

ATLAS

Clima y eventos extremos del Altiplano Central
perú-boliviano

Climate and extreme events from the Central Altiplano
of Peru and Bolivia
1981-2010

Laboratorio de Física de la Atmósfera
Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia



Institute of Geography, Climatology
University of Bern, Switzerland

u^b

b
UNIVERSITÄT
BERN

Servicio de Nacional de Meteorología
e Hidrología, Bolivia



Servicio de Nacional de Meteorología e
Hidrología, Perú



Funded by the Swiss Agency for Development
and Cooperations and the Swiss National Science



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



FONDS NATIONAL SUISSE
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
FONDO NAZIONALE SVIZZERO
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION



Swiss Programme for Research
on Global Issues for Development

Editor / Editor

Marcos F. Andrade

Responsabilidad general / Overall responsibility

Marcos Andrade, Waldo Lavado-Casimiro, Stefan Brönnimann

Contribuciones de / Contributors

Marcos F. Andrade, Isabel Moreno, Juan Marcos Calle, Laura Ticona, Luis Blacutt, Waldo Lavado-Casimiro, Evelin Sabino, Adrián Huerta, César Aybar, Stefan Hunziker, Stefan Brönnimann

Cuadros / Boxes

Noemi Imfeld, Adrián Huerta, Waldo Lavado-Casimiro, Marcelo Zamuriano, Stefan Hunziker, Karina Yager, Corinne Valdivia

Revisores / Reviewers

Luis Blacutt, Stefan Brönnimann, Baker Perry, David Whiteman, Karina Yager, Thierry Lebel

Procesamiento de datos / Data Processing

Juan Marcos Calle, Laura Ticona, Stefan Hunziker, Isabel Moreno, Fernando Velarde

Mapas / Maps

Evelin Sabino, Adrián Huerta, César Aybar, Waldo Lavado-Casimiro

Colección de datos y metadatos / Data and Metadata Collection

Gualberto Carrasco, Yaruska Castellón, Jenny Chávez, Edith Chino, Paola Villanueva, Laura Ticona, Juan Marcos Calle, Adrián Huerta

Figuras / Figures

Juan Marcos Calle, Laura Ticona, Paola Villanueva, Fernando Velarde, Evelin Sabino

Diseño y maquetación / Design and layout

Manuel Roca, César Cuenca

Fotografías Tapa / Cover photographs: Radoslaw Czajkowski**Primera Edición / First Edition:** Octubre 2017**Depósito legal / Legal deposit:** 4-1-4148-17**ISBN:** 978-3-905835-50-2**DOI:** 10.4480/GB2018.N01**PRODUCCIÓN / PRODUCTION:** Imprenta A. G. Carrasco**Impreso en Bolivia / Printed in Bolivia**© Author(s) 2017. [CC Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) Licence. See <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> to view a copy of the licence. The publisher and the authors encourage the use, reproduction and dissemination of material in this information product. Contents may be copied, downloaded and printed for private study, research and teaching purposes, or for use in non-commercial products or services, provided that the original authors and source are properly acknowledged and cited and that the original authors' endorsement of users' views, products or services is not implied in any way. Permission for commercial use of any contents must be obtained from the original authors of the relevant contents.

The designations employed and the presentation of material in this information product do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the publisher and partners concerning the legal or development status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. The mention of specific companies or products of manufacturers, whether or not these have been patented, does not imply that these have been endorsed or recommended by the institutions mentioned in preference to others of a similar nature that are not mentioned. The views expressed in this information product are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views or policies of the institutions mentioned.

Referencia / Citation:

Andrade, M. F. (Ed.) 2018. Atlas - Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano / Climate and extreme events from the Central Altiplano of Peru and Bolivia 1981-2010. Geographica Bernensia, 188 pp., DOI: 10.4480/GB2018.N01

Agradecimientos

Acknowledgments

Durante el proceso de elaboración de este atlas tuve la oportunidad de interactuar con colegas de todas las instituciones involucradas. La tremenda sinergia en el grupo de trabajo fue siempre el común denominador de estos procesos. Quiero destacar, sin embargo, al Prof. Stefan Brönnimann, impulsor del proyecto, quien con su impresionante capacidad y precisión suiza, pero sobre todo con su calidad humana, ha empujado y sufrido, como todos los involucrados, para terminar este atlas. Quiero también dejar patente mi agradecimiento a Isabel Moreno por su tenacidad e impulso inicial con el documento, a los colegas peruanos dirigidos por el Dr. Waldo Lavado pero especialmente a los jóvenes (Evelin Sabino, Adrián Huerta y César Aybar) que se encargaron de preparar los mapas (a veces más de una vez), a Laura Ticona y Juan Calle, sin quienes no hubiera sido posible terminar de redactar y editar el documento. Su determinación, profesionalidad y minuciosidad fueron claves para lograr este documento. Al Dr. Luis Blacutt por su apoyo en la recta final de producción del atlas y a los Drs. Baker Perry, Karina Yager, David Whiteman y Thierry Lebel por correcciones al inglés y valiosas sugerencias para mejorar el manuscrito original. Finalmente, deseo agradecer a Manuel Roca por su apoyo, desprendimiento y buen humor durante la maquetación y producción del atlas.

During the process of making this atlas, I had the opportunity to interact with colleagues from all the institutions involved. The tremendous synergy in the work group was always the common denominator of these processes. I would like to mention, however, to Prof. Stefan Brönnimann, promoter of the project, who with his impressive capacity and Swiss preciseness, but above all, with his human quality, has pushed and suffered, like all those involved in the process, to finish this atlas. I would also like to express my gratitude to Isabel Moreno for her tenacity and initial impulse with the document, to the Peruvian colleagues led by Dr. Waldo Lavado but especially to the young people (Evelin Sabino, Adrián Huerta and César Aybar) who were in charge of preparing the maps (sometimes more than once), to Laura Ticona and Juan Calle, without whom it would not have been possible to finish writing and editing the document. Their determination, professionalism and meticulousness were key to produce this document. To Dr. Luis Blacutt for his support in the final phase of the process and to Drs. Baker Perry, Karina Yager, David Whiteman and Thierry Lebel for English corrections and their invaluable suggestions to improve the original manuscript. Finally, I would like to thank to Manuel Roca for his support, positive attitude and good humor during the layout and production of the atlas.

Marcos Andrade
Editor

Prólogo

Foreword

Uno de los factores más importantes para el desarrollo planificado de un país es el conocimiento del comportamiento climático. Debido a nuestra topografía y variabilidad fisiográfica, Bolivia presenta grandes desafíos para el análisis de los patrones climáticos, en ese camino, instituciones tanto académicas como gubernamentales trabajan de la mano para poder brindar respuestas a la incertidumbre en la caracterización climatológica, a nivel local y regional en nuestro país.

Este importante trabajo constituye un avance de carácter fundamental ante la carencia de información para la toma de decisiones. A partir de este hito, los gobiernos de Bolivia y Perú, cuentan con información clave para desarrollar sus estrategias de planificación de los recursos hídricos así como para implementar una planificación integrada en la región compartida de los Andes Centrales, y así mejorar las condiciones de vida de sus habitantes de forma armónica con el medio natural circundante.

One of the most important factors for the planned development of a country is the knowledge of climate behavior. Due to our topography and physiographic variability, Bolivia presents great challenges for the analysis of climatic patterns. To meet these challenges, academic and governmental institutions work hand to hand in order to provide answers to the uncertainty in the climatological characterization, at local and regional level in our country.

This important work constitutes an advance of fundamental importance given the lack of information for making decisions. From this milestone, the governments of Bolivia and Peru, have key information to develop their water resource planning strategies and can now implement an integrated plan in the shared region of the Central Andes and thus improve harmoniously the living conditions of its inhabitants in the surrounding natural environment.

Carlos René Ortuño Yáñez

Ministro de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) / Minister of Environment and Water
Estado Plurinacional del Bolivia / Plurinational State of Bolivia

Prefacio

Preface

El clima en el Altiplano de Bolivia y Perú puede ser extremo y severo. Gran parte de la región del Altiplano experimenta temperaturas de congelación frecuentes, a menudo por debajo de -3 grados C, pero en la región más al sudoeste de Bolivia las temperaturas pueden ser mucho más cálidas y más secas. Pero, ¿qué tan frío, qué tan seco y qué tan caliente? Este atlas da las respuestas. Proporciona mapas de temperaturas máxima y mínimas promedio y precipitación para cada mes y temporada. Adicionalmente también proporciona mapas de eventos extremos, incluidos los índices de días secos consecutivos o el número de días de helada.

El atlas se basa en mediciones de unas 50 estaciones en el Altiplano, que abarcan Perú y Bolivia. Innumerables observadores dedicados han recopilado estos datos durante más de cuarenta años, y el enfoque del análisis de datos en este atlas abarca el período 1981-2010. Producir un atlas a partir de estas observaciones es un proceso largo y arduo. Los datos deben ser revisados cuidadosamente, las estaciones visitadas y revisitadas, y las hojas de datos inspeccionadas. Entonces, los índices deben ser calculados e interpolados espacialmente. En general, este es un proceso largo y lento, que fue llevado a cabo por un equipo internacional de científicos.

Este proceso fue posible como parte del proyecto DECADE (Datos sobre clima y clima extremo para los Andes Centrales). El proyecto fue financiado por la Cooperación Suiza para el Desarrollo y la Fundación Nacional de Ciencia de Suiza, y fue coordinado por la Universidad de Berna, Suiza. DECADE comenzó en 2014 y finalizará a principios de 2018. Nuestros dos países participaron en el proyecto, y el resultado es este atlas climático binacional de la región del Altiplano. Este atlas solo fue posible gracias a la colaboración entre los dos SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) de nuestros respectivos países. Servirá a todas las personas en el Altiplano al proporcionar una línea de base necesaria para la gestión de riesgos y la adaptación al cambio climático futuro en esta región.

Weather in the Altiplano of Bolivia and Peru can be extreme and harsh. Much of the Altiplano region experiences frequent freezing temperatures, often reaching below -3 degrees C, but in the most southwestern region of Bolivia temperatures can be much warmer and drier. Just how cold, how dry, and how hot? This atlas gives the answers. It provides maps for mean maximum and minimum temperature and precipitation for each month and season, and also provides maps of extreme events, including indices of consecutive dry days, or the number of frost days.

The atlas is based on measurements from some 50 stations in the Altiplano, spanning Peru and Bolivia. Countless dedicated observers have collected these data over more than forty years, and the focus of the data analysis in this atlas spans the 1981-2010 period. To produce an atlas from these observations is a long and arduous process. The data need to be carefully checked, stations visited and revisited, and data sheets inspected. Then, the indices need to be calculated and spatially interpolated. Overall, this is a long and time-consuming process, which was undertaken by an international team of scientists.

This process was made possible as part of the project DECADE (Data on climate and Extreme weather for the Central AnDEs). The project was funded by the Swiss Development Cooperation and the Swiss National Science Foundation, and was coordinated by the University of Bern, Switzerland. DECADE commenced in 2014 and will come to a close in early 2018. Our two countries participated in the project, and the result is this bi-national climate atlas of the Altiplano region. This atlas was only made possible by collaboration between the two SENAMHIs (*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*) of our respective countries. It will serve all people in the Altiplano by providing a necessary baseline for risk management and the adaptation to future climate change in this region.

