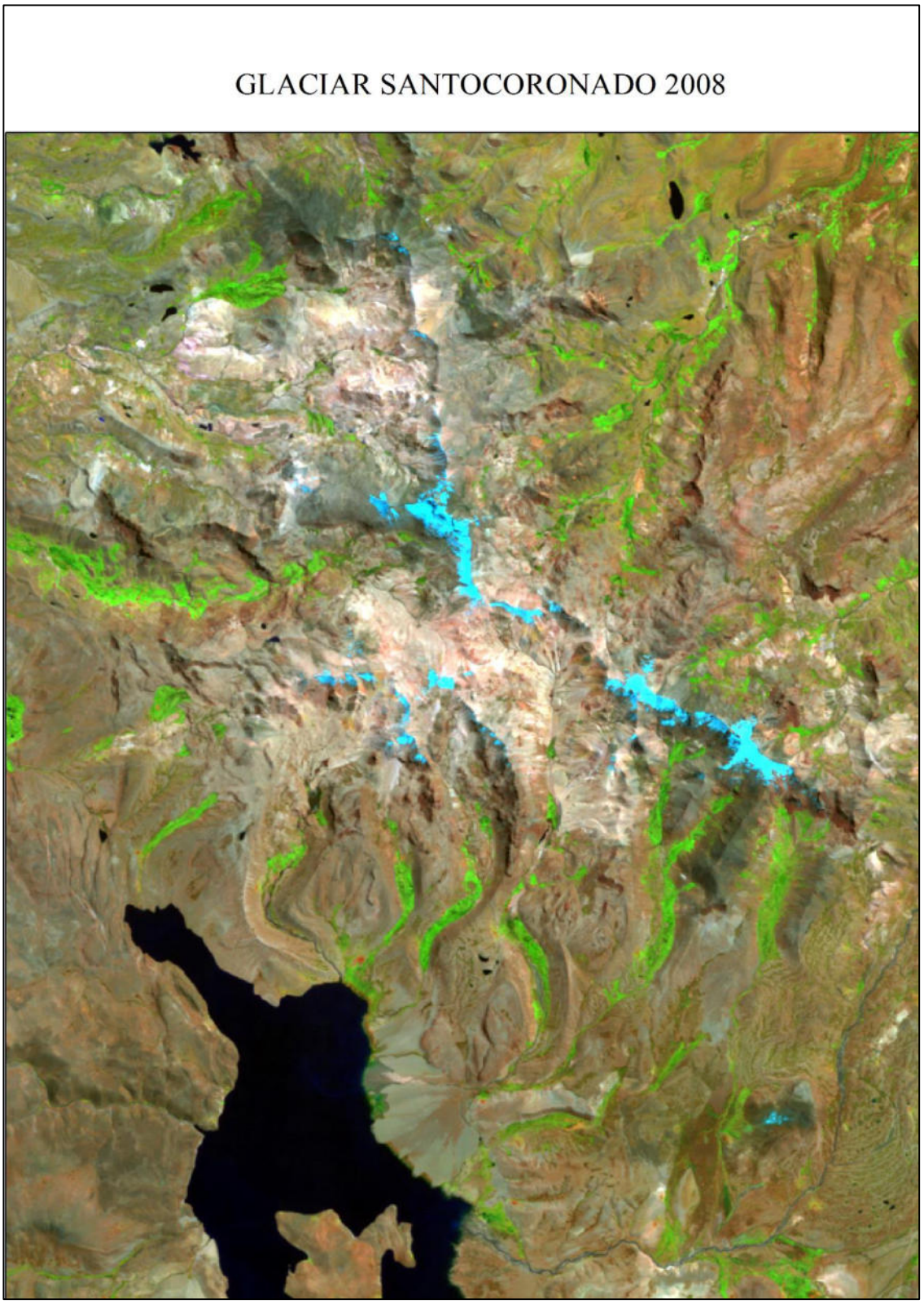
GLACIAR SANTOCORONADO 2006



Anexo 38 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2007*

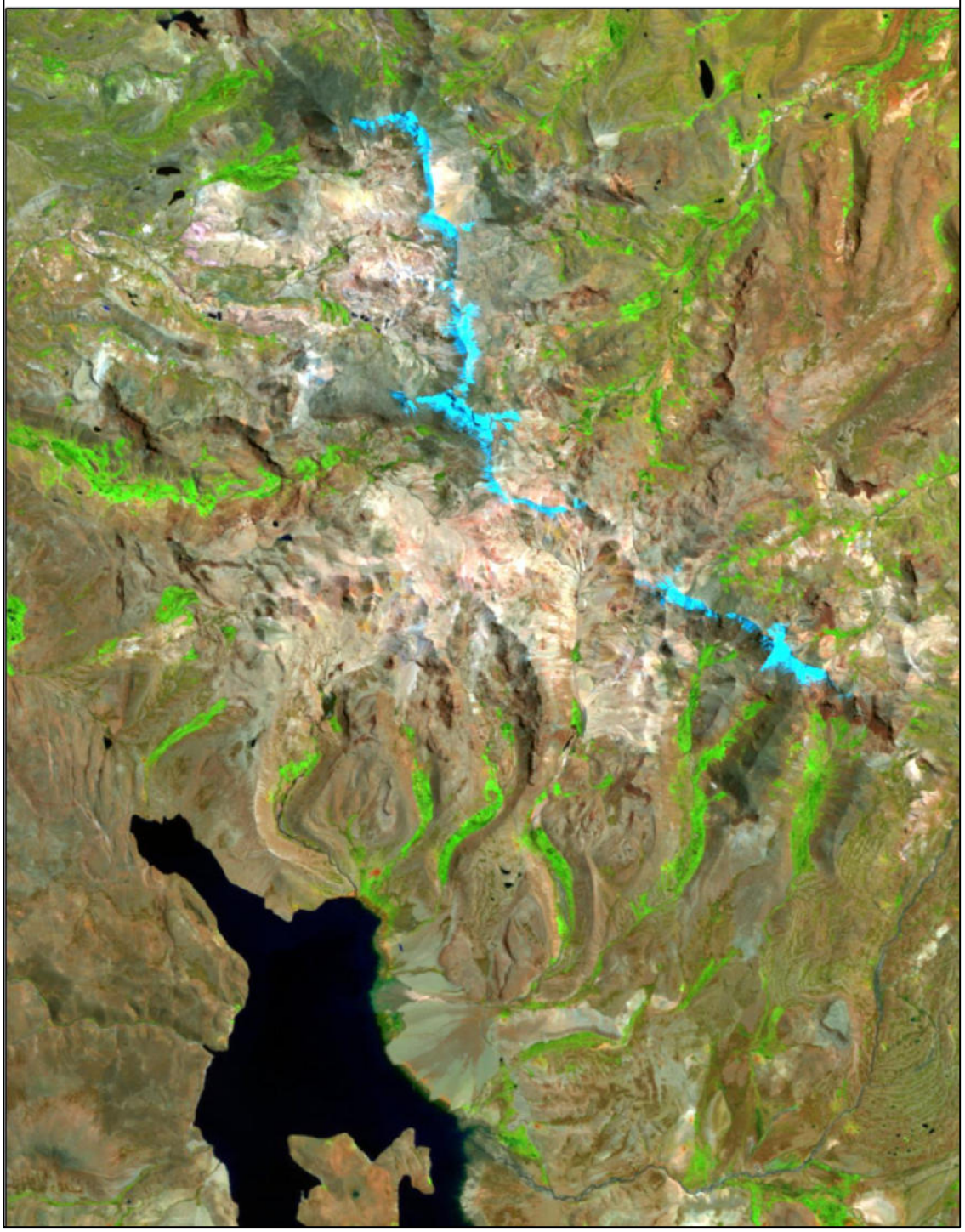


Anexo 39 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2008*



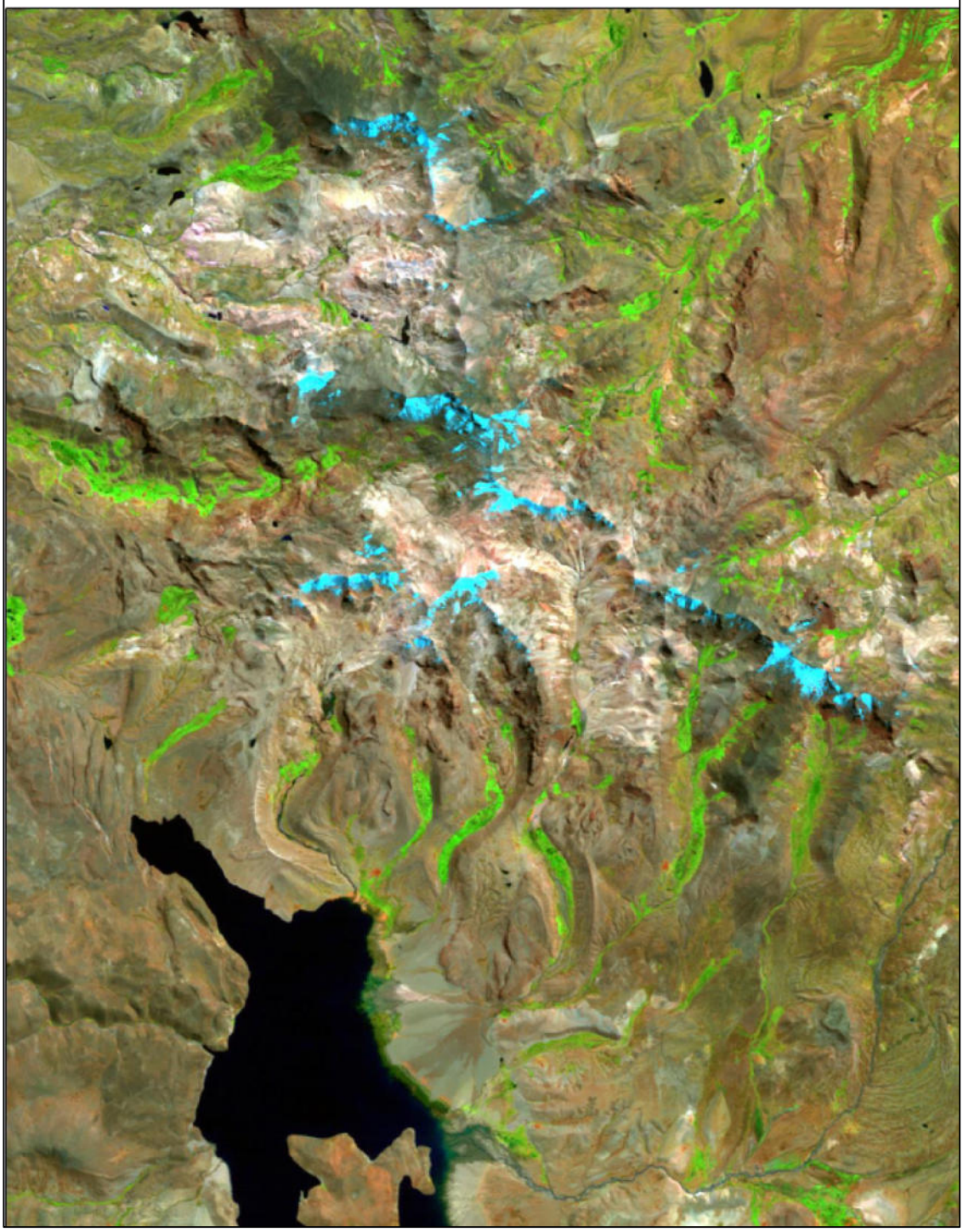
Anexo 40 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2009*