Dr. Ken Takahashi
Presidente Ejecutivo
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Perú

Ing. Luis Noriega
Director
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Bolivia

Contenido

Agradecimientos	5
Prólogo.....	6
Prefacio	7
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS	19
2.1. DATOS DE BOLIVIA	24
2.1.1. SENAMHI.....	24
2.1.2. AASANA	27
2.2. DATOS DEL PERÚ.....	27
3. METODOLOGÍA	31
3.1. CONTROL DE CALIDAD (QC)	32
3.1.1. Especificidades del QC para las normales de clima	35
3.1.2. Especificidades del QC para índices basados en el recuento de eventos y eventos extremos.....	36
3.2. NORMALES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	37
3.3. CLIMATOLOGÍA DE ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS	39
3.3.1. Precipitación	41
3.3.2. Temperaturas	41
3.3.3. Cálculo de índices contando el número de ocurrencias consecutivas de un evento dado	42
3.4. CARTOGRAFÍA.....	42
3.5. INTERPOLACIÓN ESPACIAL	43
4. PRECIPITACIÓN: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS	51
4.1. NORMALES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN	52
4.2. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS.....	70
5. TEMPERATURA: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS	83
5.1. NORMALES CLIMÁTICAS PARA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA.....	86
5.2. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS PARA TEMPERATURA MÁXIMA	106
5.3. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS PARA TEMPERATURA MÍNIMA.....	110
5.4. RANGO DE TEMPERATURA DIURNA.....	150
6. ANEXOS.....	159
A1 - HISTOGRAMAS CLIMATOLÓGICOS DE PRECIPITACIÓN.....	160
A2 - HISTOGRAMAS CLIMATOLÓGICOS DE DÍAS CONSECUTIVOS CON Y SIN PRECIPITACIÓN.....	166
A3 - COMPORTAMIENTO CLIMATOLÓGICO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA.....	173
A4 - COMPORTAMIENTO CLIMATOLÓGICO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA.....	177
REFERENCIAS	181
FIGURAS.....	183
TABLAS	183
MAPAS.....	184
FOTÓGRAFOS.....	187
ACRÓNIMOS.....	188

Contents

Acknowledgments.....	5
Foreword.....	6
Preface.....	7
1. INTRODUCTION	11
2. METEOROLOGICAL OBSERVATIONS.....	19
2.1. BOLIVIAN DATA	23
2.1.1. SENAMHI.....	24
2.1.2. AASANA	27
2.2. PERUVIAN DATA	27
3. METHODOLOGY	31
3.1. QUALITY CONTROL (QC).....	32
3.1.1. QC specificities for climate normals	34
3.1.2. QC specificities for indices based on the count of events and extreme events	36
3.2. CLIMATE NORMALS OF PRECIPITATION AND TEMPERATURE.....	37
3.3. CLIMATOLOGY OF INDICES OF EXTREME EVENTS.....	39
3.3.1. Precipitation	41
3.3.2. Temperatures	41
3.3.3. Calculation of indices by counting the number of consecutive occurrences of a given event	42
3.4. CARTOGRAPHY	42
3.5. SPATIAL INTERPOLATION	43
4. PRECIPITATION: CLIMATOLOGY AND Indices Of EXTREME EVENTS.....	51
4.1. CLIMATE NORMALS FOR PRECIPITATION.....	52
4.2. INDICES OF EXTREME EVENTS	70
5. TEMPERATURE: CLIMATOLOGY AND Indices Of EXTREME EVENTS.....	83
5.1. CLIMATE NORMALS FOR DAILY MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE	86
5.2. INDICES OF EXTREME EVENTS FOR MAXIMUM TEMPERATURE.....	106
5.3. INDICES OF EXTREME EVENTS FOR MINIMUM TEMPERATURE.....	110
5.4. DIURNAL TEMPERATURE RANGE	150
6. ANNEXES	159
A1 - CLIMATOLOGICAL HISTOGRAMS OF PRECIPITATION	160
A2 - CLIMATOLOGICAL HISTOGRAMS OF CONSECUTIVE WET AND DRY DAYS.....	166
A3 - CLIMATOLOGICAL BEHAVIOR OF MAXIMUM TEMPERATURE	173
A4 - CLIMATOLOGICAL BEHAVIOR OF MINIMUM TEMPERATURE	177
REFERENCES	181
FIGURES.....	183
TABLES	183
MAPS.....	184
PHOTOGRAPHERS	187
ACRONYMS	188





1

INTRODUCCIÓN

INTRODUCTION

Históricamente las observaciones meteorológicas de superficie han sido escasas, tanto en Bolivia como en Perú, en especial en el territorio andino que comparten. La extensión de este territorio (aproximadamente 450 000 km²) y su compleja topografía representan un gran desafío para el buen monitoreo meteorológico y de (otras) variables medio ambientales. El objeto de este atlas, el Altiplano compartido entre ambos países, está ubicado entre los 13°S y 18°S y rodeado por ambos flancos de la Cordillera de los Andes en la región conocida como los Andes Centrales. Ambas cadenas montañosas representan un obstáculo formidable a la circulación troposférica formando la segunda planicie más grande luego del Tibet con una superficie de 205 000 km² a una altura de 3 700 msnm en promedio. En este sentido, el Altiplano y sus cadenas montañosas actúan como una barrera que separa las costas del Pacífico al oeste y las tierras bajas (que comprende las regiones del Amazonas y el Chaco) al este, produciendo contrastes meteorológicos y climáticos en esta región tropical (Garreaud *et al.*, 2003; Thompson, 1998). Además de la escasez de datos, la calidad de los mismos puede ser un problema debido a varias razones (véase Hunziker *et al.*, 2017 para algunos ejemplos). Por ejemplo, cambio

Meteorological ground-based data have been historically scarce in Bolivia and Peru, especially in their Andean regions. The extent of this distinct territory (approximately 450 000 km²) as well as its complex topography, make the region particularly challenging for monitoring meteorological and (other) environmental parameters. The focus of this atlas, the Altiplano shared by both countries, is located between 13°S and 18°S in the Central Andes in the middle of the two mountain ranges of the *Cordillera de los Andes*: the *Cordillera Occidental* on the western side and the *Cordillera Oriental* on the eastern side. These mountain chains represent a formidable obstacle to the tropospheric circulation forming the world's second largest plateau (Altiplano) after Tibet, with an average elevation of 3 700 masl and an area of about 205 000 km². In this sense, the Altiplano and its surrounding peaks act as a barrier between the Pacific coast to the west and the lowlands (Amazon and Chaco regions) to the east, producing distinctive weather and climate conditions in this tropical region. (Garreaud *et al.*, 2003; Thompson, 1998). In addition to scarcity of data, their quality could be an issue due to different reasons (see Hunziker *et al.*, 2017 for some examples). Changing observers, instruments and locations have produced gaps, jumps or



KY

P-1 Los bofedales proporcionan muchos servicios ecosistémicos en los Andes, incluyendo agua para la biodiversidad local y forraje para el pastoreo de los animales.

Bofedales (peatlands) provide many ecosystem services in the Andes, including water for local biodiversity and forage for herding animals.

de observadores, de instrumentos o de la ubicación de instrumentos han producido interrupciones, saltos o inconsistencias en las series temporales que no siempre se han documentado o identificado.

inconsistencies on the time series that have not always been documented or identified. Thanks to funding from the Swiss National Science Foundation (SNFS) a joint project among the National Weather Services



Gracias al financiamiento de la Fundación Nacional para Ciencia de Suiza (SNFS, por su sigla en inglés) se desarrolló un proyecto conjunto, entre los servicios meteorológicos nacionales (SENAMHIs) de Bolivia y Perú, la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia, la Oficina Meteorológica de Suiza (MeteoSwiss) y la Universidad de Berna de Suiza, durante el período 2014 al 2017. El interés de ese proyecto fue de proveer información climática en la región de los Andes Centrales como apoyo para

(SENAMHIs) of Bolivia and Peru, *Universidad Mayor de San Andrés* of Bolivia, *MeteoSwiss* and *University of Bern* of Switzerland, was carried out between 2014 and 2017. The aim of the project was to provide climatic information in the Central Andes in support of decision making and climate change adaptation strategies by performing quality control, improving metadata, homogenizing the time series¹ and producing an atlas related to extreme weather and climate events with this information.

P-2 La llama (*Lama glama*) y la alpaca (*Vicugna pacos*) son camélidos domesticados de América del Sur. Su carne y lana son muy apreciadas en la región Andina.

Lama (*Lama glama*) and alpaca (*Vicugna pacos*) are domesticated camelids of South America. Their meat and wool are very appreciated in the Andean region.



SH

la toma de decisiones y las estrategias de adaptación ante el cambio climático por medio de las siguientes etapas: control de calidad, mejora de la información asociada a las estaciones meteorológicas (metadatos), homogeneización de las series temporales¹ y la producción de un atlas relacionado a eventos extremos del tiempo y clima con la información resultante.

The project, named *Data on climate and Extreme weather for the Central AnDEs* or *DECADE* for short, was indeed able to: 1) gather information (data and metadata²) for precipitation and temperature (minimum and maximum), 2) carefully analyze them (in the process accessing the original archives preserved by SENAMHI-Bolivia and AASANA), 3) visit the stations for assessing their current and past state (in the process gathering important metadata), 4) work with other groups that have already performed similar work for trying to better understand problems found with the data sets, and 5) correct the time series whenever possible.

El Proyecto, denominado DECADE (acrónimo del inglés *Data on climate and Extreme weather for the Central AnDEs*) fue en efecto capaz de: 1) recopilar información (datos y metadatos²) de precipitación y temperatura (mínima y máxima), 2) realizar

¹ Una serie temporal homogénea se define como aquella donde la variabilidad es causada únicamente por las variaciones en el clima (Aguilar, 2003).

¹ A homogeneous time series is defined as one where variability is caused only by variations in climate (Aguilar, 2003).

² Los metadatos son datos sobre otros datos, tales como cambios y eventos especiales que ocurrieron en un sitio de observación determinado.

² Metadata is data about other data such changes and special events that occurred to a given station.

un análisis cuidadoso de los datos (por medio de acceso a los archivos originales preservados por SENAMHI-Bolivia y AASANA), 3) visitar las estaciones para evaluar su estado presente y pasado (aprovechando de reunir, en el proceso, metadatos importantes), 4) trabajar con otros grupos que hubieran realizado labores similares para comprender los problemas encontrados en los conjuntos de datos y, 5) corregir las series temporales cuando fuera posible.

El equipo de trabajo llevó adelante varias estrategias para reunir los metadatos incluyendo visitas conjuntas a las estaciones con personal de ambos servicios meteorológicos. El intercambio binacional de experiencias fue muy fructífero ya que permitió la mejora de los formularios de metadatos. Además, se realizaron varias

The research team developed different strategies to gather metadata that included joint visits to stations by Bolivian and Peruvian personnel. The binational exchange was extremely fruitful allowing for the improvement of the metadata forms. In addition, several meetings of the two national teams were organized permitting work on different aspects of the project and, at the same time, cross training among the groups. In the process young scientists and students from other groups benefited from these sessions. In summary, one of the key aspects for the success of this project was the binational collaboration between the two neighboring countries. We have common problems and can work on common solutions from different perspectives and social environments.



P-3 La agricultura es la actividad más prominente en el Altiplano.

Agriculture is the most prominent livelihood practice in the Altiplano.

sesiones entre los dos grupos para trabajar diferentes aspectos del proyecto y, al mismo tiempo, para realizar entrenamiento mutuo entre los grupos. Durante este proceso los jóvenes investigadores y estudiantes de otros grupos se beneficiaron de las mencionadas sesiones. En resumen, una de las claves para el éxito de este proyecto fue la colaboración binacional entre dos países fronterizos que comparten problemas similares y pueden trabajar en soluciones comunes desde diferentes perspectivas y entornos sociales.

Un producto importante de este trabajo es la construcción de uno de los mejores conjuntos de datos meteorológicos para la región de los Andes Centrales que incluye los

An important product of this work is the building of one of the best weather data sets for the Central Altiplano network, including the raw data and metadata collected from SENAMHI-Bolivia, metadata obtained from the station visits and careful analysis of neighboring stations in conjunction with other available information. In this sense, one of the major contributions of DECADE is the homogenized time series of regional meteorological data, including all corrections applied to the original data. In this way, users can trace back the applied corrections or choose the time series at some particular point in the homogenization process. It is important to note here that these homogenized time series were not



datos crudos y los metadatos recolectados de SENAMHI-Bolivia, metadatos nuevos obtenidos de las visitas a las estaciones y el cuidadoso análisis de las estaciones circundantes en conjunción con información adicional. En este sentido, una de las contribuciones de DECADE es la generación de series temporales homogeneizadas de datos meteorológicos de la región que incluyen todas las correcciones aplicadas a los datos originales. De esta manera, los usuarios podrán seguir el rastro de las correcciones aplicadas o elegir las series temporales en puntos particulares del proceso de homogeneización. Sin embargo, es importante notar que estas series temporales homogeneizadas no fueron utilizadas en este atlas debido a limitaciones de tiempo. Los datos empleados para producir el atlas, empero, han pasado varios controles de calidad (QC, por su sigla en inglés) para asegurar las mejores series temporales posibles.

A fin de reportar los valores climatológicos de eventos climáticos extremos se adaptaron, para nuestros propósitos, una serie de índices que son utilizados o definidos por centros y proyectos relacionados con clima de reconocida trayectoria. Estos índices, adaptados o derivados, logran resolver los problemas de completitud o calidad que se encontraron luego de un cuidadoso análisis de los datos. Un otro resultado importante de DECADE es un atlas centrado en la climatología de eventos extremos. Este no es, por supuesto, el primer documento de eventos extremos en Bolivia ni en Perú, pero hasta donde conocemos, es la primera vez que los datos utilizados para producir el mencionado atlas para el Altiplano Central han sido analizados tan cuidadosamente, especialmente en Bolivia. Esto nos ha permitido seleccionar las series temporales más completas y de mejor calidad y por tanto reducir el ruido (señales climatológicas espurias) que podrían introducir errores al calcular los índices climatológicos.

El área cubierta por este atlas, 105 288 km², se definió en base a la disponibilidad de datos sobre cuencas hidrológicas (o subcuencas) en el Altiplano Central. Esta área incluye los asentamientos urbanos humanos más grandes tanto en Bolivia (La Paz y El Alto, con aproximadamente 770 000 y 850 000

used in this atlas due to time constrains. The data used to produce this atlas, however, have passed various quality control (QC) procedures to assure the best possible time series.

To report the climatological values of extreme weather and climate events, a series of indices used or defined from recognized climate centers/projects were adapted for our purposes. These adapted or derived indices resolve completeness and/or quality issues found from the careful analysis of these data. Another important outcome of DECADE is an atlas focused on the climatology of extreme events. This is not, of course, the first document on extreme events in Bolivia or in Peru but, to the best of our knowledge, this is the first time that data used to produce such an atlas for the Central Altiplano have been so closely evaluated, especially in Bolivia. This has allowed us to select the best and most complete time series and therefore reduce the noise that could introduce errors in calculating climatic indices.