GLACIAR SANTOCORONADO 2009

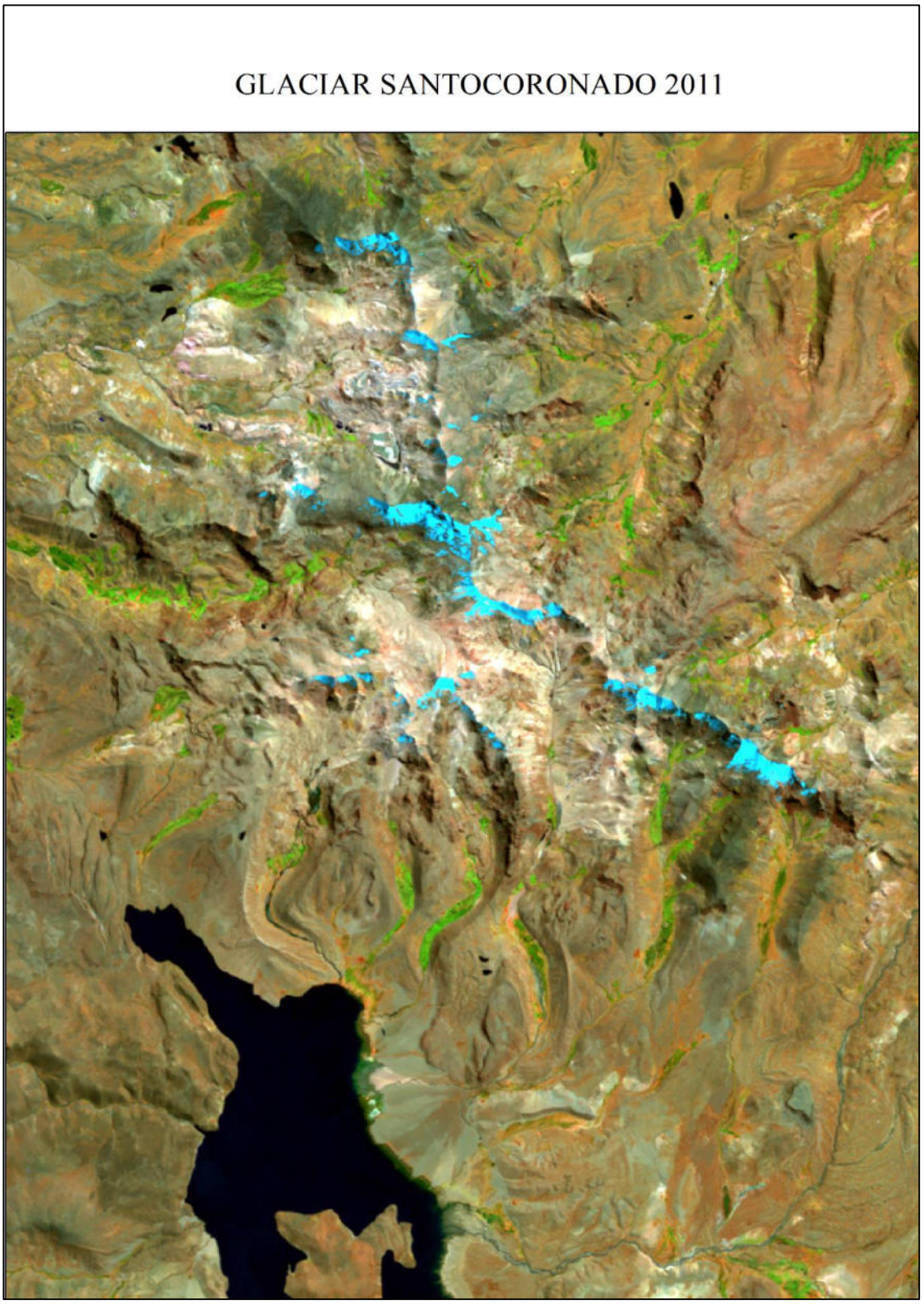


Anexo 41 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 20 10*

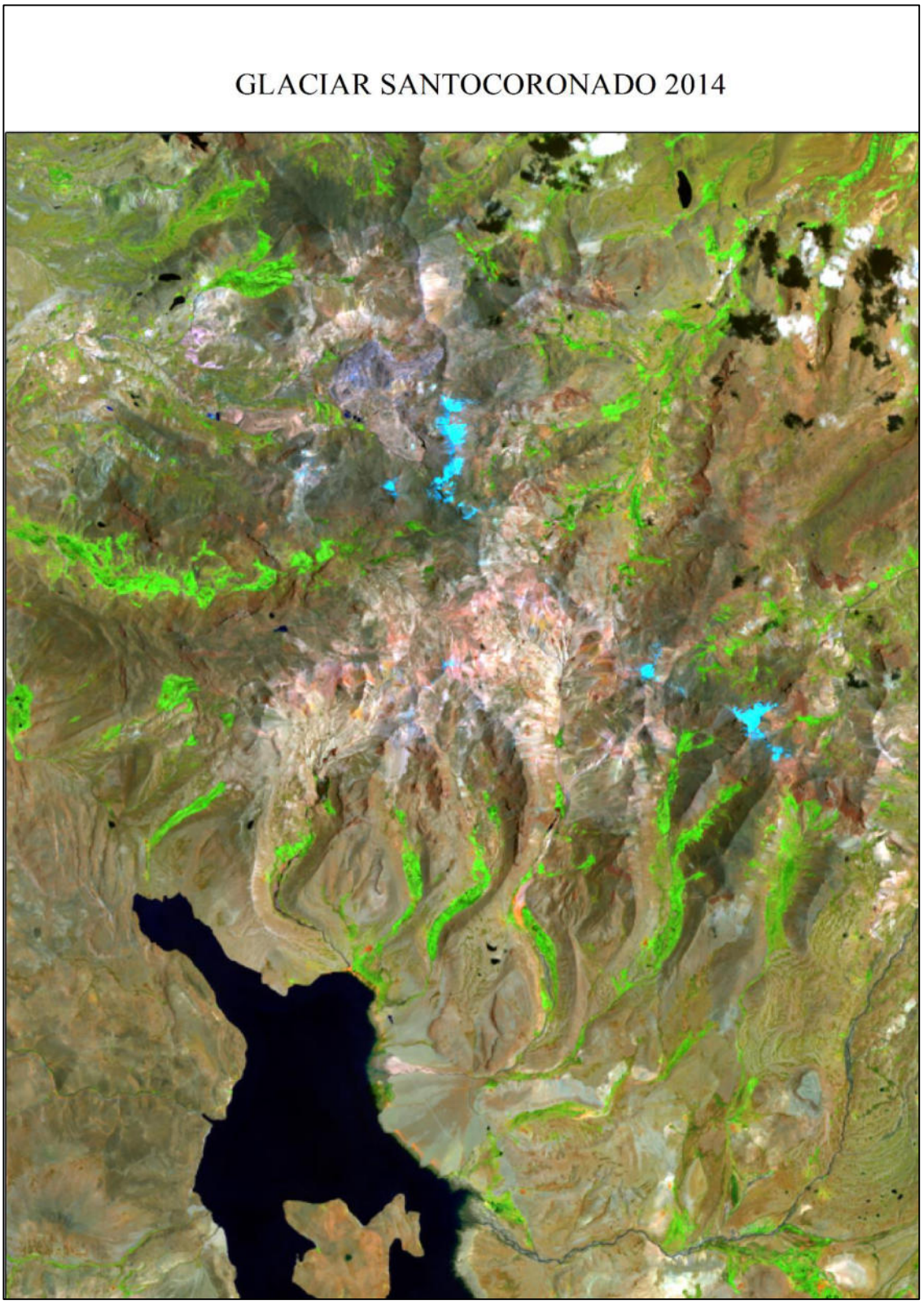
GLACIAR SANTOCORONADO 2010



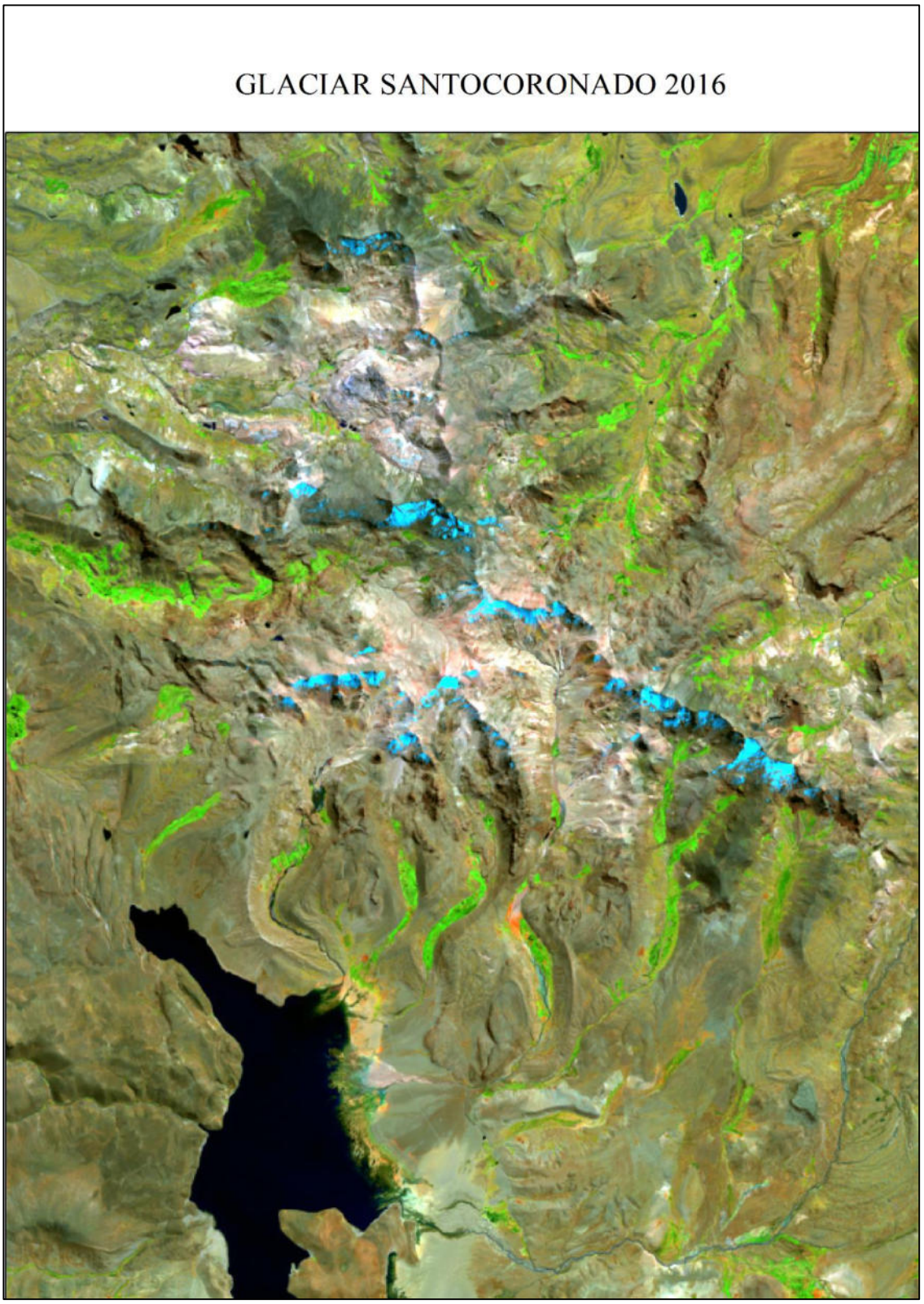
Anexo 42 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2011*



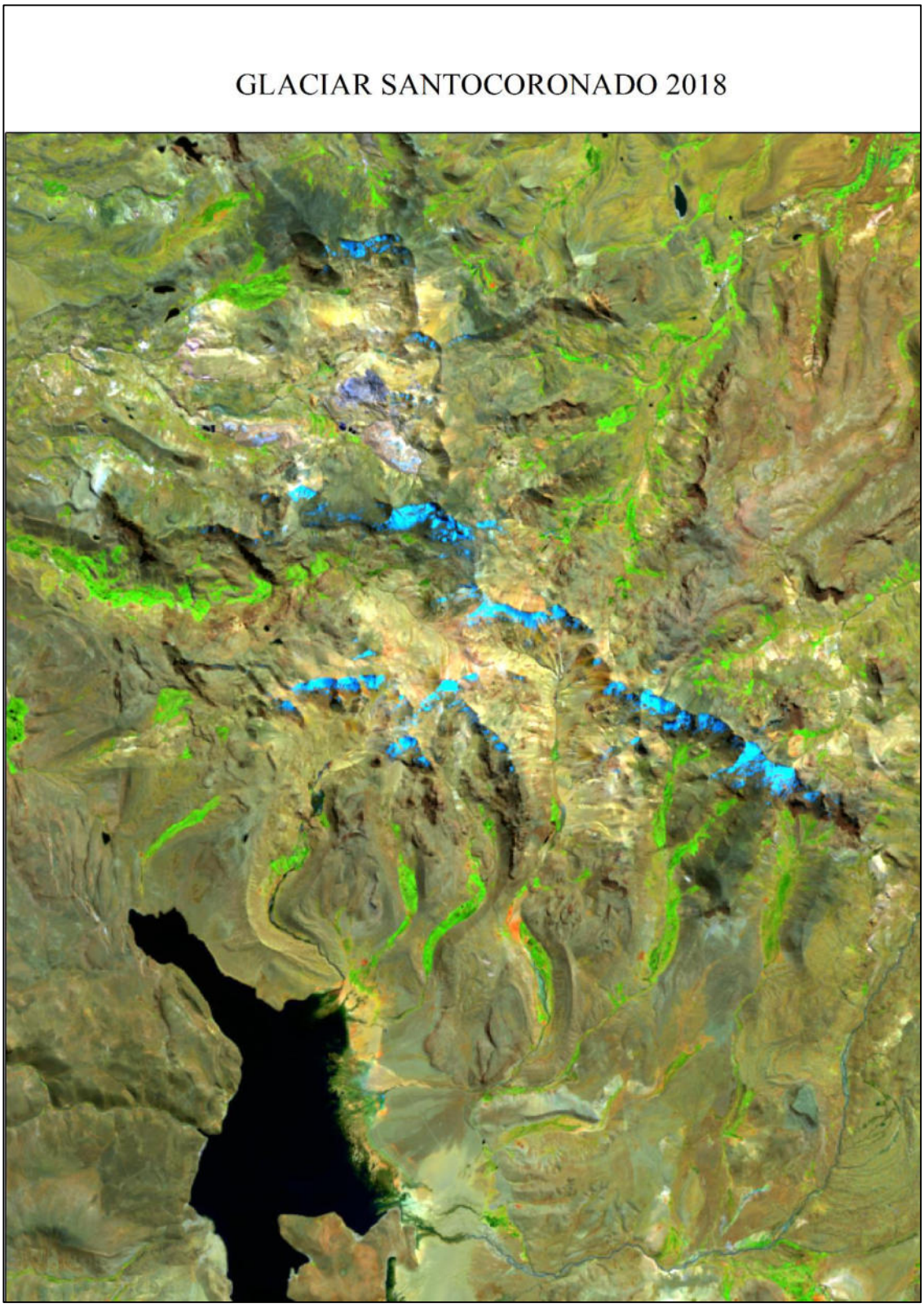
Anexo 43 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2014*