The area covered by this atlas, 105 288 km², was defined by the availability of data on hydrological basins (or sub-basins) in the Central Altiplano. This area encloses the largest human urban settlements both in Bolivia (La Paz and El Alto, with approximately 770 000 and 850 000 inhabitants respectively, according to the census in 2012) and in Peru (Puno with approximately 120 000 and Juliaca with 217 000 inhabitants respectively, according to the census in 2007). It also contains Lake Titicaca which is extremely important for several reasons, including its influence on regional climate as well as its economic importance for human activities. Other regions of the Central Altiplano were excluded due to different reasons. For instance, the atlas does not consider the southernmost part of the Bolivian Altiplano due to the lack of good and complete time series for the chosen period (1980-2010).

All data used for this atlas, including its corresponding metadata, will be available at the data repository GHCN. In addition, both SENAMHIs keep a copy of the data as the

habitantes respectivamente, según el censo en 2012) como en Perú (Puno con aproximadamente 120 000 y Juliaca con 217 000 habitantes respectivamente según el censo de 2007). También contiene el lago Titicaca, que es extremadamente importante por varias razones, incluida su influencia en el clima regional, así como su importancia económica para diferentes actividades humanas. Otras regiones del Altiplano central fueron excluidas debido a distintos motivos. Por ejemplo, el atlas no tiene en cuenta la parte más meridional

official repositories in Peru and Bolivia. As an important result of the three years of working on quality control (QC) of the available data, papers and some other documents have been generated. All of these documents, or the corresponding links, can be found at www.chacaltaya.edu.bo. They include the findings, identified problems with the original data sets, detailed descriptions of how the QC processes were applied to these data, and the results of research using the improved data sets.



P-4 Vista aérea de la ciudad de El Alto (850 000 hab. aprox.), la ciudad más grande del Altiplano. El Alto colinda con La Paz (770 000 hab. aprox.) situada en la región del valle.

Aerial view of the city of El Alto (850 000 inhabitants approx.), the largest city in the Altiplano. El Alto borders La Paz (770 000 inhabitants approx.) which is located in the valley.

del Altiplano boliviano debido a la falta de series de tiempo buenas y completas para el período elegido (1980-2010).

Todo el conjunto de datos utilizados para este atlas, incluyendo los metadatos correspondientes, estarán disponibles en el repositorio de datos GHCH. Además ambos SENAMHIs mantienen una copia de la base de datos como los repositorios oficiales en Perú y Bolivia. Como un resultado importante de los tres años trabajando en el control de calidad de los datos disponibles, se han generado artículos científicos y algunos otros documentos. Todos estos documentos, o los vínculos electrónicos correspondientes, pueden ser encontrados

Potential users of this atlas include institutions that need historical data for taking actions in water related problems (management and planning) such as the Ministries of Environment, Agriculture and Water, natural resource and development implementation agencies for the Peruvian and Bolivian governments, and local municipalities. Another potential user group is related to research. Universities and other research centers, including undergraduate and graduate students looking for data for their dissertations, are groups that could benefit by using this atlas. In all cases, however, we suggest using the data with a



en www.chacaltaya.edu.bo. Estos documentan los hallazgos con respecto a los problemas con los conjuntos de datos originales, descripciones detalladas de cómo los procesos de control de calidad se aplicaron a estos y los resultados de la investigación utilizando los conjuntos de datos mejorados.

Los usuarios potenciales de este atlas incluyen instituciones que necesitan datos históricos para tomar acciones en problemas relacionados con agua (gestión y planificación) como los ministerios de medio ambiente, agricultura y agua, agencias de implementación del desarrollo y recursos naturales para los gobiernos peruano y boliviano, así como las municipalidades. Otro grupo potencial de usuarios está relacionado con la investigación. Las universidades y otros centros de investigación, incluidos los estudiantes de pregrado y postgrado que buscan datos para sus disertaciones, son grupos que podrían beneficiarse al usar este atlas. En todos los casos, sin embargo, sugerimos utilizar los datos con espíritu crítico porque: a) A pesar del esfuerzo realizado para encontrar tantos problemas como sea posible en los datos, es posible que otros problemas (con suerte pocos) permanezcan en la serie temporal. b) En un clima cambiante, quizás los métodos alternativos al estándar sugerido por la OMM se puedan utilizar para calcular las normales climáticas (Wilks, 2013). Esos métodos dependen de diferentes criterios. Hemos utilizado el método convencional para calcular las normales climáticas sin intentar utilizar enfoques no convencionales. Por esta razón, sería mejor utilizar las normales climáticas presentadas en este atlas para períodos no muy lejanos del período 1981-2010.

Este documento está dividido en cuatro secciones más. La sección 2 describe los datos utilizados en el atlas; la sección 3 presenta la metodología utilizada para obtener series de tiempo mejoradas, la definición de los índices climáticos utilizados en el atlas y la información adicional relevante, como los procedimientos de cartografía o espacialización. La sección 4 contiene información sobre la climatología y los eventos extremos para la precipitación, mientras que la sección 5 con información relacionada a la temperatura máxima y mínima además del rango de temperatura diurna.

critical spirit because: a) Despite the effort done for finding as many problems as possible on the data, it is possible that other (hopefully few) problems remain on the time series. b) In a changing climate, perhaps, alternative methods to the standard one suggested by the WMO may be used for computing climate normals (Wilks, 2013). Those methods depend on different criteria. We have used the conventional method for computing climate normals with no attempt to use non-conventional approaches. For this reason, it would be better to use the climate normals presented in this atlas for periods not far from the 1981-2010 period.

This document is divided into four more sections. Section 2 describes the data used in the atlas; section 3 presents the methodology used for obtaining improved time series, the definition of the climate indices used in the atlas and additional relevant information such as cartography or spatialization procedures. Section 4 deals with climatology and extreme events for precipitation, and section 5 with maximum and minimum temperatures in addition to diurnal temperature range.



SH

P-5 Barcos de pescadores en el lago Titicaca.

Fishermen's boats on Lake Titicaca.



2

OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS

METEOROLOGICAL
OBSERVATIONS



Las observaciones meteorológicas permiten la caracterización del tiempo y el clima en una ubicación específica que puede ser representativa de una región mayor en tanto ciertas características como la exposición, la condición y el tipo de equipo y su operación sean las adecuadas. Los estudios climatológicos y de eventos extremos pueden realizarse utilizando datos diarios que cubran un período largo de tiempo, siempre que estos cumplan los patrones internacionales de calidad tal como sugiere la guía CIMO (WMO, 2014).

Los metadatos son otro aspecto particularmente importante para estudiar el clima. De hecho, toda la información histórica respecto a la instalación de la estación, sus cambios en el tiempo (figura F-1), las condiciones en las cuales los datos han sido registrados, los aspectos como la calibración y mantenimiento de los instrumentos y los cambios en términos de exposición y personal son extremadamente importantes. Esta información juega un rol preponderante para el entendimiento y la validación de los datos en relación a eventos extremos. Los estudios climatológicos se benefician de estos metadatos al reducir la

Meteorological observations allow the characterization of weather and climate in a specific location that could be representative of a larger region whenever different things like the exposure, type and condition of the equipment and its operation are suitable. Climatic and extreme event studies can be made using daily meteorological records that span a long period of time, provided that the data meet international quality standards as suggested by the CIMO guide (WMO, 2014).

Metadata are another aspect particularly relevant to the study of climate. Indeed, all the historical information regarding the installation of a station, its temporal changes (figure F-1), the conditions in which data have been recorded, aspects such as calibration and maintenance of the instruments and the changes in terms of exposure and staff, are extremely important. This information plays a major role in understanding and validating data related to extreme events. Climate studies benefit from these metadata by reducing the signal-to-noise ratio. For instance, changes in location, even for short distances could dramatically change the observed temperature.



P-6 Estación meteorológica de Tiwanaku, Bolivia.

Weather station at Tiwanaku, Bolivia.

tasa entre “señal y ruido”. Por ejemplo, los cambios en la ubicación, incluso distancias pequeñas pueden cambiar dramáticamente la temperatura observada.

Los datos fueron provistos por SENAMHI-Perú, SENAMHI-Bolivia y AASANA-Bolivia. Para este atlas se emplearon datos diarios

Data were provided by SENAMHI-Peru, SENAMHI-Bolivia and AASANA-Bolivia. For this atlas, daily observations of precipitation, minimum and maximum temperature, obtained from manned stations during the 1981-2010 period, were used for the characterization of climate and extreme



F-1 Es importante conocer el historial de la estación (metadata) porque los sucesos ocurridos en la misma podrían tener un impacto en las mediciones. Por ejemplo, la estación del aeropuerto internacional de El Alto fue reubicada cuatro veces desde el inicio de sus operaciones, lo cual pudo producir saltos o quiebres en la serie de datos.

It is important to know the history of the station (metadata) because the events that occurred in it could have an impact on the measurements. For instance, the *El Alto* international airport station was relocated four times since the beginning of its operations, which could have an impact (e.g. data breaks) on the time series.

Fuente/Source: © 2017 Google

de precipitación y temperatura máxima y mínima procedentes de estaciones operadas por observadores durante el período 1981–2010. Estos datos fueron usados para la caracterización del clima y eventos extremos en el Altiplano (véase T-1).

El período 1981–2010 fue seleccionado debido a los siguientes motivos:

- Contiene un mayor número de observaciones que otros períodos (figura F-2).
- Ambos países disponían de los datos para el mencionado período.
- Cubre el período correspondiente a la observación satelital.
- Fue sugerido por el equipo de expertos en detección de cambio climático e índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés) de CCI/CLIVAR/JCOMM.
- Es uno de los períodos sugeridos por la OMM para analizar las normales climatológicas.

events in the Altiplano (see T-1).

The 1981-2010 time period was selected for the following reasons:

- It contains more observations than previous periods (figure F-2).
- Data were available for both countries during this period.
- It overlaps with the satellite era.
- It was suggested by the joint CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).
- It is one of the periods suggested by the WMO for analyzing climate normals.

In order to define the area of study we decided to use basins as the basic elements. The main requirements were the availability of good quality data (see chapter 3 for the definition of *good quality data*) and its completeness. As a result, we chose the following basins: Titicaca (Peru and Bolivia), *Desaguadero* (Peru and Bolivia) and Northern *Poopó* (Bolivia). These are

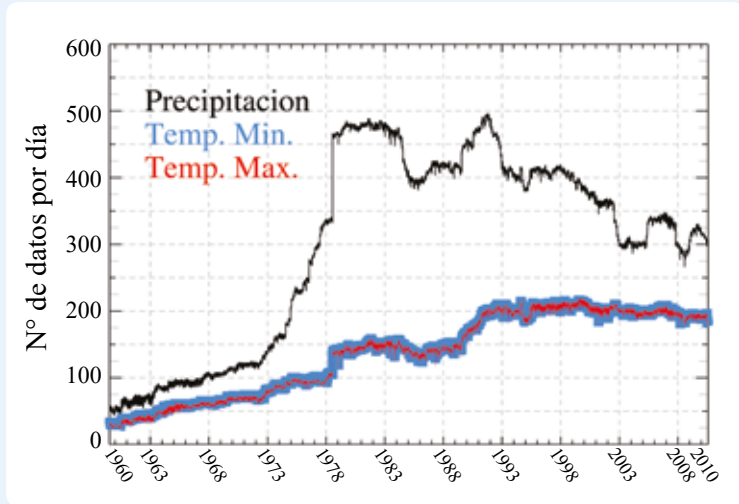
T-1 Lista de estaciones empleadas
List of used stations