Anexo 44 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2016*

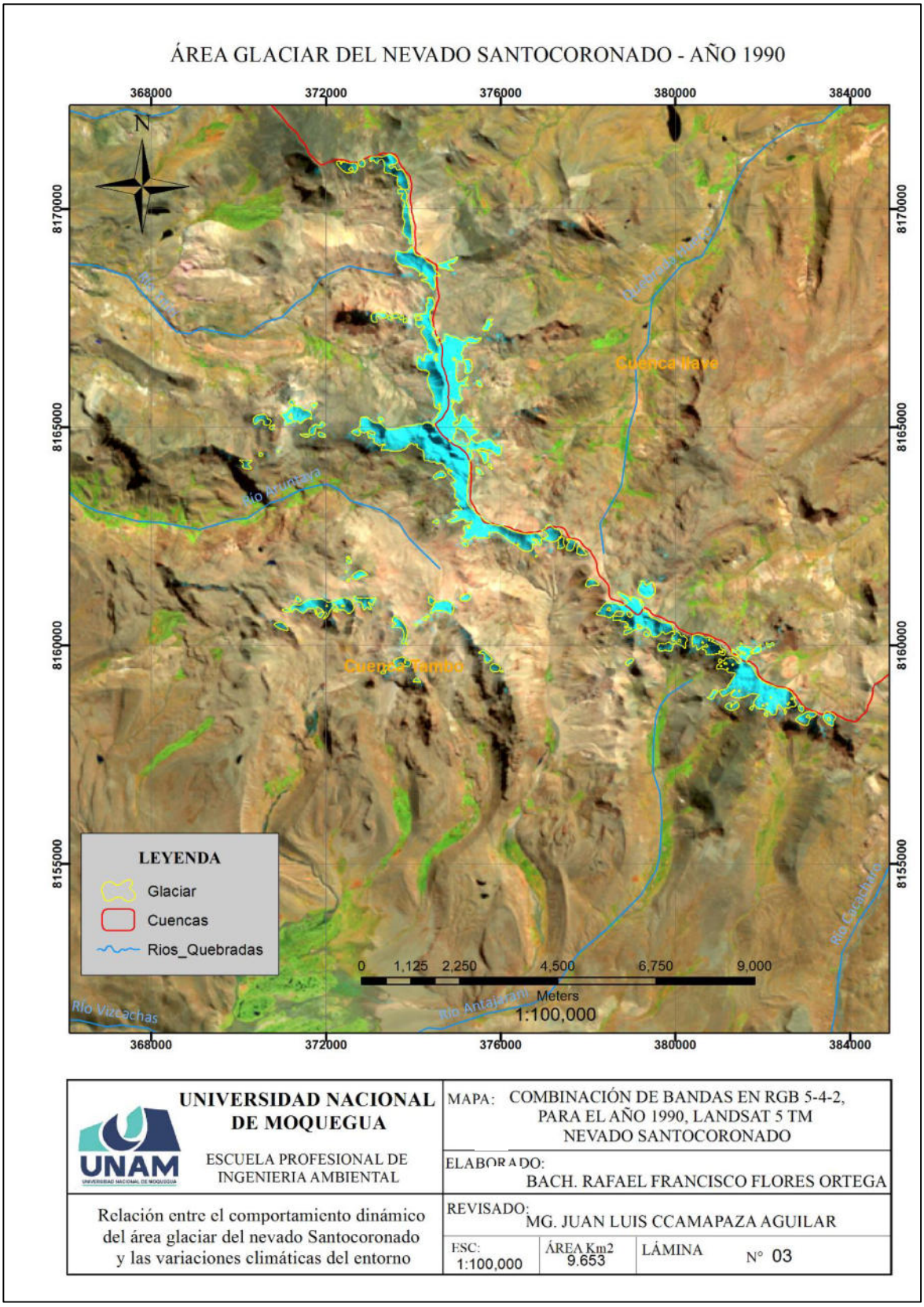


Anexo 45 *Imagen corregida por radiometría y reflectancia año 2018*

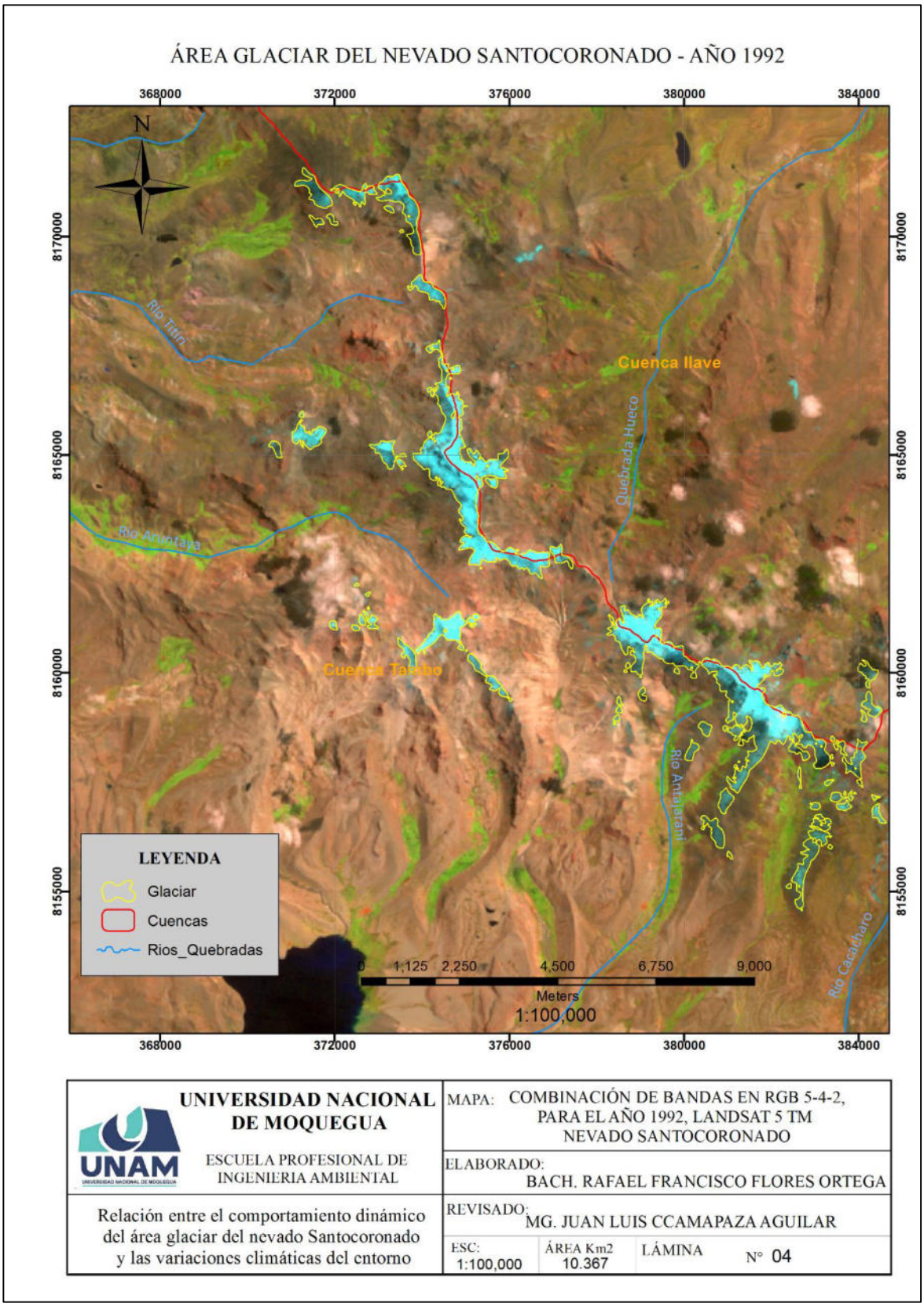


MAPAS TEMATICOS DEL ÁREA GLACIAR DEL NEVADO SANTOCORONADO

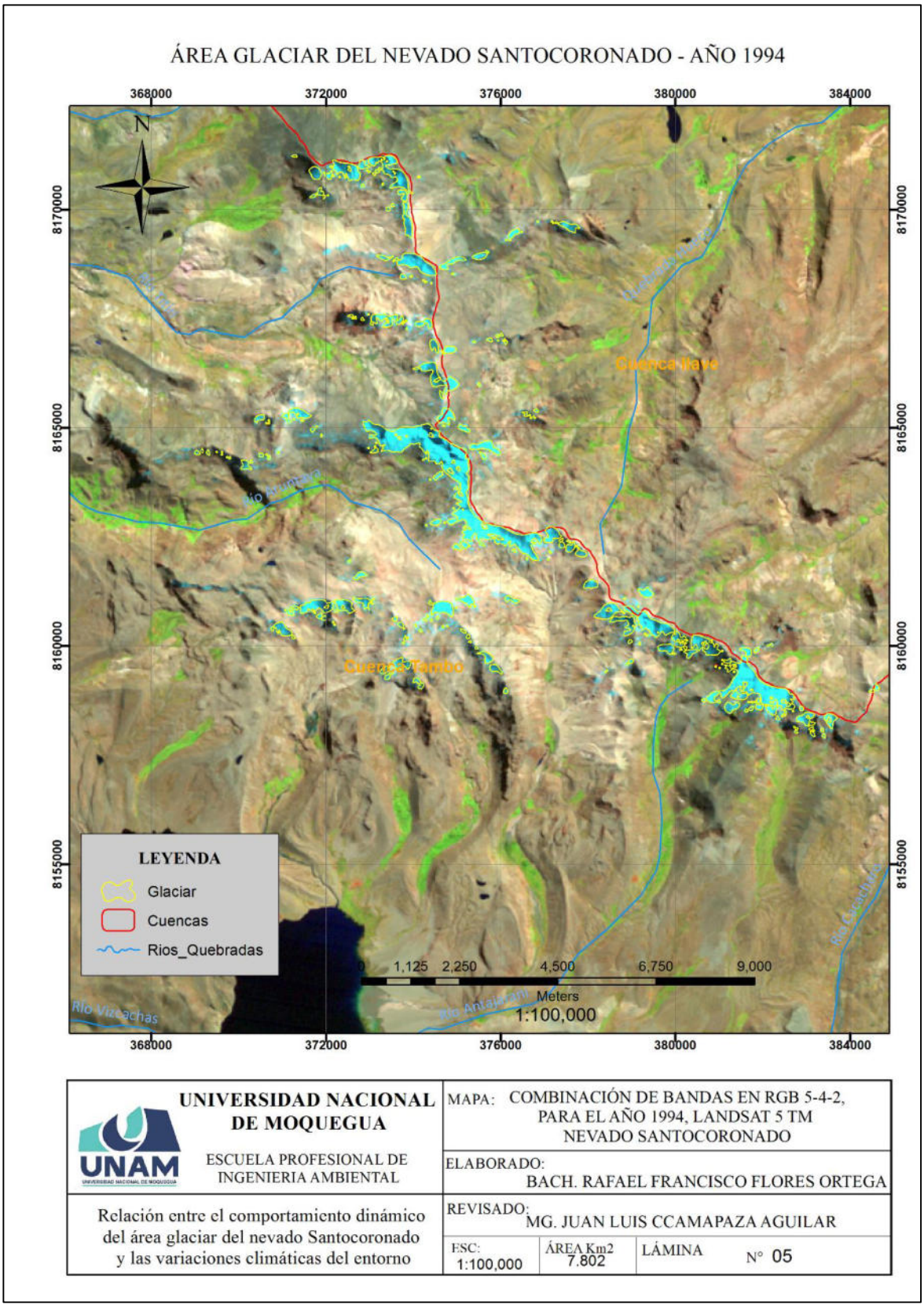
Anexo 46 *Área glaciar del nevado Santocoronado 1990*



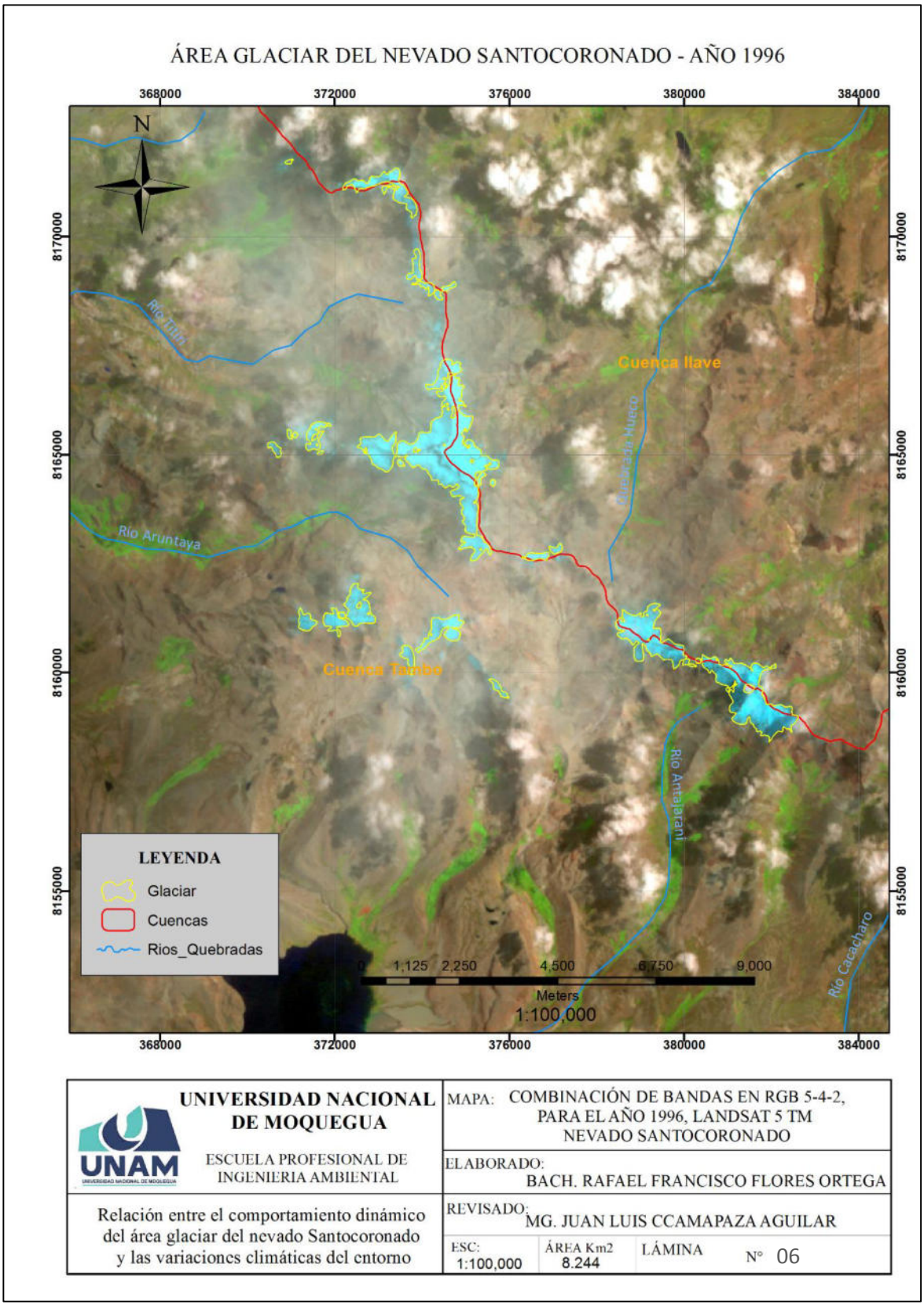
Anexo 47 *Área glaciar del nevado Santocoronado 1992*



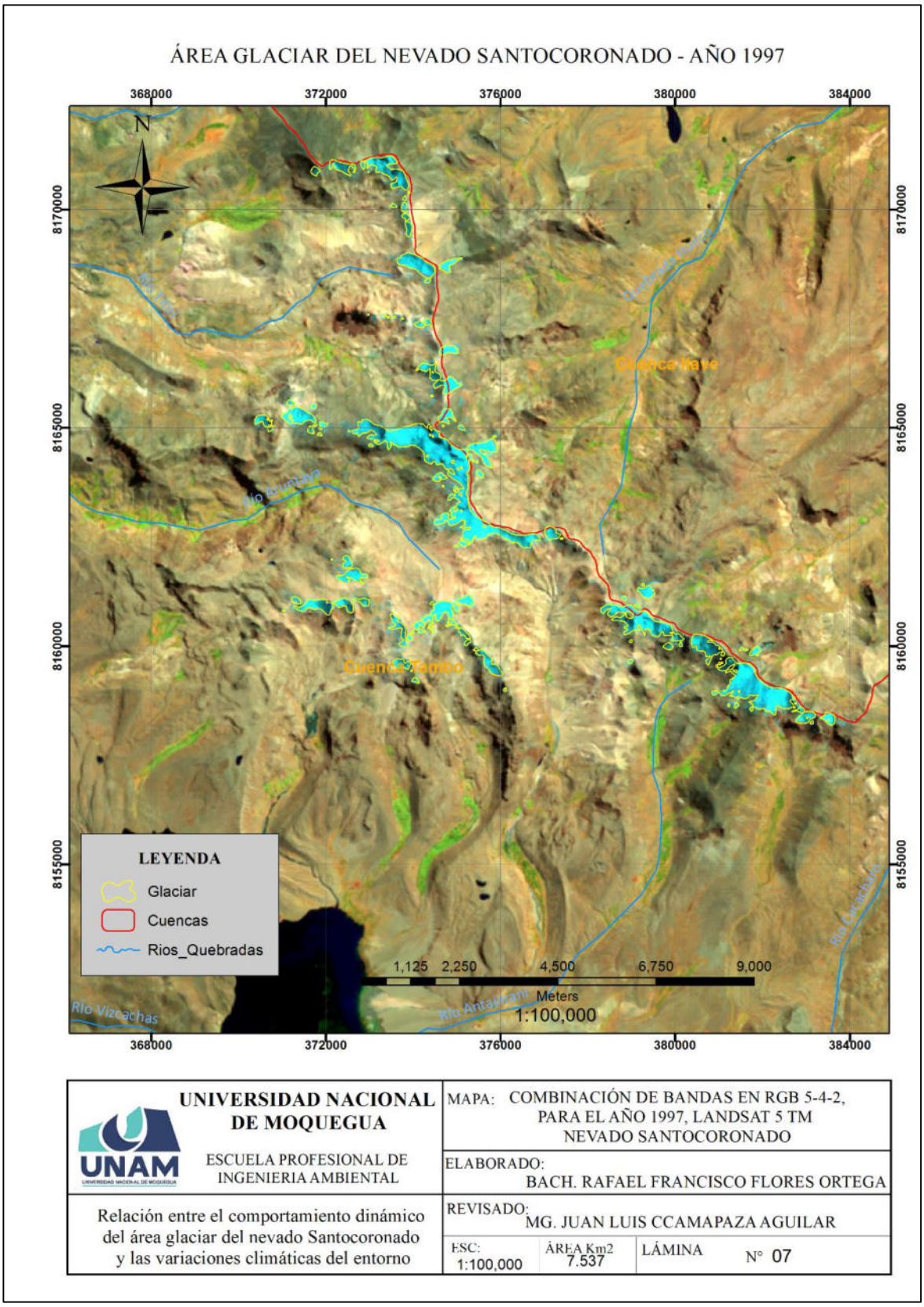
Anexo 48 *Área glaciar del nevado Santocoronado 1994*



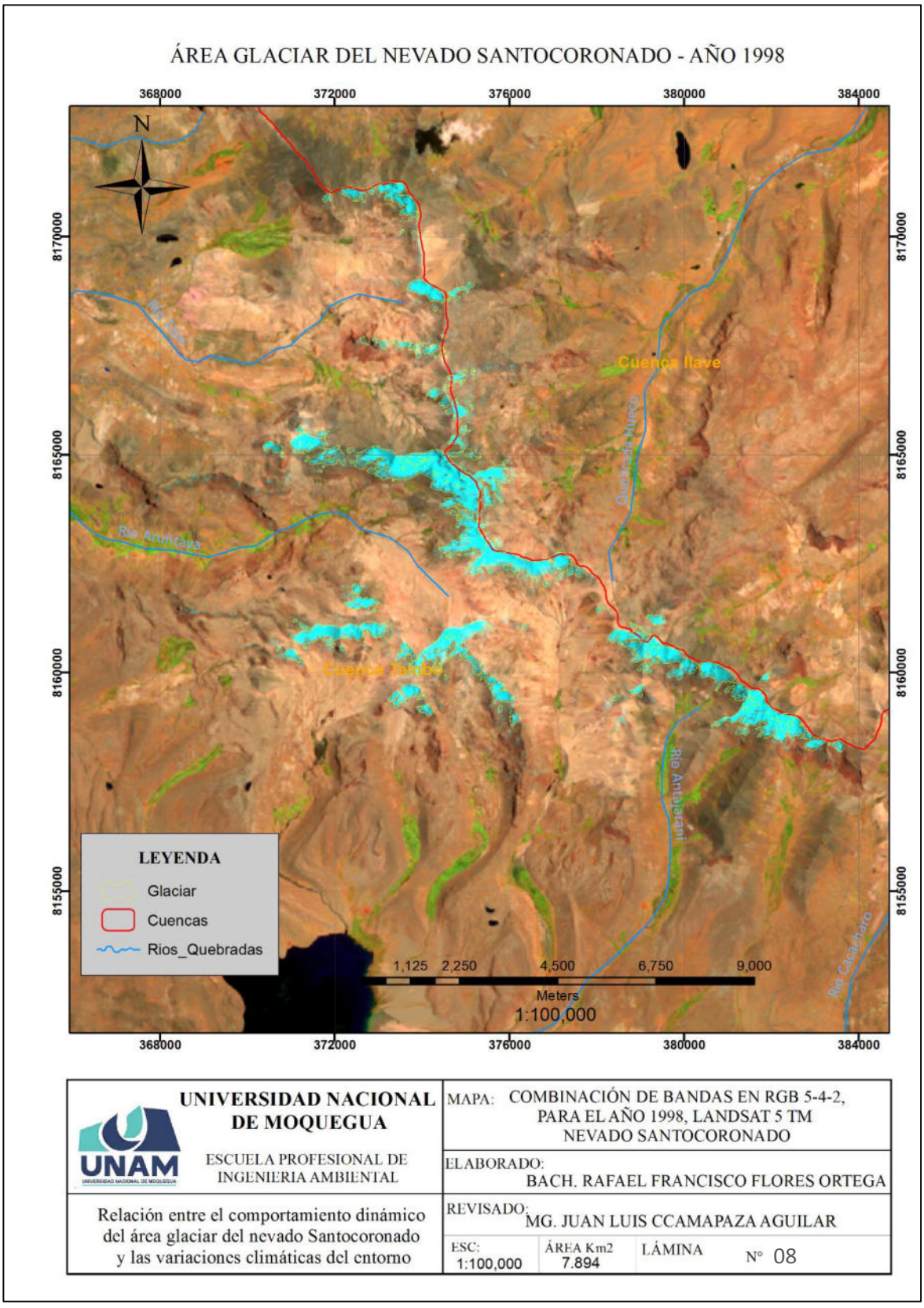
Anexo 49 *Área glaciar del nevado Santocoronado 1996*