Nombre de la estación Station name	País Country	Dpto. Region	Latitud Latitude (°S)	Longitud Longitude (°O)	Altitud (msnm) Altitude (masl)	Normales climáticas Climate normals			Eventos extremos Extreme events		
						PCP	TN	TX	PCP	TN	TX
Achiri	Bolivia	La Paz	-17.215233	-69.001417	3918	✓			✓		
Ananea	Perú	Puno	-14.678722	-69.534528	4667	✓			✓		
Ancoraimes	Bolivia	La Paz	-15.898333	-68.904167	3870				✓		
Arapa	Perú	Puno	-15.178639	-70.109083	3836	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ayaviri	Perú	Puno	-14.881111	-70.592778	3922	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ayo Ayo	Bolivia	La Paz	-17.092406	-68.007250	3895	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Azángaro	Perú	Puno	-14.914722	-70.191111	3863	✓		✓			
Belén	Bolivia	La Paz	-16.020014	-68.699617	3830	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Berenguela	Bolivia	La Paz	-17.288889	-69.214167	4147				✓		
Cabanillas	Perú	Puno	-15.639300	-70.346389	3889	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calacoto	Bolivia	La Paz	-17.280533	-68.635950	3835	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Capachica	Perú	Puno	-15.615800	-69.844300	3826	✓					
Capazo	Perú	Puno	-17.176694	-69.730139	4416	✓			✓		
Caquiaviri	Bolivia	La Paz	-17.022222	-68.605556	3951				✓		
Charaña Aeropuerto	Bolivia	La Paz	-17.584631	-69.435256	4062				✓	✓	✓
Chuquibambilla	Perú	Puno	-14.787717	-70.728475	3918	✓	✓	✓	✓		
Cojata	Perú	Puno	-15.016668	-69.355554	4351	✓			✓		
Collana	Bolivia	La Paz	-16.903933	-68.283450	3966	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Copacabana	Bolivia	La Paz	-16.169525	-69.088617	3871				✓		
Crucero	Perú	Puno	-14.362600	-70.023800	4136	✓			✓		
Desaguadero	Perú	Puno	-16.563250	-69.036778	3833	✓	✓	✓	✓	✓	✓
El Alto Aeropuerto	Bolivia	La Paz	-16.510367	-68.198583	4037	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Huancané	Perú	Puno	-15.203333	-69.762500	3859	✓	✓	✓	✓		✓
Huaraya Moho	Perú	Puno	-15.389722	-69.491389	3831	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Huarina Cota Cota	Bolivia	La Paz	-16.179733	-68.632383	3841	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ilave	Perú	Puno	-16.084722	-69.643611	3855	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Isla Taquile	Perú	Puno	-15.770111	-69.690944	3840	✓			✓		
Jihuacuta	Bolivia	La Paz	-16.858056	-68.662222	3912				✓		
Juli	Perú	Puno	-16.203333	-69.457222	3831	✓			✓		
Lampa	Perú	Puno	-15.363155	-70.366636	3874	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Laraqueri	Perú	Puno	-16.152500	-70.067778	3962	✓			✓		
Mazo Cruz	Perú	Puno	-16.738944	-69.715472	3981	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Muñani	Perú	Puno	-14.772072	-69.965024	3922	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oruro Aeropuerto	Bolivia	Oruro	-17.966483	-67.079633	3719	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pampahuta	Perú	Puno	-15.501901	-70.677057	4286	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Patacamaya	Bolivia	La Paz	-17.239667	-67.922167	3799	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pizcoma	Perú	Puno	-16.911561	-69.372671	3933	✓			✓		
Progreso	Perú	Puno	-14.671806	-70.367778	3925	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pucara	Perú	Puno	-15.033611	-70.372778	3885	✓			✓		
Pucarani	Bolivia	La Paz	-16.396111	-68.474722	4354	✓			✓		
Puerto Acosta	Bolivia	La Paz	-15.532975	-69.252386	3849				✓		
Puno	Perú	Puno	-15.826333	-70.012083	3825	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Putina	Perú	Puno	-14.914889	-69.868028	3878	✓			✓		
San José Alto	Bolivia	La Paz	-17.704444	-67.778611	3748	✓			✓		
San Juan Huancollo	Bolivia	La Paz	-16.585867	-68.966517	3857	✓			✓		
Santiago de Huata	Bolivia	La Paz	-16.051111	-68.810278	3919			✓	✓	✓	
Santiago de Machaca	Bolivia	La Paz	-17.066667	-69.199444	3890	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Taraco	Perú	Puno	-15.305000	-69.982500	3820	✓			✓		
Tiwanaku	Bolivia	La Paz	-16.568333	-68.678200	3868	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Viacha	Bolivia	La Paz	-16.658283	-68.281967	3873	✓	✓		✓	✓	
TOTAL						42	25	26	48	25	24



F-2 Número de datos diarios disponibles de precipitación, temperatura mínima y máxima en función del tiempo. Los datos de precipitación actúan de proxy del número de estaciones operativas. No todas las estaciones miden las tres variables.

Number of available daily data of precipitation, minimum and maximum temperatures as a function of time. Precipitation data act as a proxy for the number of operational stations. Not all stations measure the three variables.



Con la finalidad de definir el área de estudio se utilizaron las cuencas como los elementos básicos. Los principales requerimientos fueron la disponibilidad de datos de buena calidad (los requerimientos de *buena calidad de los datos* están discutidos en el capítulo 3) y su completitud. Como resultado elegimos las siguientes cuencas: Titicaca (Perú y Bolivia), Desaguadero (Perú y Bolivia) y Poopó Norte (Bolivia). Estas cuencas forman parte de la cuenca

part of the endorheic Altiplano Basin, which is confined by the two mountain chains of the Central Andes (Veblen et al., 2015) We did not include, however, the southern and driest part of the Altiplano because it has a very sparse station network for the period of study. The few functioning stations there have several gaps and issues with the data quality, especially for a long-term perspective.

T-2 Hora de toma de datos, SENAMHI-Bolivia.

Time for taking observations, SENAMHI-Bolivia.

Variable	Hora local (UTC-4) Local time (UTC-4)
PCP	08:00
TN	08:00
TX	18:00 u 08:00 del día siguiente 18:00 or 08:00 of the next day

endorreica del Altiplano que está confinada por las dos estribaciones de los Andes Centrales (Veblen et al., 2015). No se incluyó, sin embargo, la región sur del Altiplano debido a que tenía un número muy escaso de estaciones en el período de estudio. Las pocas estaciones en funcionamiento en esa región tienen varios datos faltantes y problemas con la calidad de los datos, especialmente para tener una perspectiva a largo plazo.

2.1. BOLIVIAN DATA

Data for precipitation (PCP) and temperature (TN, TX) were obtained, mainly, from two sources:

- SENAMHI, from its official database SISMET (www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php).
- AASANA, for airport stations through the transcription performed by the PPCR project.

2.1. DATOS DE BOLIVIA

Los datos de precipitación (PCP) y temperatura (TN, TX) se obtuvieron principalmente de dos fuentes:

- SENAMHI, base de datos oficial SISMET (www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php).
- AASANA, estaciones en aeropuertos por medio de la transcripción desarrollada por el proyecto PPCR.

2.1.1. SENAMHI

Los datos de 20 estaciones fueron utilizados para la elaboración de este atlas, todas ellas localizadas en el departamento de La Paz. Los datos se reportan en tiempo local (UTC-4) de acuerdo con el cronograma detallado en las hojas de datos diseñadas por SENAMHI-Bolivia (véase T-2). En general los observadores recolectan la información siete días a la semana y, dependiendo del tipo de instrumentos instalados en la estación, los datos son registrados entre una a cuatro veces por día.

La **precipitación** se mide con pluviómetros tipo Hellman hechos a medida con una



LT

P-7 Pluviómetro Hellmann.
Hellmann rain gauge.

2.1.1. SENAMHI

Data from 20 stations were used for this atlas, all of them located in the La Paz Department. Data are reported in local time (UTC-4) according to the schedule detailed (see T-2) in the data sheets designed by SENAMHI-Bolivia. Usually, observers collect data seven days a week, and depending on the type of instruments installed at the station, data are recorded one to four times per day.

Precipitation is measured with custom-made Hellman type rain gauges typically of 200 mm capacity. Data include both liquid (rain) and solid (hail, graupel, snow) water. In the case of solid precipitation, the measurement is reported as water equivalent after melting. The usual procedure for measuring precipitation involves the use of a 20-cm wood ruler of 1 mm accuracy which is used to measure the amount of water collected at the inner container.

Usually *trace precipitation*, which refers to small amounts of precipitation that are difficult or impossible to measure, is registered as zero. Although written records do not always mention the type of precipitation measured, especially in recent years, non-numerical values associated with trace precipitation were replaced by zero in the database.

One important aspect is related to the date assigned to the measured precipitation. The reported date of digitized precipitation is usually shifted by one day, *i.e.* accumulated precipitation measured at 8 am (12 UTC) is registered as 24-hour accumulated precipitation of the previous 24 hours. This process is not performed on the data sheets filled out by observers but during the transcription of these forms to the digital databases.

Maximum temperature is measured with a mercury thermometer and **minimum temperature** with an alcohol (or toluol) thermometer. In some stations, separate thermometers have been replaced by a single alcohol Six's thermometer.



P-8 Termómetros de máxima (superior) y mínima (inferior).

Maximum (upper) and minimum (lower) thermometers.



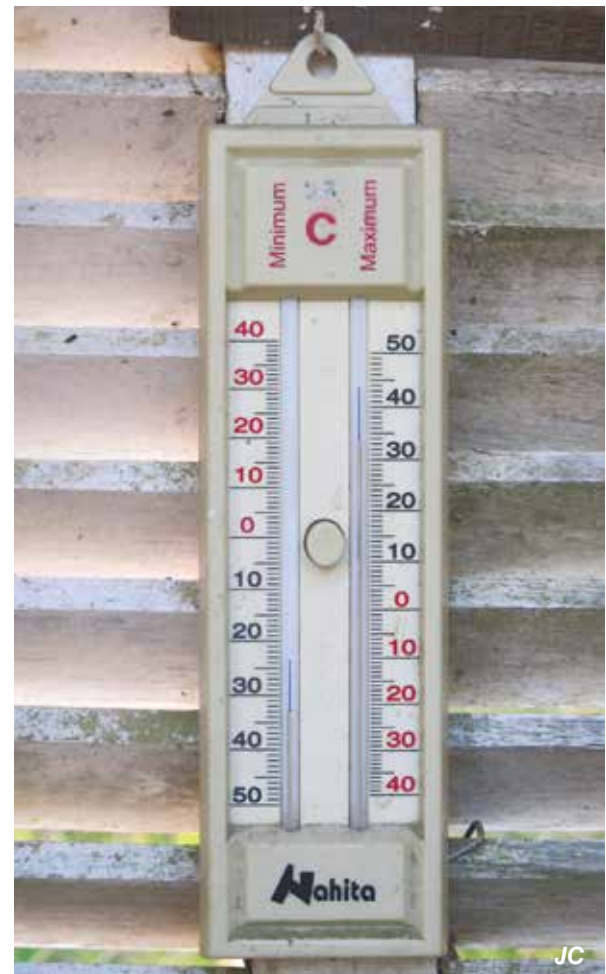
capacidad típica de 200 mm. En las medidas se incluyen tanto precipitación líquida (lluvia) como sólida (granizo, pedricas de nieve, nieve). En el caso de precipitación sólida, la medida se reporta como la cantidad equivalente de agua luego del derretimiento. El procedimiento usual para la medición de lluvia involucra el uso de una regla de madera de 20 cm con una precisión de 1 mm con la que se mide la cantidad de agua recolectada en el recipiente interno.

Not only maximum (TX) and minimum (TN) temperatures are recorded in a station. In some of them, dry and wet bulb temperatures are also recorded (3 or 4 times a day, depending on various factors). Therefore, when appropriate, the dry bulb temperature replaces missing or inadequate readings of TN or TX. Usually the Six's thermometers have an accuracy of 1°C while others have 0.5°C accuracy.

En general las *trazas de precipitación*, que son cantidades muy pequeñas de precipitación que son difíciles o imposibles de medir, se registraron como cero. Aunque los registros escritos no siempre mencionan el tipo de precipitación, especialmente en años recientes, los valores no numéricos asociados con trazas de precipitación se reemplazaron por ceros en la base de datos.

Un aspecto importante es el relacionado a la fecha asignada a la precipitación medida. El dato reportado de la precipitación digitalizada está generalmente desplazado por un día, *i.e.* la precipitación acumulada medida a las 8 am (12 UTC) se registra como la precipitación acumulada en 24 horas y corresponde al día previo. Este proceso no sucede en las hojas de registro llenadas por los observadores, sino se realiza durante la transcripción de estas hojas a las bases de datos digitales.

La **temperatura máxima** se mide con un termómetro de mercurio y la **temperatura mínima** con un termómetro de alcohol (o toluol). En algunas estaciones, este sistema de dos termómetros ha sido reemplazada por un solo termómetro de Six.



P-9 Termómetro de Six
Six's thermometer.



En las estaciones no solamente se registran las temperaturas máxima (TX) y mínima (TN), en algunas de las estaciones se mide temperaturas de bulbo seco y húmedo (3 ó 4 veces al día, dependiendo de varios factores). Por consiguiente, cuando es apropiado, la temperatura de bulbo seco reemplaza las lecturas perdidas o incorrectas de TN o TX. En general el termómetro de Six tiene una precisión de 1°C mientras que otros tienen una precisión de 0.5°C.

2.1.2. AASANA

Los datos de tres aeropuertos se utilizaron en la elaboración de este atlas: El Alto y Charaña del departamento de La Paz y Juan Mendoza del departamento de Oruro (véase T-3).

Cada aeropuerto tiene horarios de trabajo específicos (que pueden cambiar en el curso de los años) que dependen de la demanda de vuelos. Los datos de los aeropuertos se reportan en tiempo universal coordinado (UTC, por sus siglas en inglés) en los formularios internacionales METAR (véase P-10). El tiempo UTC se convierte en tiempo local al ser transcrito a la base de datos del SENAMHI. De hecho SENAMHI custodia oficialmente los datos generados por AASANA.

La precipitación se mide cada 6 horas en pluviómetros Hellman y el total diario se reporta tomando en cuenta la conversión de UTC a hora local y el desplazamiento de un día. El tipo de precipitación siempre se registra y guarda en los formularios METAR, pero la cantidad siempre es expresada como líquido equivalente. Las trazas de precipitación se digitalizan como cero.