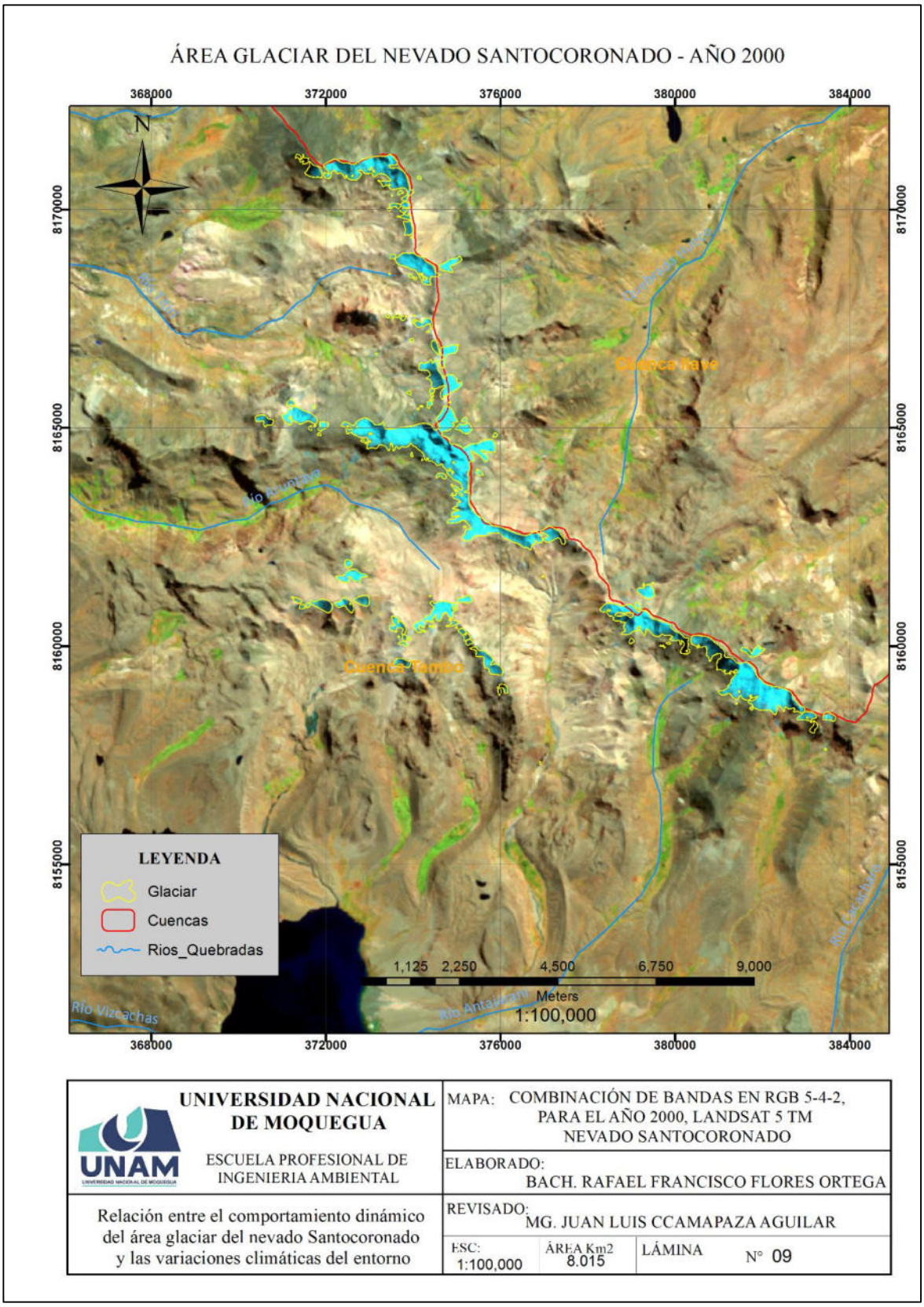
Anexo 50 *Área glaciar del nevado Santocoronado 1997*



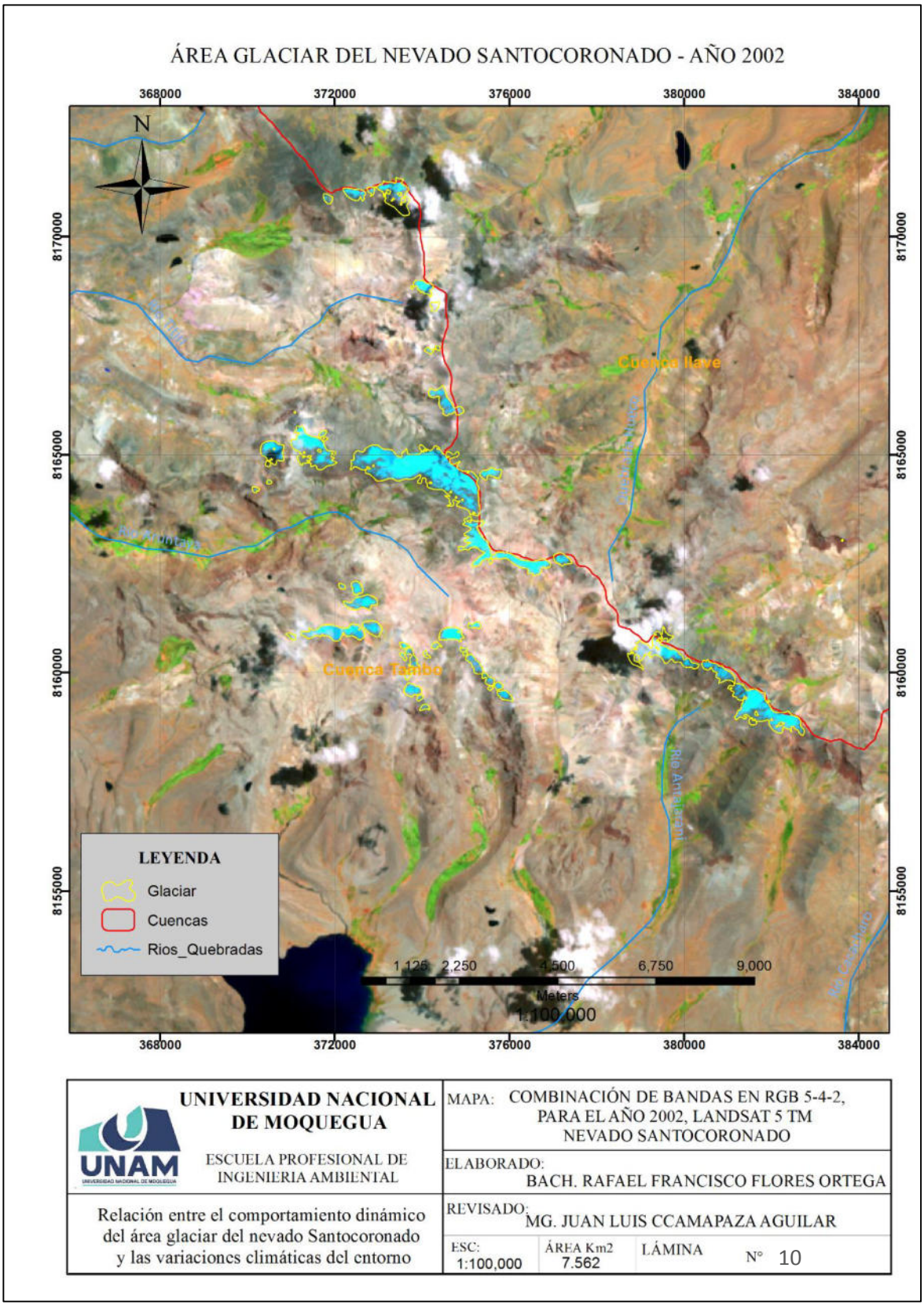
Anexo 51 *Área glaciar del nevado Santocoronado 1998*



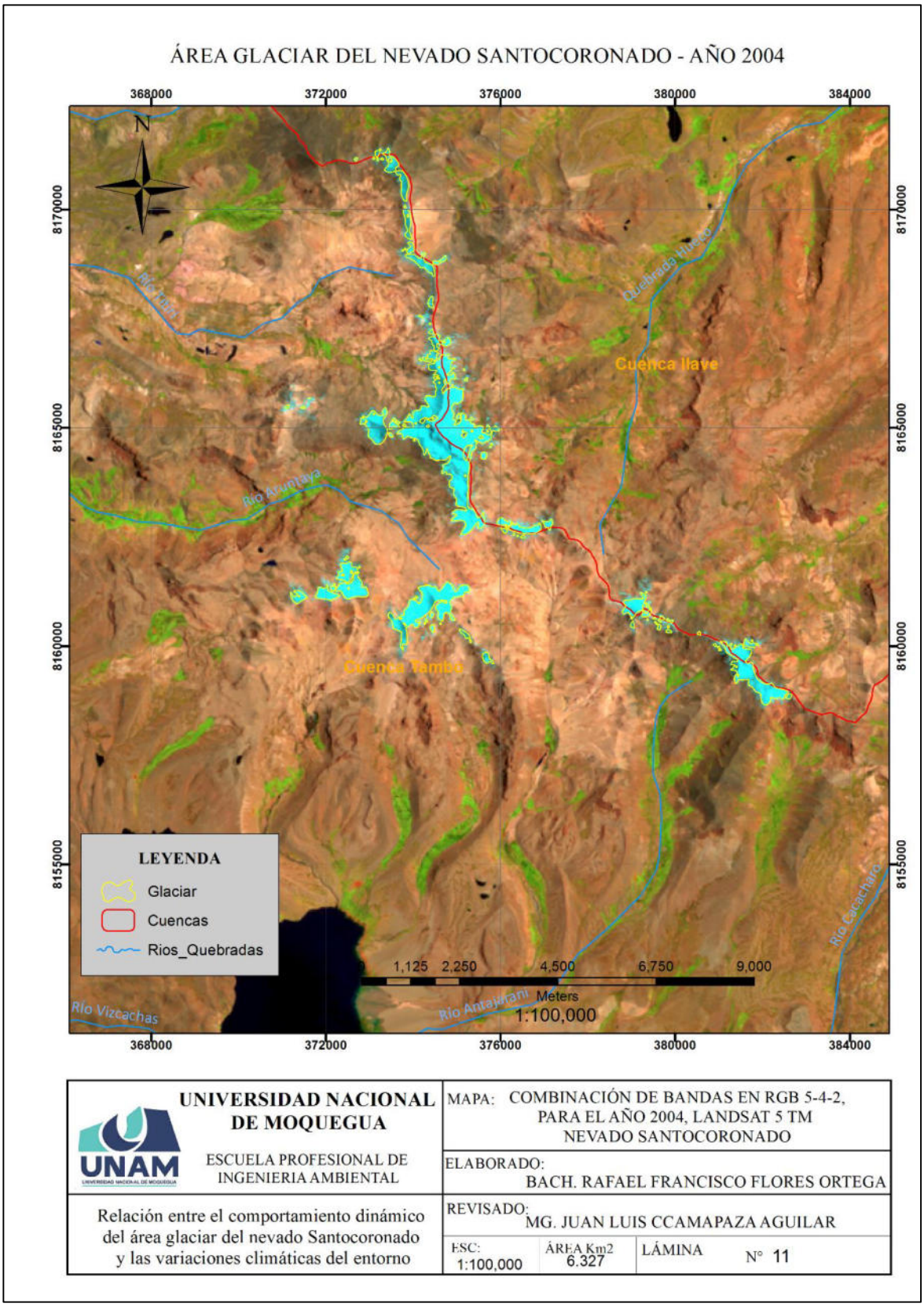
Anexo 52 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2000*



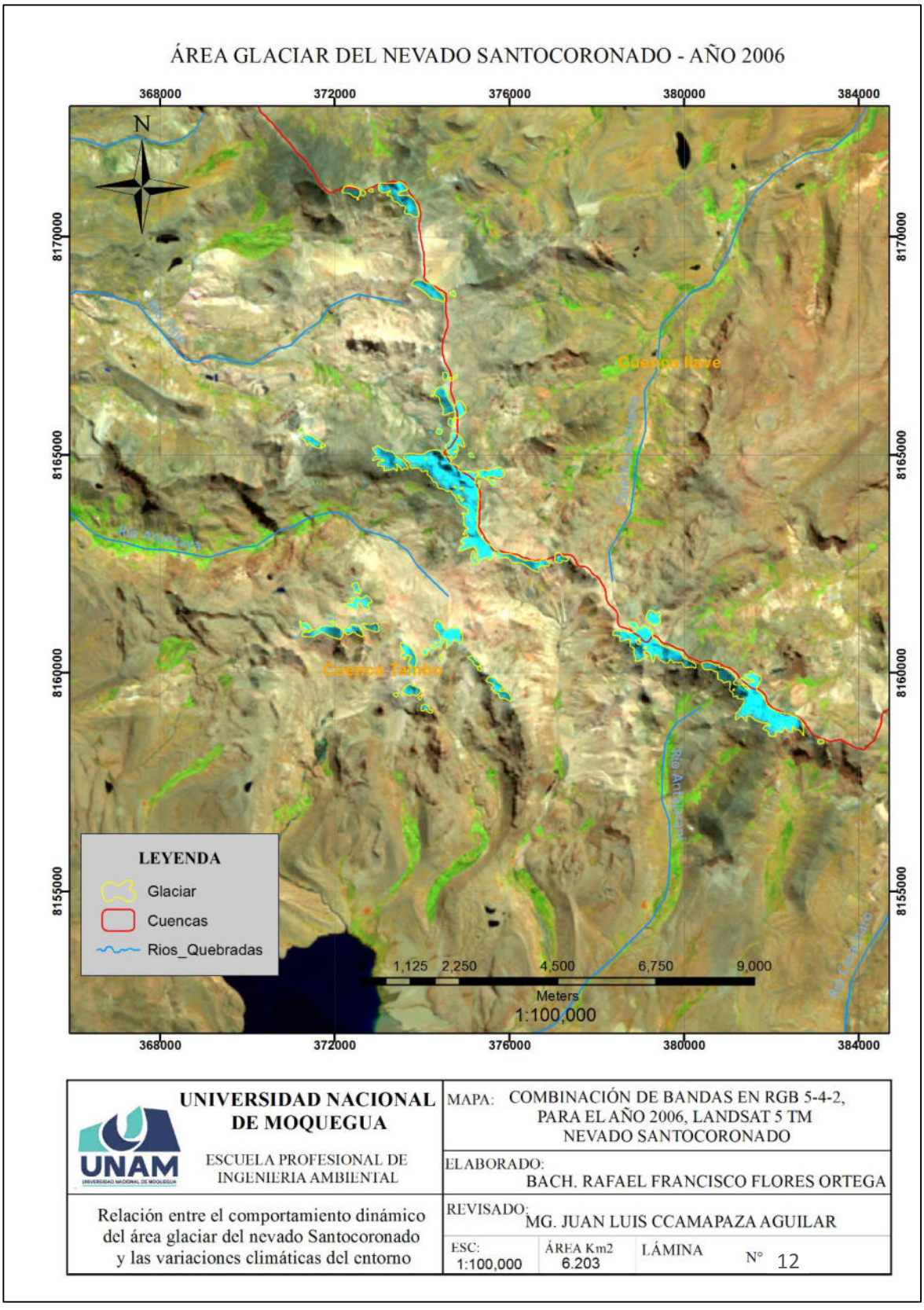
Anexo 53 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2002*



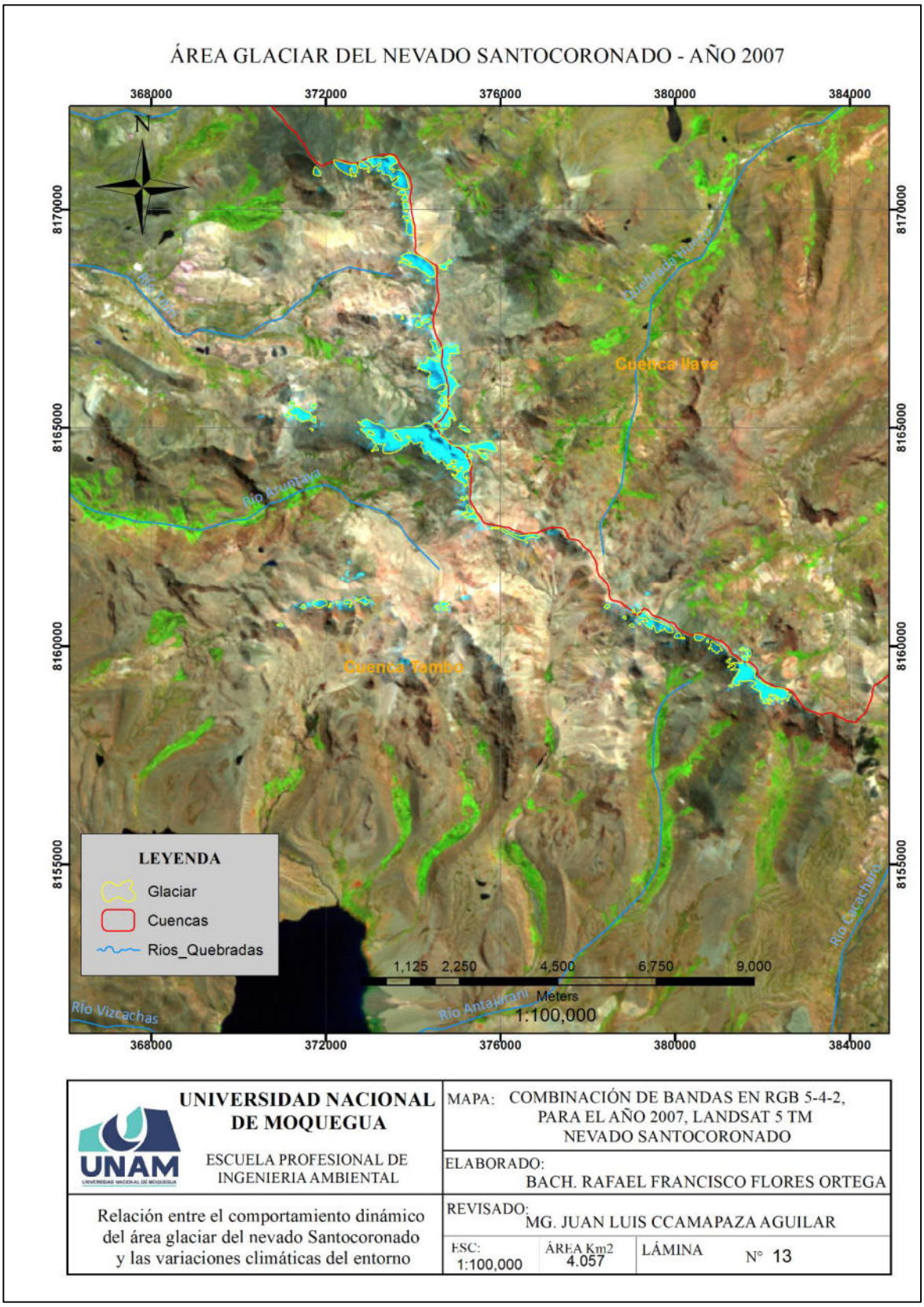
Anexo 54 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2004*



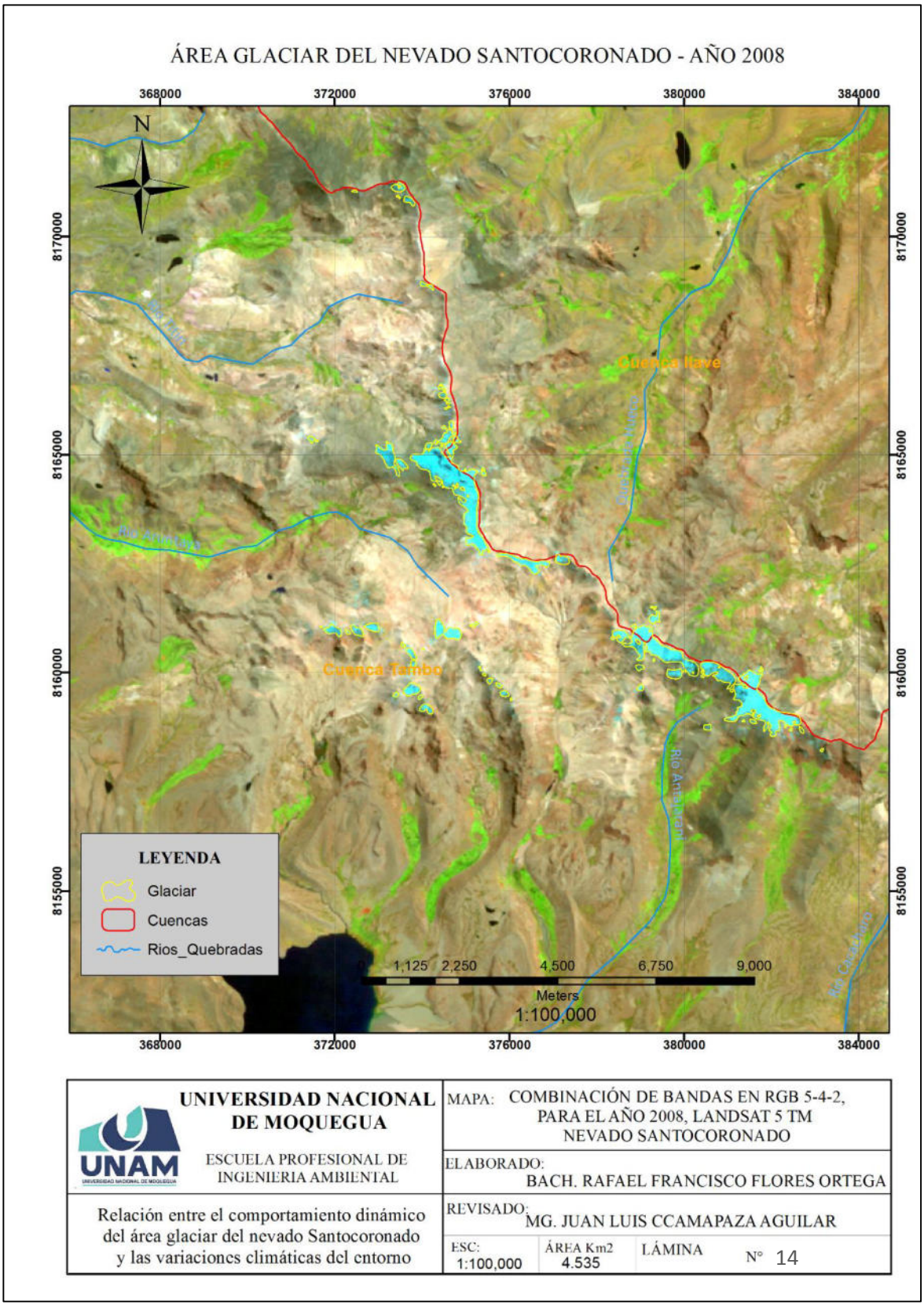
Anexo 55 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2006*



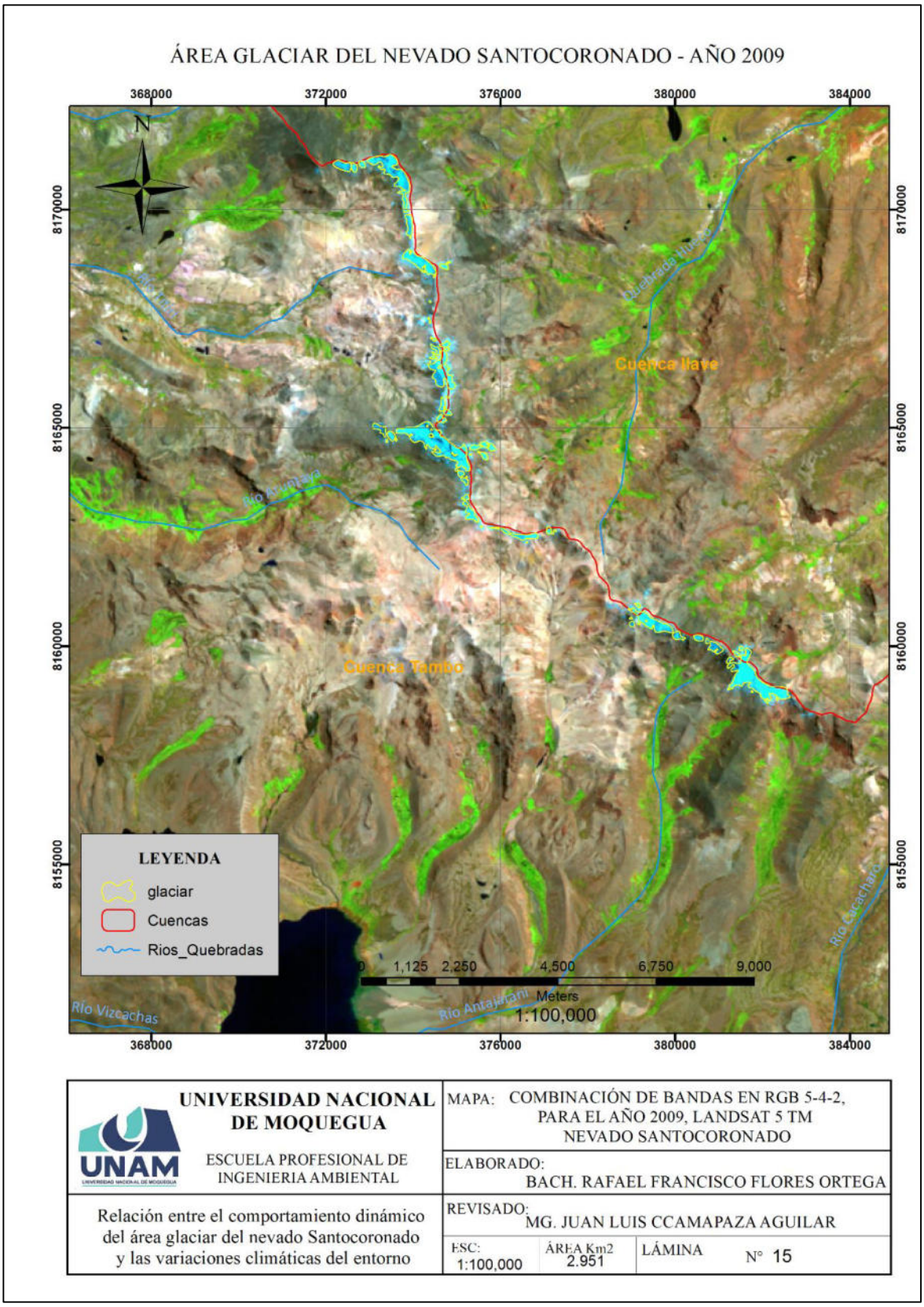
Anexo 56 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2007*