Acerca de la temperatura, todos los aeropuertos poseen o bien termómetros separados o termómetros de Six. Sin embargo, podrían existir más instrumentos disponibles y dependiendo de esta disponibilidad, los valores de TN/TX correspondientes al día se eligen de los valores mínimo/máximo registrados en el día.

2.2. DATOS DEL PERÚ

La información de PCP, TN y TX se obtuvo de SENAMHI-Perú. La misma institución

2.1.2. AASANA

Data from three airports were used in the elaboration of this atlas: El Alto and Charaña from La Paz and Juan Mendoza from Oruro (see T-3).

Each airport has specific working times (that may change over the years) according to the flight demand. Airport data are reported in Universal Coordinated Time (UTC) on international METAR forms (see P-10). This UTC time is converted to local time in the SENAMHI database. In fact, SENAMHI officially stores all of AASANA's data.

Precipitation is measured every 6 hours in Hellman rain gauges, and the daily total is reported taking into account the UTC to local time conversion and date shifting. The type of precipitation is always recorded and kept in the written METAR forms, but the amount is always expressed as liquid equivalent. Trace precipitation is digitized as zero. About temperature, all airport stations have either separate thermometers or single Six's thermometers. However, there may be more instruments available, and depending on the instrumentation available, TN/TX are chosen from the lowest/highest value recorded on the day.

2.2. PERUVIAN DATA

Information of PCP, TN and TX was obtained from SENAMHI-Peru. The same institution is usually responsible for evaluating different aspects of the information related to:

- Relocation and reinstallation of hydrometeorological stations.
- Maintenance of hydrometeorological stations.
- Preparation of documentation for the maintenance of the hydrometeorological instruments.
- Assignment of instruments to hydrometeorological stations.
- Training of hydrometeorological observers.

For the elaboration of this atlas we used data from 27 stations of SENAMHI-Peru, all of them located in the department of Puno. The data are reported in local time (UTC-5)

T-4 Hora de toma de datos, SENAMHI-Perú.

Time for taking observations, SENAMHI-Peru.

Variable	Hora local (UTC-5) Local time (UTC-5)
PCP	07:00, 13:00, 19:00
TN	07:00
TX	19:00

generalmente es responsable de evaluar diferentes aspectos de la información relacionada con:

- Reubicación y reinstalación de estaciones hidrometeorológicas.
- Mantenimiento de estaciones hidrometeorológicas.
- Elaboración de guías para el mantenimiento de los instrumentos hidrometeorológicos.
- Asignación de instrumentos a estaciones hidrometeorológicas.
- Capacitación de observadores hidrometeorológicos.

according to the schedule detailed in table T-4, in data sheets designed by SENAMHI.

The information is available to the public through the official website of the institution (www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica).

Precipitation is measured with Hellman type rain gauges. Data include liquid and solid precipitation. In the latter case, measurements are reported as their liquid equivalent after melting. Precipitation traces are digitized as zero.

From 2010 onwards, the 13 SENAMHI Directions (*Direcciones Zonales*) have updated their forms, which have the format shown in P-12.



P-11 Estación meteorológica de la Isla Taquile. La observadora está al frente.

Meteorological station at Taquile Island. With its observer in front of it.

Para la elaboración de este atlas utilizamos datos de 27 estaciones de SENAMHI-Perú, todas ellas ubicadas en el departamento de Puno. Los datos se reportan en hora local (UTC-5) de acuerdo con el cronograma detallado en la tabla T-4, en hojas de datos diseñadas por SENAMHI.

Data for precipitation are shifted by one day as explained in the case of Bolivia. For example, to report the measurement on day 1, the readings for day 1 (performed at 19:00) and day 2 (performed at 07:00) are added and attributed to day 1.



P-12 Planilla de la estación de Isla Taquile, mes de abril del año 2010.

Form from Taquile Island station, April 2010.

Fuente/ Source: SENAMHI-Lima.

La información está disponible para el público a través del sitio web oficial de la institución (www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica).

La precipitación se mide con pluviómetros tipo Hellman. Los datos incluyen precipitación líquida y sólida. En este último caso, las mediciones se informan como su equivalente líquido después de la fusión. Los rastros de precipitación se digitalizan como cero.

Desde 2010 en adelante, las 13 Direcciones de SENAMHI (*Direcciones Zonales*) han actualizado sus formularios, que tienen el formato que se muestra en P-12.

Los datos para la **precipitación** se recorren por un día como se explicó en el caso de Bolivia. Por ejemplo, para informar la medición el día 1, las lecturas del día 1 (realizadas a las 19:00) y del día 2 (realizadas a las 07:00) se agregan y se atribuyen al día 1.

Las **temperaturas máximas y mínimas** se miden con termómetros de mercurio y alcohol, respectivamente, o con un solo termómetro de alcohol. Las temperaturas registradas por los termómetros de bulbo seco y húmedo se utilizan para estimar la humedad relativa, la presión de vapor y el punto de rocío. Estas mediciones se registran a las 07:00, 13:00 y 19:00. Cuando sea apropiado, la temperatura registrada por el termómetro de bulbo seco a las 07:00 podría reemplazar la temperatura mínima, y la temperatura medida a las 13:00 podría usarse para la temperatura máxima.

Maximum and minimum temperatures are measured with mercury and alcohol thermometers, respectively, or with a single alcohol thermometer. The temperatures recorded by dry and wet bulb thermometers are used to estimate relative humidity, vapor pressure and dew point. These measurements are recorded at 07:00, 13:00 and 19:00. When appropriate, the temperature recorded by the dry bulb thermometer at 07:00 could replace minimum temperature, and temperature measured at 13:00 could be used for maximum temperature.



3

METODOLOGÍA

METHODOLOGY



3.1. CONTROL DE CALIDAD (QC)

Las observaciones meteorológicas están influenciadas por diferentes prácticas de observación y medición, por ejemplo, por cambios en la ubicación o las guías de manejo de la estación (*Aguilar, 2003*). Por lo tanto, el análisis de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos requiere observaciones meteorológicas confiables.

En una serie temporal de observaciones meteorológicas existen varias fuentes potenciales de errores y/o problemas tales como: 1) ausencia sistemática de datos, 2) datos observados/registrados incorrectamente, 3) errores de transcripción durante la digitalización, etc.

Algunas prácticas siguen un patrón, como la ausencia de datos en fines de semana o feriados (*Nicholls, 1996; Revfeim, 1990*), que influyen en gran medida en el cálculo de los valores acumulados y extremos, usualmente forzando al investigador a reformular su tratamiento.

Algunos errores pueden ocurrir en el proceso de registro, manipulación, formateo, transmisión y archivo de datos y metadatos. El conocimiento de los procedimientos aplicados permitiría la evaluación de la validez de las observaciones y la mejora en la calidad de la información (*WMO, 2011*).

La calidad de los datos puede influir en el resultado de cualquier análisis cuando los valores atípicos se consideran incorrectamente como un evento extremo genuino (*Rusticucci and Tencer, 2008*). Por ejemplo, algunos registros de eventos extremos de precipitación ocurren porque la precipitación se registra después de varios días de acumulación. En algunas estaciones los observadores no toman medidas durante los fines de semana, lo que podría generar valores extremos de precipitación para los lunes. Para corregir este problema, los metadatos son extremadamente importantes (*Nicholls, 1996*).

En general, mantener la homogeneidad durante un período prolongado es más importante para el caso de eventos extremos que para el caso de los valores medios (como las normales climáticas) porque los errores de datos afectan a los valores

3.1. QUALITY CONTROL (QC)

Meteorological observations are influenced by different observation and measurement practices, for instance by changes in the location or the general guidelines of the station (*Aguilar, 2003*). Therefore, an analysis of extreme weather and climate events requires reliable meteorological observations.

There are several potential sources of errors and/or problems in a time series of meteorological observations such as: 1) systematic absence of data, 2) data observed/registered incorrectly, 3) transcription errors during the digitalization, etc.

Some practices follow a pattern, such as the absence of data on weekends or holidays (*Nicholls, 1996; Revfeim, 1990*), which greatly influence the calculation of accumulated values and extremes, usually forcing the researcher to reformulate their treatment.

Some errors can occur in the process of recording, manipulating, formatting, transmitting and archiving the data and metadata. The knowledge of the procedures applied would allow the evaluation of the validity of the observations and the improvement in the quality of the information (*WMO, 2011*).

The quality of data can influence the result of any analysis when inaccurate outliers are incorrectly considered as a genuine extreme events (*Rusticucci and Tencer, 2008*). For instance, some records of extreme precipitation events occur because precipitation is recorded after several days of accumulation. Some manned stations do not take measurements during the weekends which could result in extreme values of precipitation for Mondays. For correcting this problem metadata are extremely important (*Nicholls, 1996*).

In general, keeping homogeneity for a long period is more important for the case of extreme events than for the case of mean values (like climate normals) because data errors affect outliers more strongly than mean or median values. For this reason it would



atípicos más fuertemente que a la media o la mediana. Por esta razón, sería mejor usar más de una variable o una observación para verificar la existencia de un evento extremo (Nicholls, 1996).

Los datos meteorológicos diarios utilizados en este atlas se obtuvieron principalmente de los Servicios Meteorológicos Nacionales (SENAMHI) de Bolivia y Perú. Ambos SENAMHIs aplican procedimientos de control de calidad específicos sobre los datos antes de divulgarlos al público. Sin embargo, además del procedimiento de QC interno aplicado en cada servicio, se aplicaron las siguientes prácticas a los datos para la producción de este atlas:

- Control de calidad utilizando software especializado como RClimDex proporcionado por el Equipo conjunto de expertos CCI/CLIVAR/JCOMM sobre detección e índices de cambio climático (ETCCDI).
- Verificación de registros escritos, enfocados en valores atípicos detectados previamente.
- Verificación visual de gráficas para encontrar truncamientos de la serie de precipitación, pequeños huecos en los datos de precipitación, intervalos de temperatura faltantes y otras inhomogeneidades (para más detalles, véase Hunziker et al., 2017).
- Verificación de la coherencia espacial de la ocurrencia de eventos y anomalías con todas las estaciones vecinas disponibles (incluyendo series de tiempo cortas y estaciones fuera del dominio

be better to use more than one variable or one observation to verify the existence of an extreme event (Nicholls, 1996).

Meteorological daily data used in this atlas were obtained mostly from the National Weather Services (SENAMHIs) from Bolivia and Peru. Both SENAMHIs apply specific quality control procedures on the data before releasing them to the public. Nevertheless, besides the internal QC procedure applied in each service, the following practices were applied to the data for the production of this atlas:

- Quality control using specialized software such as RClimDex provided by the Joint CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).
- Verification of written records, focused on previously detected outliers.
- Visual verification of plots in order to find truncation of precipitation, small precipitation gaps, missing temperature intervals and other inhomogeneities (for more details, see Hunziker et al., 2017).
- Verification of spatial consistency of event occurrence and anomalies with all available neighboring stations (including short time series and stations outside of the domain defined for the atlas), focusing on extreme events (figure F-3).
- Comparison of break points with metadata, when available, in order to identify the source of the problem and help in the decision to keep or discard a suspicious segment.

P-13 Archivo de planillas, SENAMHI Bolivia, central La Paz.

Book storage in SENAMHI Bolivia.



MR

definido para el atlas), centrándose en eventos extremos (figura F-3).

- Comparación de los puntos de inflexión con los metadatos, en tanto estén disponibles, para identificar el origen del problema y ayudar en la decisión de mantener o descartar un segmento de datos sospechoso.
- Procedimientos personalizados adaptados, como la coherencia con las estaciones vecinas.

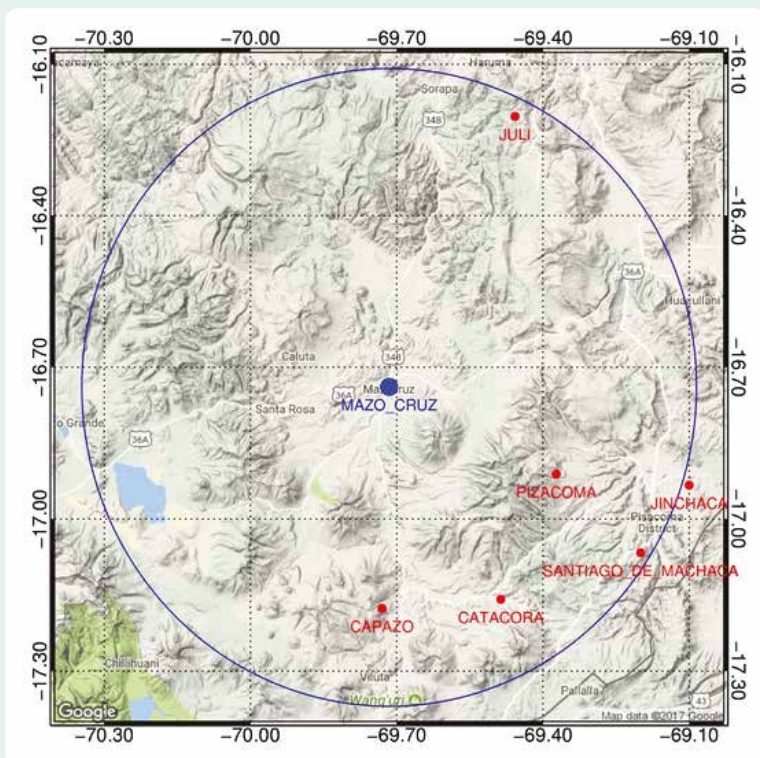
En nuestro caso, los errores se corrigieron cuando fue posible, pero en el caso de errores no corregibles o inhomogeneidades inexplicables, los segmentos defectuosos se eliminaron o se usaron solo para algunos cálculos específicos de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Debido a que la mayoría de nuestras series de tiempo tienen vacíos por la falta de datos o problemas de control de calidad, sólo fueron utilizadas series de la base de datos de DECADE que contienen al menos 21 años equivalentes (70% de completitud para los 30 años del período de estudio) para climatología o 24 años equivalentes (80% de completitud) para eventos extremos. La lista de estaciones empleadas para producir este atlas se presenta en la tabla T-1 y en el mapa M-1. Un resumen se puede encontrar en la tabla T-5.

- Custom adapted procedures such as consistency with neighboring stations.

In our case, errors were corrected when possible, but in the case of uncorrectable errors or unexplained inhomogeneities, bad segments were either removed or used only for some specific calculations of extreme weather and climate events. Because most of our time series have gaps due to lack of data or QC issues, only series from the DECADE database containing at least a 21-year equivalent (70% of completeness for the 30-year study period) for climatology or 24-year equivalent (80% of completeness) for extreme events were used. The list of stations employed for producing this atlas is presented in table T-1 and in map M-1. A summary can be found on table T-5.

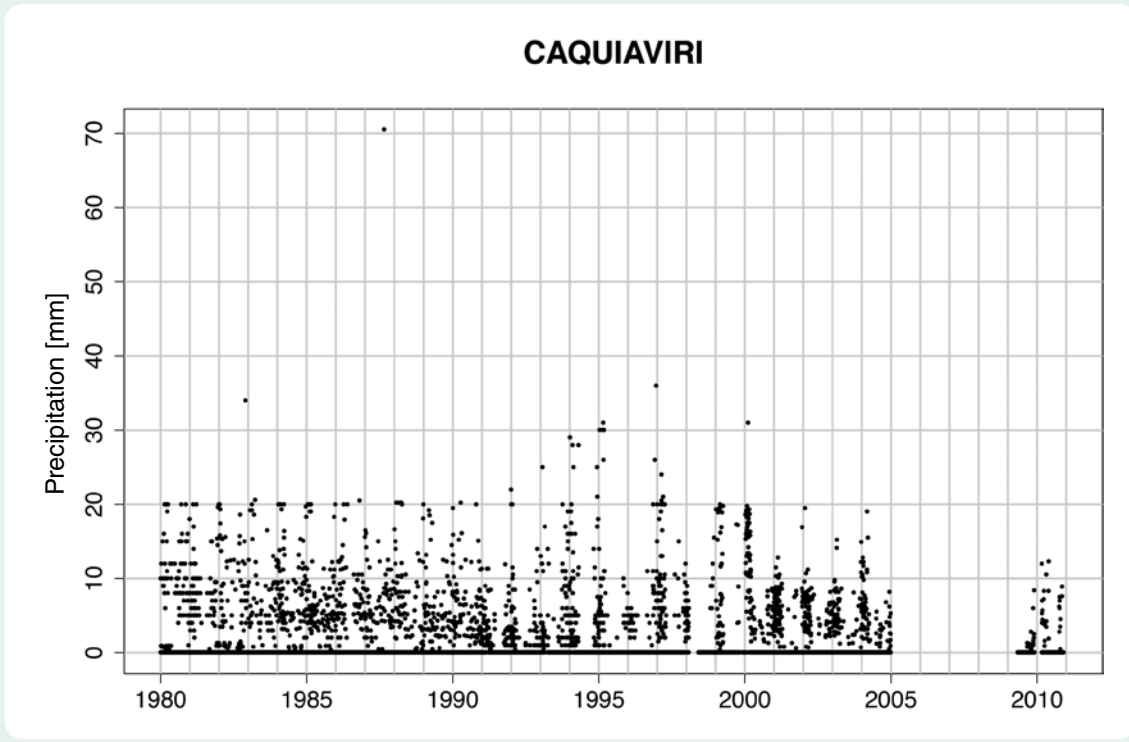
3.1.1. QC specificities for climate normals

Truncated precipitation series (figure F-4) were completely excluded from the calculation of climatological total precipitation, but still used for quantifying the number of days with and without precipitation. Minimum temperature data are prone to bad thermometer readings



F-3 Para verificar la consistencia espacial de eventos, se compararon los datos de estaciones vecinas. En el ejemplo, Mazo Cruz y sus vecinos.

In order to verify the spatial consistency of events, data from neighboring stations were compared. In the example, *Mazo Cruz* and neighboring stations.



F-4 Los datos fueron verificados durante el control de calidad. En el ejemplo, la estación presenta truncamiento correspondiente a valores de 20 mm.
 Data were verified during the quality control processes. In the example, the station presents truncation corresponding to values of precipitation of 20 mm.

3.1.1. Especificidades del QC para las normales de clima

Las series de precipitación truncada (figura F-4) fueron completamente excluidas del cálculo de la precipitación climatológica total, pero se utilizaron para cuantificar el número de días con y sin precipitación. Los datos de temperatura mínima son propensos a malas lecturas del termómetro debido a una mala interpretación del signo negativo. Por tanto, los segmentos sospechosos por una mala lectura de signo se excluyeron de los cálculos. Las series de tiempo de temperatura máxima fueron en general mejores, pero algunos segmentos con datos sospechosos o malos también fueron eliminados.

Los valores mensuales de precipitación y temperatura se calcularon sólo si faltaban menos de 3 valores consecutivos o 5 valores no consecutivos en un mes. Aunque la OMM (WMO, 1989) recomienda la regla de 3/5 para la temperatura y no para la precipitación, pruebas internas muestran diferencias aceptables entre los valores medios mensuales usando el

due to misinterpretation of the minus sign; therefore, suspicious segments of bad sign reading were excluded from the calculations. Time series of maximum temperature were in general better but segments with suspicious or bad data were also removed in some cases.

Monthly values of precipitation and temperature were then calculated only if less than 3 consecutive or 5 scattered values were missing in a month. Although the WMO (1989) recommends the 3/5 rule for temperature and not for precipitation, internal sensitivity tests show an acceptable difference between monthly mean values using the complete dataset for a given month and monthly mean values using a relaxed criterion like the 3/5 rule. In addition, with this criterion, data from the airports, where observations are usually not taken during weekends, can be used for our analysis. Months not complying with these criteria were excluded.

conjunto completo de datos para un mes determinado y valores medios mensuales usando un criterio tolerante como la regla 3/5. Además, con este criterio, los datos de los aeropuertos, donde las observaciones usualmente no se recaban durante los fines de semana, pueden ser utilizados para nuestro análisis. Los meses que no cumplen con estos criterios fueron excluidos.

3.1.2. Especificidades del QC para índices basados en el recuento de eventos y eventos extremos

Se incluyeron series de tiempo de precipitación que presentaban truncamientos (figura F-4) para el cálculo de índices basados en la ocurrencia de precipitación (tabla T-7, NRD*, CRD*, CDD* e índices relacionados) pero no en aquellos basados en umbrales (percentiles) de precipitación extrema (tabla T-7, R95p* y otros relacionados).

3.1.2. QC specificities for indices based on the count of events and extreme events

Time series of precipitation presenting truncation (figure F-4) were included for the calculation of indices based on the occurrence of precipitation (table T-7, NRD*, CRD*, CDD* and related indices) but not on those based on percentile thresholds of extreme precipitation (table T-7, R95p* and related).

Minimum temperature with bad minus sign problems were corrected when possible, and then included in the calculation of indices based on the 10th-percentile of TN (table T-7, FD*, TN10p*, CTN10p* and other derived indices). Some series that had irresolvable problems with the lower values of TN were still useful for calculations based on the 90th-percentile of TN (table T-7, TN90p*, CTN90p* and other derived indices).

T-5 Número de estaciones disponibles y válidas
Number of available and valid stations

	Compleitud Completeness %	PCP	TN	TX
Todas las estaciones de la región All stations in the region	Variable	126	70	70
Estaciones seleccionadas para normales climáticas Stations selected for climate normals	≥ 70 %	42	25	26
Estaciones seleccionadas para eventos extremos Stations selected for extreme events	≥ 80 %	48	25	24

La temperatura mínima con problemas de signo negativo incorrecto se corrigió cuando fue posible, y luego se incluyó en el cálculo de índices basados en el percentil 10 de TN (tabla T-7, FD*, TN10p*, CTN10p* y otros índices derivados). Algunas series que tenían problemas irresolubles con los valores más bajos de TN todavía eran útiles para los cálculos basados en el percentil 90 de TN (tabla T-7, TN90p*, CTN90p* y otros índices derivados).

Time series of maximum temperature were in general not influenced by bad sign readings but sometimes they were excluded due to inhomogeneity in the series. In this region, indices based on the 10th-percentile of TX (table T-7, TX10p*, CTX10p* and other derived indices) presented more outliers than the indices based on the 90th-percentile of TX (table T-7, TX90p*, CTX90p* and derived indices). As explained before, the outliers were thoroughly verified on meteorological data books.



En general, las series de tiempo de la temperatura máxima no fueron influenciadas por la mala lectura de los signos, pero a veces fueron excluidas debido a la falta de homogeneidad en la serie. En esta región, los índices basados en el percentil 10 de TX (tabla T-7, TX10p*, CTX10p* y otros índices derivados) presentaron más valores atípicos que los índices basados en el percentil 90 de TX (tabla T-7, TX90p*, CTX90p* e índices derivados). Como se explicó anteriormente, los valores atípicos se verificaron minuciosamente en los libros de registros meteorológicos.

Extremos atípicos, definidos para este atlas como los valores asociados a los percentiles 10 y 90 en el caso de la temperatura y al percentil 95 para la precipitación, fueron verificados contrastándolos cuidadosamente con los libros de registros. En general las notas del observador validaban (o descartaban) la importancia del evento.

Para la temperatura, las temporadas (trimestres) fueron excluidas si faltaban más de 11 valores consecutivos o 15 dispersos de las observaciones de la estación dada. Para la precipitación ninguna temporada fue excluida sobre la base anual. De hecho, el único requerimiento fue tener 80% de completitud de toda la serie temporal.

Después de calcular los índices, se realizó un control visual en la serie temporal de los eventos extremos y algunas series se descartaron debido a inhomogeneidades detectables solo mediante el cálculo de los índices de eventos extremos.

3.2. NORMALES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

Para describir el clima de una localidad, las mediciones diarias se promedian mensualmente, estacionalmente, anualmente, etc. durante un período prolongado de tiempo. Estos promedios se conocen como normales climáticas. Los mismos tienen dos propósitos principales: 1) sirven como un punto de referencia para el análisis climático al definir la línea base (y sus correspondientes anomalías) utilizada por la comunidad científica para fines de comparación, o 2) se usan para predecir una condición que probablemente se

Extreme outliers, defined for this atlas as the threshold values associated to the 10th and 90th-percentiles for temperature and to the 95th-percentile for precipitation, were thoroughly verified against meteorological data books. Usually the observer's notes would validate (or not) the importance of the event.

For temperature, seasons (trimesters) were excluded if more than 11 consecutive or 15 scattered values were missing from the observations of a given station. In fact, the only requirement was to have 80% of the whole time series.

After calculating the indices, a visual control was performed on the time series of the extreme events and some series were discarded due to inhomogeneities detectable only by the calculation of extreme event indices.

3.2. CLIMATE NORMALS OF PRECIPITATION AND TEMPERATURE

In order to describe the climate of a location, daily measurements are averaged on a monthly, seasonally, yearly, etc. basis over a prolonged period of time. These mean values are known as climate normals. They have two main purposes: 1) to serve as a benchmark for climate analysis by defining the baseline (and their corresponding anomalies) used for comparison by the scientific community, or 2) to be used to predict a condition likely to be experienced at a given location (*Arguez and Vose, 2011; Zhang et al., 2011; WMO, 2007*).

In this sense, a *climate normal* is typically defined as the mean value of a selected variable for a chosen 30-year period (*WMO, 1989*), in our case, 1981-2010. We have computed climate normals for each month of the year as well as for each season for temperature, and on a monthly basis and extended seasons for precipitation.

The *WMO (2011)* recommends the following characteristics for the time series used for computing the climate normal:

- The time period should be 30 years.
- The completeness of the series should be at least 80 percent.
- The time series should be homogeneous.