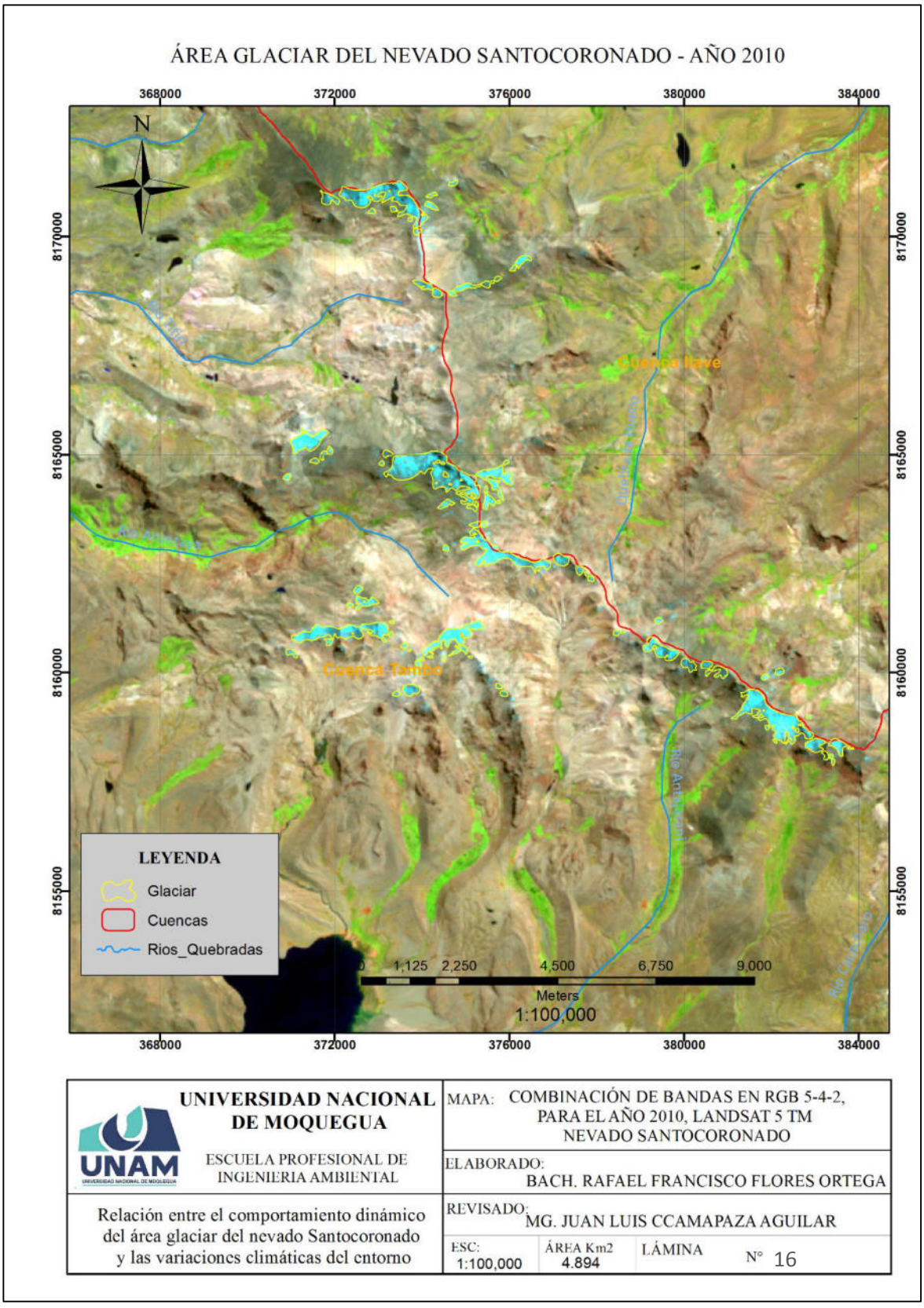
Anexo 57 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2008*



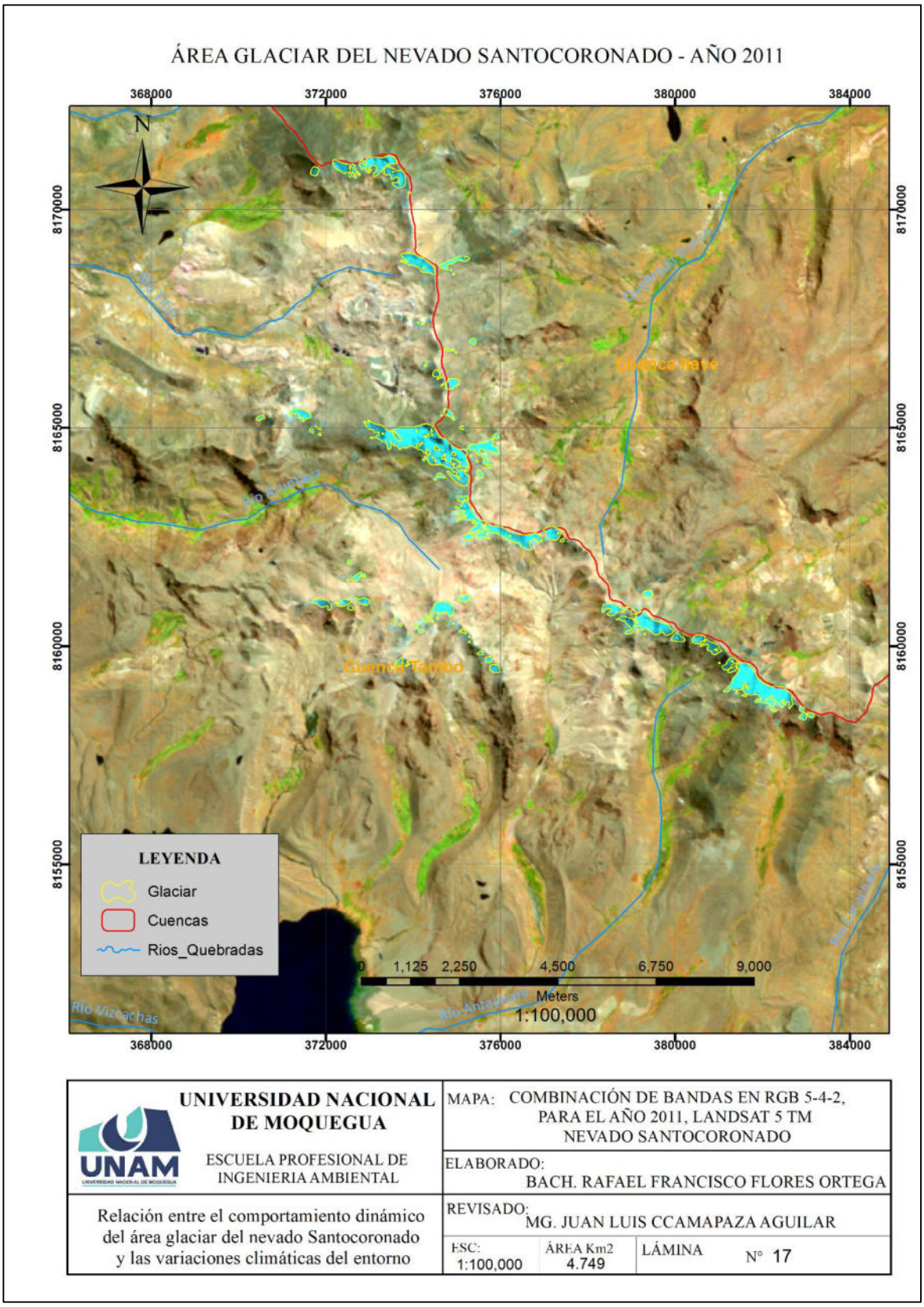
Anexo 58 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2009*



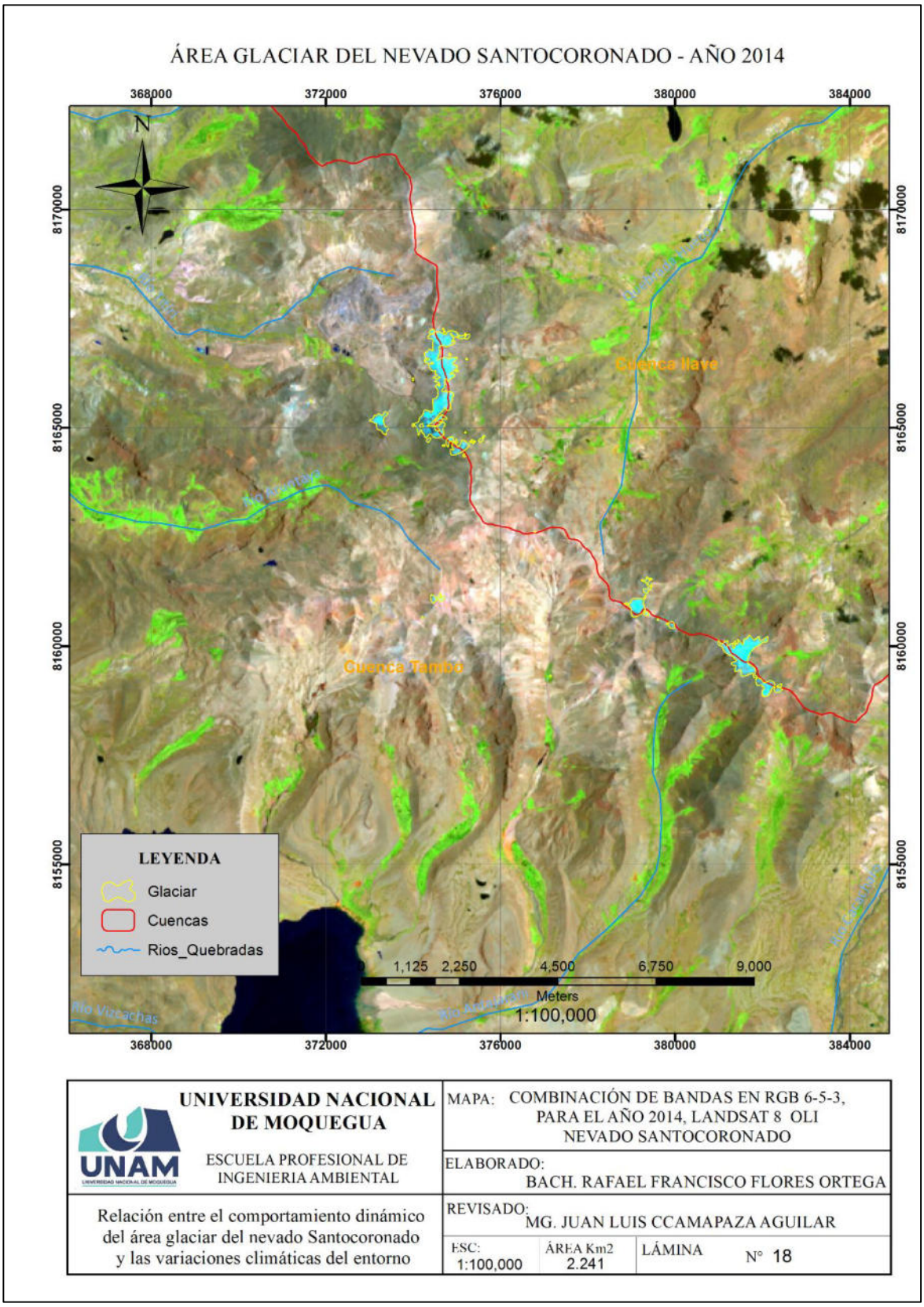
Anexo 59 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2010*



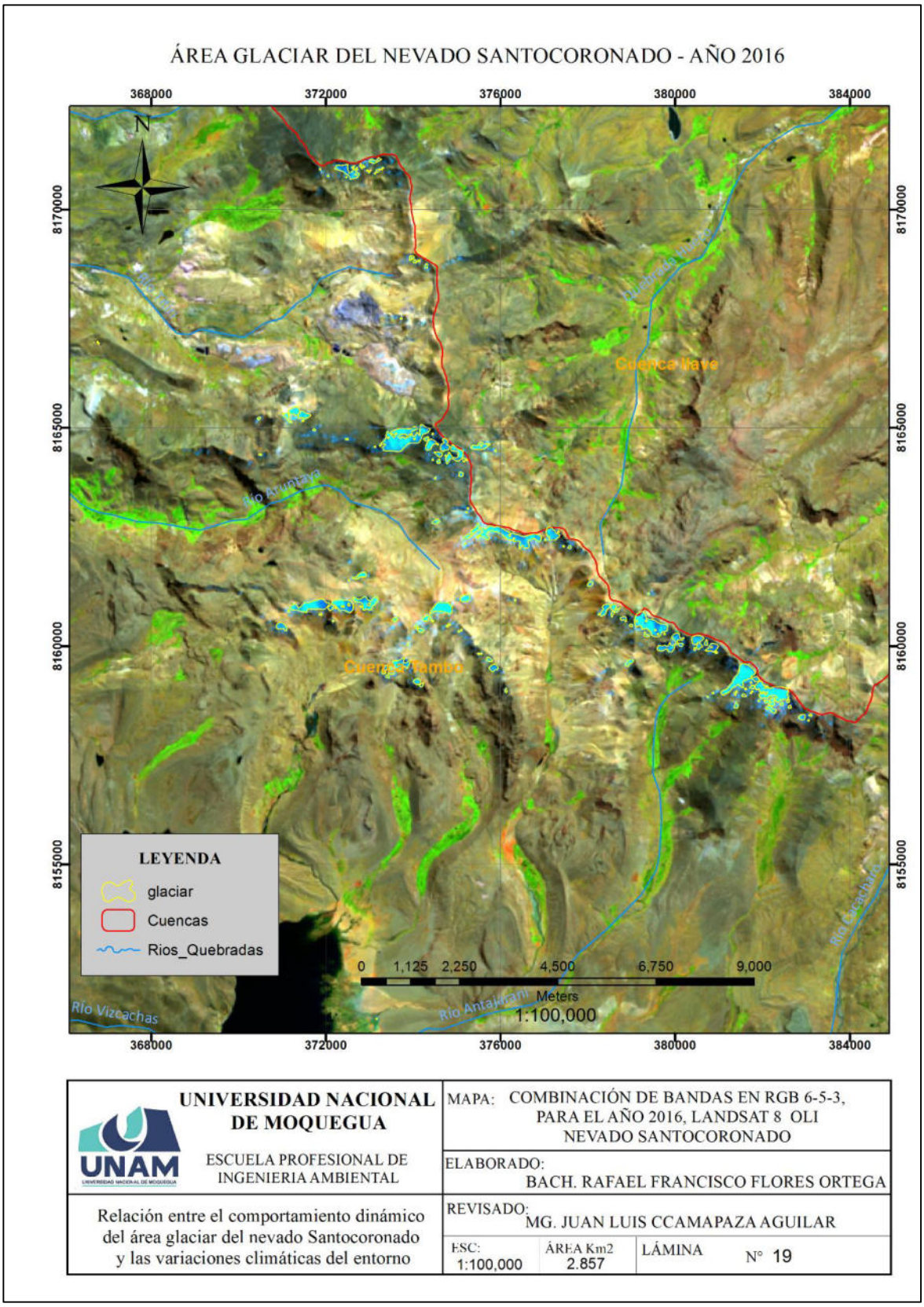
Anexo 60 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2011*