T-6 Definición de periodos de observación
Definition of observation periods

Variable	Nombre Name	Período Period	Nombre alternativo Alternative name
PCP	Temporada húmeda extendida Extended wet season	De noviembre a abril de dos años consecutivos (NDJFMA). From November to April of two consecutive years (NDJFMA).	Verano extendido Extended summer
	Temporada seca extendida Extended dry season	De mayo a octubre del mismo año (MJJASO) From May to October of the same year (MJJASO).	Invierno extendido Extended winter
	Mensual / Monthly		
TN / TX	Temporada húmeda Wet season	Diciembre, enero y febrero December, January, and February	Verano Summer
	Temporada seca Dry season	Junio, julio y agosto June, July, and August	Invierno Winter
	Temporada de transición húmeda a seca Wet to dry transition season	Marzo, abril y mayo March, April and May	Otoño Fall
	Temporada de transición seca a húmeda Dry to wet transition season	Septiembre, octubre y noviembre September, October and November	Primavera Spring
	Mensual / Monthly		

experimente en una ubicación determinada (Arguez y Vose, 2011; Zhang et al., 2011; WMO, 2007).

En este sentido, una *normal climática* se define típicamente como el valor medio de una variable seleccionada para un período elegido de 30 años (WMO, 1989), en nuestro caso, 1981-2010. En este atlas se calcularon normales climáticas para cada mes del año, así como también para cada temporada en el caso de la temperatura y mensualmente y para las temporadas extendidas en el caso de la precipitación.

La OMM (WMO, 2011) recomienda las siguientes características para las series de tiempo utilizadas para calcular el clima normal:

- El período debe ser de 30 años.
- La completitud de la serie debe ser de al menos 80 por ciento.
- La serie de tiempo debe ser homogénea.

En nuestro caso, utilizamos el período 1981-2010 (30 años) y relajamos un poco el requisito de completitud al 70% debido a la escasez de estaciones con un registro

In our case we have used the 1981-2010 period (30 years) and lowered the completeness requirement to 70% because of the scarcity of stations with a long record and as a result of the QC procedures. Using the WMO recommendation would have left us with only a few stations for computing climate normals. In any case, we have used the 80% criterion for computing mean values, thresholds and other statistical parameters of our climate indices. See table T-6 for details about the periods and seasons used in this atlas for precipitation and temperature.

The Altiplano climate has two well-defined seasons: the dry season (austral winter) and the wet season (austral summer), with two corresponding transition seasons. In order to better represent the climatology of precipitation, the maps produced are for the extended wet and dry seasons, the former spanning from November to April and the latter from May to October. These two periods encompass on average 85% and 15% of the precipitation in the region



prolongado y también como resultado de los procedimientos de control de calidad. El uso de la recomendación de la OMM nos hubiera dejado con pocas estaciones para calcular las normales climáticas de temperatura. En todo caso, se usó el criterio del 80% para calcular valores medios, umbrales y otros parámetros estadísticos de nuestros índices climáticos. Véase la tabla T-6 para obtener detalles sobre los períodos y las estaciones utilizados en este atlas para la precipitación y la temperatura.

El clima del Altiplano tiene dos estaciones bien definidas: la temporada seca (invierno austral) y la temporada húmeda (verano austral), con dos temporadas de transición entre ellas. Para representar mejor la climatología de la precipitación, los mapas producidos son para las temporadas húmedas y secas extendidas, la primera abarca desde noviembre hasta abril y la última desde mayo hasta octubre. Estos dos períodos abarcan, en promedio, el 85% y el 15% de las precipitaciones en la región respectivamente, lo que las hace representativas de los regímenes húmedo y seco. Los valores estacionales y anuales se calcularon a partir de los valores mensuales.

Para la temperatura, ya que las transiciones entre temporadas no son abruptas, los cálculos se realizan para cuatro estaciones, a saber, húmeda (diciembre, enero y febrero), transición de húmeda a seca (marzo, abril y mayo), seca (junio, julio y agosto) y transición de seca a húmeda (septiembre, octubre y noviembre).

El rango de temperatura diurna se calcula a partir de la diferencia entre las temperatura máxima y mínima diarias.

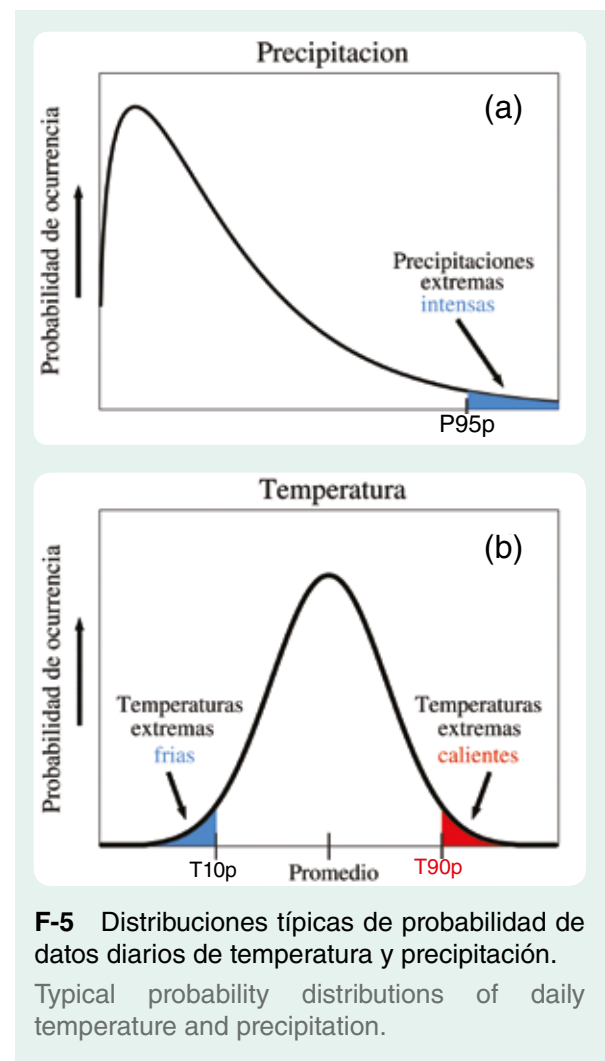
3.3. CLIMATOLOGÍA DE ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS

Los valores promedio en el período de 30 años definido para las normales climáticas proporcionan una descripción incompleta del clima. Varios análisis y aplicaciones requieren información sobre otros parámetros estadísticos basados en la distribución de frecuencias y el comportamiento estadístico. Por ejemplo, el valor de los umbrales (percentiles) y/o el conteo de valores por encima o por debajo de un umbral específico son descriptores

respectively, making them representative of the wet and dry regimes. Seasonal and annual values were calculated from the monthly values.

For temperature, as season transitions are not abrupt, calculations are made for four seasons, namely, wet (December, January, and February), wet-to-dry transition (March, April and May), dry (June, July, and August) and dry-to-wet transition (September, October and November).

Diurnal temperature range is calculated from the difference between daily maximum and minimum temperatures.



F-5 Distribuciones típicas de probabilidad de datos diarios de temperatura y precipitación. Typical probability distributions of daily temperature and precipitation.

3.3. CLIMATOLOGY OF INDICES OF EXTREME EVENTS

The average values in the 30-year period defined for climate normals provide an incomplete description of climate. Several analyses and applications require information about other statistical parameters based on frequency distribution

útiles del clima. En este sentido, la variabilidad de los eventos climáticos es extremadamente importante debido a sus efectos sobre las actividades humanas. Los eventos meteorológicos o climáticos con valores estadísticos atípicos a menudo provocan desastres y daños. Típicamente, estos eventos se encuentran dentro de las colas de las distribuciones estadísticas que describe el comportamiento de las condiciones meteorológicas. La figura F-5 muestra un esquema de los eventos extremos que siguen esta definición para temperatura y precipitación.

Los impactos de los eventos extremos dependen de la magnitud del evento y de su duración. Cuanto más tiempo prevalezca, más dañino es. Por ejemplo, los eventos extremos de precipitación, incluso los cortos, pueden producir inundaciones, deslizamientos de tierra y otros eventos que ponen en riesgo la vida. Estos son típicamente *eventos extremos de tiempo*. Las sequías, por otro lado, son eventos de larga duración y se clasifican como *eventos climáticos extremos*.

En nuestro caso, reportamos sobre la "climatología de eventos extremos" porque no contamos con series de tiempo completas para analizar la variabilidad y las tendencias de los eventos extremos, como lo hacen a menudo la mayoría de los investigadores. Climatología aquí significa valores promedio de eventos extremos que ocurren cada año cuando los datos están disponibles.

Las series de tiempo diarias se usan para calcular eventos extremos. Definimos un evento extremo cuando el valor de una variable excede un umbral (figura F-5). El valor de este umbral generalmente se basa en un percentil definido de la distribución (teórica o empírica) de la variable explorada, por ejemplo, el percentil 95. En este atlas usamos umbrales de percentiles para casi todos los índices. Los únicos dos umbrales físicamente absolutos para este atlas son: 0°C, que define los días de helada, y la precipitación por encima de 0 mm, que define los eventos con precipitación (véase *Tank y Können, 2003*).

La mayoría de los índices utilizados aquí se basan o derivan de las sugerencias del

and statistical behavior. For instance, the value of thresholds (percentiles) and/or the counting of values above or below a specific threshold are useful descriptors of climate. In this sense, the variability of weather events is extremely important due to its effects on human activities. Meteorological or climate events classified as statistical outliers often bring disasters and damage. Typically, these events lie within the tails of a statistical distribution that describe the behavior of meteorological conditions. Figure F-5 shows a schematic of extreme events following this definition for temperature and precipitation.

Impacts of extreme events depend on the severity of the event as well as its duration. The longer it prevails the more damaging it is. For instance, events with extreme precipitation, even short ones, are able to produce flooding, landslides, and other life threatening events. These are classified typically as *extreme weather events*. Droughts, on the other hand, are typically long lasting events and are classified as *extreme climate events*.

In our case we report the "climatology of extreme events" because we do not have complete time series for analyzing variability and trends of extreme events as most researchers often do. Climatology here means average values of extreme events occurring every year when data are available.

Daily time series are used to calculate extreme events. We define an extreme event when the value of a variable exceeds a threshold (figure F-5). The value of this threshold is usually based on a defined percentile of the distribution (theoretical or empirical) of the explored variable, for instance 95th-percentile. In this atlas we use percentile thresholds for almost all indices. The only two physically absolute thresholds for this atlas are: 0°C, defining frost days, and precipitation above 0 mm, defining events with precipitation (see *Tank and Können, 2003*).

Most of the indices used here are based on or derived from the suggestions of the Joint CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (*ETCCDI, n.d.; WMO, 2009*), i.e. CRD-95p



Equipo conjunto de CCI/CLIVAR/JCOMM sobre Detección e Índices de Cambio Climático (*ETCCDI, n.d.; WMO, 2009*), por ejemplo CRD-95p para la precipitación. Otros fueron definidos exclusivamente para este atlas.

Solo se usaron series de tiempo con al menos 24 de 30 períodos (sean estos semestres, trimestres o meses). Las estaciones de precipitación tenían en promedio 28 años de datos y estaciones de temperatura 29 años de datos. La cantidad de estaciones disponibles, así como la cantidad de estaciones que superaron los criterios de completitud y QC se muestran en tabla T-5. Las estaciones utilizadas para las normales climáticas no son necesariamente las mismas que las utilizadas para los eventos climáticos.

3.3.1. Precipitación

Los días con mucha precipitación son aquellos que exceden el percentil 95 de la distribución de precipitación (excluyendo los eventos con cero mm) para cada temporada extendida¹ (por estación). Con todos estos eventos, se define estadísticamente un promedio estacional del número de días consecutivos con y sin precipitación (tabla T-7). Finalmente, la duración de los períodos prolongados secos o húmedos se define para la región en función de la cola de la distribución de los días secos/húmedos consecutivos.

3.3.2. Temperaturas

La temperatura máxima generalmente ocurre entre las 17h y las 22h UTC y es representativa de las temperaturas diurnas, mientras que la temperatura mínima generalmente se produce antes del amanecer y es representativa de las temperaturas nocturnas. Por lo tanto, caracterizamos extremos cálidos diurnos con TX y extremos fríos nocturnos con TN.

Tanto para las temperaturas mínimas como máximas, los umbrales percentil 10 y 90 definen, respectivamente, las colas

for precipitation. Some others were defined exclusively for this atlas.

Only time series having at least 24 periods (semester, trimester or month) out of 30 were used. Precipitation stations had on average 28 years of data and temperature stations 29 years of data. The number of available stations as well as the number of stations that passed the completeness and QC criteria is shown in table T-5. The stations used for climate normals are not necessarily the same as the ones used for climate events.

3.3.1. Precipitation

Very wet days are those that exceed the 95th-percentile of the distribution of precipitation (excluding events with zero mm) for each extended season¹ (per station). With all these events a seasonal average of the number of consecutive dry or wet days is statistically defined (table T-7). Finally, the duration of extended dry or wet periods are defined for the region based on the tail of the distribution of consecutive dry/wet days.

3.3.2. Temperatures

Maximum temperature typically occurs between 17h and 22h UTC and it is representative of daytime temperatures, whereas the minimum temperature usually occurs before sunrise and it is representative of nighttime temperatures. Therefore, we characterize daytime warm extremes with TX and nighttime cold extremes with TN.

For both minimum and maximum temperatures, the 10th and 90th-percentile-threshold respectively define the colder and warmer tails of the distribution of either TN or TX². Events below/above these thresholds typically occur at least once in an annual scale. With all the events defined by these thresholds, a seasonal average of the counts of consecutive cold or warm days/nights is

¹ La primera temporada húmeda extendida toma en cuenta noviembre y diciembre de 1980, mientras que noviembre y diciembre de 2010 no fueron usados para estos cálculos.