Anexo 61 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2014*



Anexo 62 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2016*



Anexo 63 *Área glaciar del nevado Santocoronado 2018*

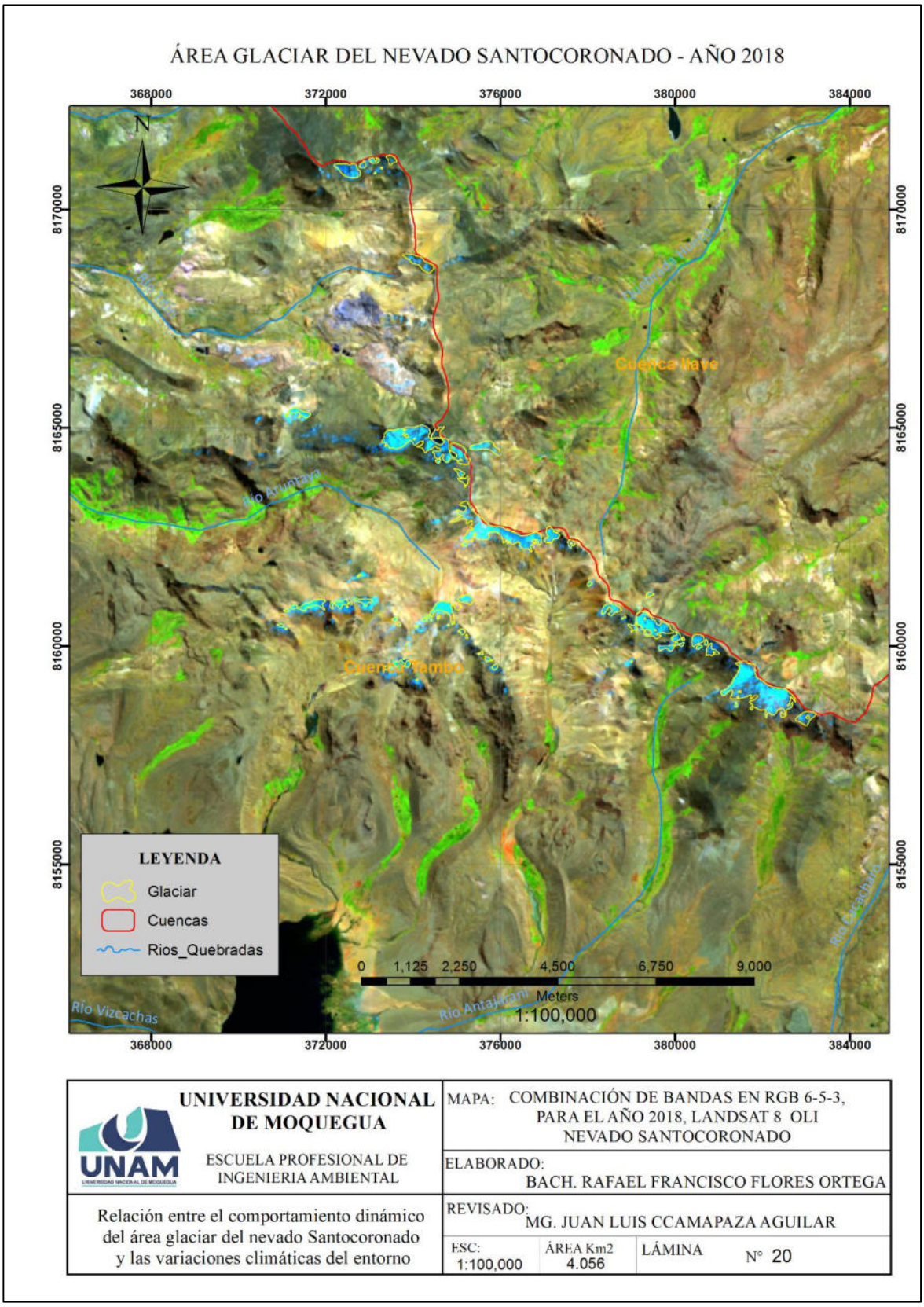


TABLA DE DISTRIBUCION T DE STUDENT

Anexo 64 *Tabla de distribución t de student*

Distribución t de *Student*

Contiene los valores de *t* tales que $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$, donde **v** son los Grados de Libertad

v grados de libertad	α/2													
	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95

DOCUMENTOS DE TRÁMITE

Anexo 65 *Solicitud dirigida a Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI*

GERENCIA GENERAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERU – SENAMHI

SENAMHI
GERENCIA GENERAL
UNIDAD DE ATENCIÓN AL CIUDADANO
Y GESTIÓN DOCUMENTAL - UACGD
22 OCT. 2019
MESA DE PARTES
RECIBIDO
HORA: 3:09 M V°B°:

Ing. José Percy Barrón López
Gerente general del SENAMHI

Presente.-

Rafael Francisco Flores Ortega
Psj. Santo Toribio de Padua B-7, Moquegua, Mariscal Nieto, Samegua
con Nº DNI: 47016780 Telf.: 942210198 E-mail: rxf3_5@hotmail.com
Universidad/ Instituto: Universidad Nacional de Moquegua
Carrera/ Profesión: Ingeniera Ambiental

Ante usted me presento y expongo;

Que, al estar en etapa de ejecución el proyecto de tesis, **"Relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, Moquegua 2019"** me es indispensable la data meteorológica de las estaciones próximas al nevado, con la finalidad de conocer si hay tendencias positivas o negativas de los parámetros (precipitación, temperatura velocidad de viento) a la vez si estas tendencias tienen relación significativa con el comportamiento dinámico del área glaciar. Sin más en particular, agradecer por su atención y apoyo.

Solicito la siguiente información:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
Calacoa / Moquegua	Precipitación, Temperatura max - min, dirección y velocidad de viento	mensual	1988-2019
Vilacota / Tacna		mensual	1988-2019
Pamapa umalzo / Tacna		mensual	1988-2019
Mazo cruz / Puno		mensual	1988-2019
Carumas / Moquegua		mensual	1988-2019

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Lima, 21 de Octubre del 2019

.....
Firma del Usuario

Anexo 66 *Solicitud dirigida a Proyecto Especial Pasto Grande PERPG*

PERÚ Ministerio de Educación	SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA (Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 072-2003-PCM)	N° DE REGISTRO
FORMULARIO		

I.- FUNCIONARIO RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN:

JEFE DE LA OFICINA DE TRÁMITE DOCUMENTARIO

II.- DATOS DEL SOLICITANTE :

APELLIDOS Y NOMBRES / RAZÓN SOCIAL	DOCUMENTOS DE IDENTIDAD D.N.I / L.M. / C.E / OTRO
Flores Ortega Rafael Francisco	DNI 47016780

Domicilio

AV. / CALLE / JR. / PSJ.	N° / DPTO / INT.	DISTRITO	URBANIZACIÓN
Psj. Santo Toribio	Mz 13 Lt. 7	Samegua	
PROVINCIA	**DEPARTAMENTO**	**CORREO ELECTRÓNICO**	**TELÉFONO**
Mariscal Nieto	Moquegua	rxf3-5@hotmail.com	942210198

III.- INFORMACIÓN SOLICITADA : Ante usted me presento y expongo que al estar en etapa de ejecución del proyecto de tesis que por título lleva "Relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santo coronado y las variaciones climáticas. Solicito información Meteorológica de la estación ubicada en la represa Pasto Grande de los siguientes Parámetros (Precipitación, T°max, T°min, Dirección y Velocidad de viento) en el Periodo de 1996 - 2019

IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN:

Proyecto Especial Regional Pasto Grande - PERPG

V.- FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (MARCAR CON UNA "X")

COPIA SIMPLE		CD	X	CORREO ELECTRÓNICO		OTRO	

APELLIDOS Y NOMBRES

Flores Ortega Rafael Francisco

FIRMA

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN

PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE
RECIBIDO
04 NOV 2019
Hora: 10:25 Reg.:
Recibido por:

OBSERVACIONES :

adjunto : Resolución de Aprobación de Proyecto de Tesis

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA TESIS AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ACCESO ABIERTO DE LA UNAM

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNAM aprobada mediante la Resolución de C.O. N° 0158-2016-UNAM.

1. DATOS PERSONALES DEL AUTOR

Apellidos y Nombres:	Flores Ortega Rafael Francisco
D.N.I.:	47016780
Otro Documento:	
Nacionalidad:	Peruano
Teléfono:	976834151
e-mail:	rfloresortega11@gmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Escuela Profesional:	Ingeniería Ambiental
Grado Académico otorgado:	Bachiller
Título Profesional otorgado:	
Tesis (Pregrado y/o Postgrado):	
Modalidad de Titulación:	

3. DATOS DE LA TESIS

Título de la tesis:	"Relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, Moquegua 2019"
Fecha de Sustentación:	27-05-2021
Calificación:	
Año de Publicación:	

4. DATOS DEL ASESOR

Apellidos y Nombres:	Ccamapaza Aguilar
D.N.I.:	01300910
Otro Documento:	
Nacionalidad:	Peruano
Teléfono:	956 560 880
e-mail:	jccamapazaa@unam.edu.pe

5. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua para su explotación no exclusiva, ilimitada, perpetua y con alcance mundial, a favor de la Universidad Nacional de Moquegua.

Según el Reglamento de la Ley Nº 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto DECRETO SUPREMO N° 006-2015-PCM "TÍTULO IV GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y DE LOS DATOS PERSONALES; *Artículo 10º.- De los Derechos: Esta cesión de derechos comprende, mas no se limita, a los derechos de reproducción, comunicación al público, distribución, traducción, adaptación, arreglo, edición, modificación, cambio de formato u otra transformación, importación al territorio nacional de copias por cualquier medio incluyendo la transmisión, así como cualquier otra forma de utilización de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo que no estén contempladas en la ley de la materia como excepción al derecho patrimonial y, en general, para cualquier tipo de utilización y explotación, que la entidad estime pertinentes, en cualquier forma o procedimiento, conocido o por conocerse, pudiendo poner a disposición las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo por medio de autorizaciones o licencias a favor del público en general."*

Sin perjuicio de otras obligaciones a su cargo, EL AUTOR deberá entregar una versión digital final de la TESIS sin ninguna medida tecnológica efectiva ni sistema de auto tutela, sin contraseña ni restricción, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en relación con el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto. Cuando las obras contengan en parte o consistan en programas de ordenador o software, además deberá entregar el código fuente, código objeto, documentación técnica y manuales. Lo dispuesto en relación con los programas de ordenador no se aplicará cuando la entidad pública sea sólo licenciataria del software.

Para facilitar la divulgación y alcance nacional e internacional de los resultados de las investigaciones en materia de ciencia, tecnología e innovación contenidos en los repositorios institucionales y en el Repositorio Nacional Digital, se autoriza la traducción automática a otros idiomas y dialectos por medio de programas de ordenador de las obras, datos procesados y estadísticas de monitoreo, así como de los metadatos de los mismos. En caso de ser fijadas o reproducidas, se deberá incluir expresamente que se trata de traducciones hechas por medios informáticos, con fines ilustrativos o referenciales.

Firma y huella digital: _____



Fecha de autorización: 04/10/21