¹ The first wet extended season comprises November and December of 1980. On the other hand, November and December of 2010 were not used for these calculations.

² These thresholds, called TN10p, TN90p, TX10p and TX90p, are expressed in degrees Celsius.

más frías y cálidas de la distribución de TN o TX². Los eventos por debajo/encima de estos umbrales típicamente ocurren al menos una vez en una escala anual. Con todos los eventos definidos por estos umbrales, se define un promedio estacional de los recuentos de días/noches fríos o cálidos consecutivos. Finalmente, se define la duración de los períodos prolongados de frío o calor para los sitios de observación basados en la cola de las distribuciones de días/noches fríos o cálidos consecutivos.

3.3.3. Cálculo de índices contando el número de ocurrencias consecutivas de un evento dado

Para la definición del promedio de días consecutivos con y sin precipitación, días cálidos o fríos consecutivos y noches cálidas o frías, seguimos la metodología que se describe a continuación.

Cada índice se calcula a partir de la distribución de frecuencias de la cantidad total de eventos detectables en toda la serie de tiempo, y no para un solo evento por año como generalmente se hace (*ETCCDI/CRD, n.d.; WMO, 2009*). En este sentido, los valores utilizados para calcular estos índices se definen contando el número de ocurrencias consecutivas y generando su distribución de frecuencias. Los valores promedio de estos eventos son calculados y posteriormente solo se seleccionan casos por encima o por debajo de un umbral dado (por ejemplo, el percentil 95) de esta distribución de frecuencias. Se reportan los valores medios de estos subconjuntos o cantidades relacionadas (figura F-6). Este método tiene la ventaja de aumentar la población de muestreo, especialmente para series de tiempo con baja completitud.

3.4. CARTOGRAFÍA

El modelo de elevación digital (DEM) y los respectivos valores de altitud se obtuvieron de SRTM que actualmente es distribuido por la USGS. Este es un producto de topografía obtenido por técnicas interferométricas originalmente producido por NASA (la interfaz para bajar mosaicos de 5° se halla

estadísticamente definida. Finalmente, la duración de períodos extendidos de frío o calor es definida para todos los sitios de observación basados en la cola de las distribuciones para días/noches consecutivos de frío o calor.

3.3.3. Calculation of indices by counting the number of consecutive occurrences of a given event

For the definition of the mean number of consecutive days with or without precipitation or consecutive warm or cold days and warm or cold nights we followed the methodology described below.

Each index is calculated from the frequency distribution of the total number of events detectable on the entire time series, and not for one single event per year as usually done (*ETCCDI/CRD, n.d.; WMO, 2009*). In this sense, the values used for computing these indices are defined by counting the number of consecutive occurrences and generating its frequency distribution. Mean values of these events are computed for the different indices and subsequently only cases above or below a given threshold (for instance, the 95th percentile) of this frequency distribution are selected. Mean values of these subsets or related quantities are reported (figure F-6). This method has the advantage of increasing the sampling population, especially for time series with low completeness.

3.4. CARTOGRAPHY

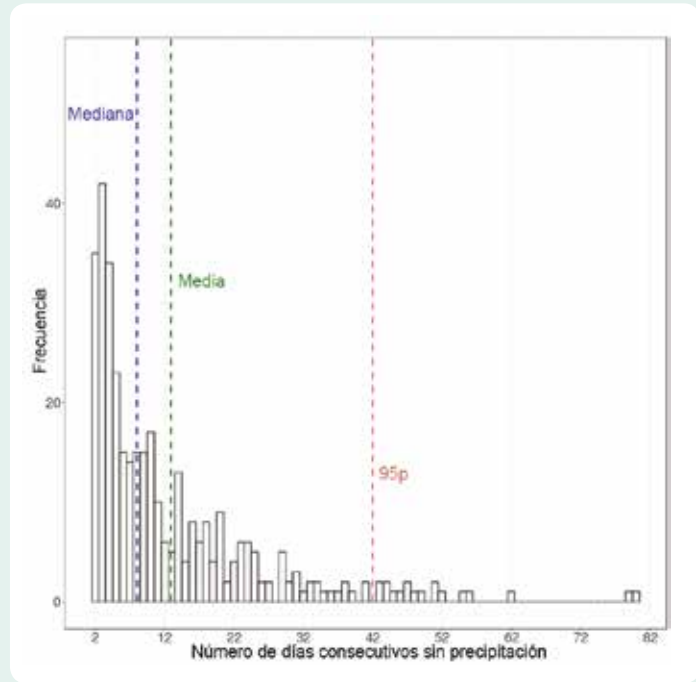
The digital elevation model (DEM) and respective altitude values were obtained from SRTM which are currently distributed by the USGS. It is a topography product obtained by interferometric techniques, originally produced by NASA (official interface for download, 5° mosaics at <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>). The version used is 4.1, which incorporates the interpolation methods described in *Reuter et al. (2007)* detailing the completion of the areas without information produced by very thick shadows and gaps (sump filling). This version is reprocessed and edited by the CGIAR-CSI (Consortium for Spatial

² Estos umbrales, llamados TN10p, TN90p, TX10p y TX90p, se expresan en grados Celsius.



F-6 Distribución de días secos consecutivos para la estación El Belén.

Distribution of consecutive dry days for *El Belén* weather station.



en <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>). La versión utilizada es 4.1, que incorpora los métodos de interpolación descritos en *Reuter et al. (2007)* que detalla la terminación de las áreas sin información producida por sombras muy gruesas y huecos (relleno de sumidero). Esta versión fue reprocesada y editada por el CGIAR-CSI (Consortio de Información Espacial, enlace: <http://www.cgiar-csi.org>).

SRTM v.4.1 es un producto innovador en el acceso a datos de elevación de alta calidad para todo el mundo. Está disponible en una cuadrícula de celda con una resolución de 3 segundos de arco (~90 metros) y tiene a WGS84 como *datum* horizontal. Para usar la elevación como covariable (véase la siguiente sección) fue necesario utilizar una resolución final de 1km obtenida de SRTM90 usada para el fondo de los mapas.

3.5. INTERPOLACIÓN ESPACIAL

En general, las estaciones terrestres están mal distribuidas espacialmente en nuestra región de estudio. En este contexto, necesitamos otra variable (covariable) para mejorar las interpolaciones de temperatura y precipitación. En este atlas se aplicó el método de interpolación de la distancia residual inversa (RIDW, por su sigla en inglés) para la temperatura y la precipitación utilizando como covariables a

Information, link: <http://www.cgiar-csi.org>).

Since SRTM v.4.1 is a breakthrough product in the accessibility of high quality elevation data for a large part of the tropics and other areas of the world, it is available in a latitude/longitude grid with a resolution of 3 seconds of arc, approximately 90 meters, having as Horizontal Datum WGS84. For elevation as a covariate (see next section) it was necessary to opt for a final resolution of 1 km obtained from SRTM90, while SRTM30 was used for the background of the maps.

3.5. SPATIAL INTERPOLATION

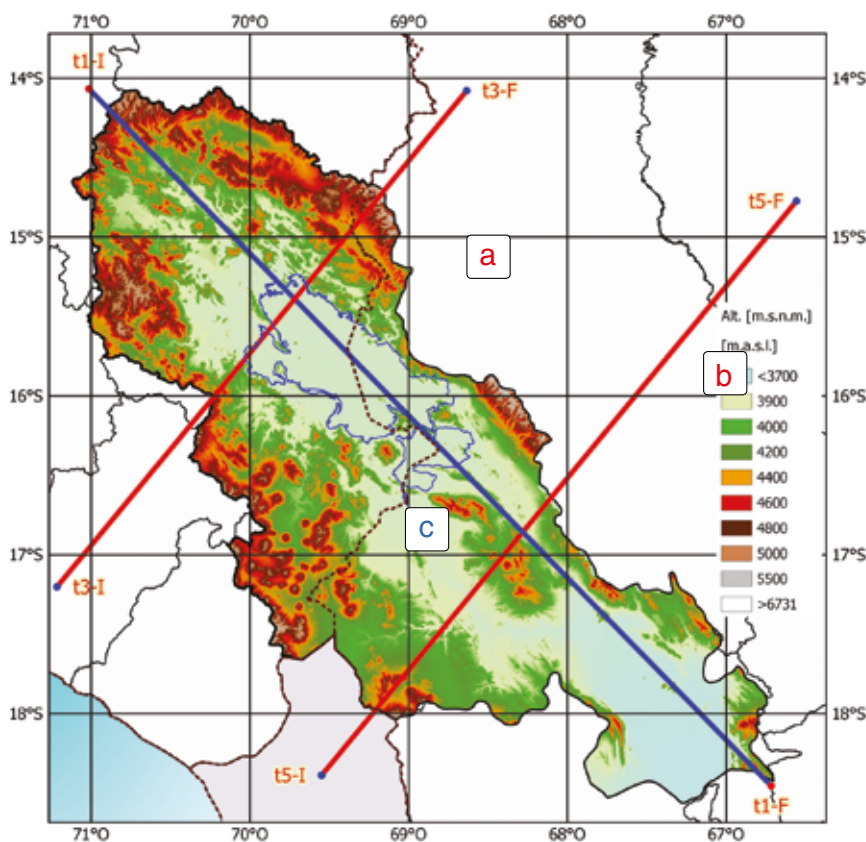
In general, ground-based stations are not homogeneously distributed in space. For this reason interpolation is sometimes needed to represent the spatial behavior of a given variable like temperature or precipitation. For this atlas the Residual Inverse Distance Weighting (RIDW) interpolation method was applied. For this purpose rain gauge as well as satellite data were used. Land Surface Temperature (LST) from the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) satellite instrument and rainfall data from CHIRP (Climate Hazards group InfraRed Precipitation) products (*Peterson et al., 2013*) were used as external predictors. In order to interpolate the

LST (temperatura de superficie terrestre) de MODIS y CHIRP respectivamente. Luego, los residuales, que son la diferencia entre los predictores externos y las observaciones de los pluviómetros, se calcularon para todas las estaciones disponibles. Estos valores fueron luego interpolados espacialmente utilizando el RIDW. Los parámetros óptimos asociados con este método se determinaron mediante la minimización del error cuadrático medio (RMSE, por su sigla en inglés) a través de la validación cruzada. Finalmente, los residuos interpolados se agregaron a los valores obtenidos de los predictores externos. Este método fue aplicado a los cálculos de las normales climáticas, pero no para los índices extremos debido a que el método requiere un predictor externo el cual no estaba disponible.

El mapa M-2 muestra la división política, el mapa M-3 la topografía y el curso de los principales ríos, mientras que la figura F-7 pone en evidencia la complejidad del terreno en la región de estudio.

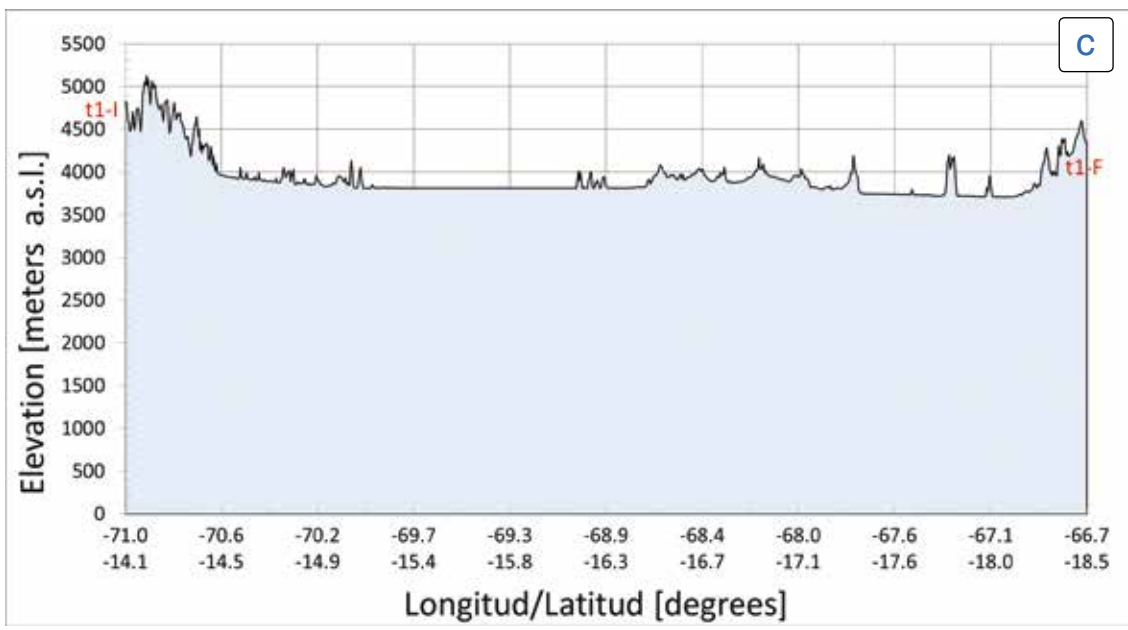
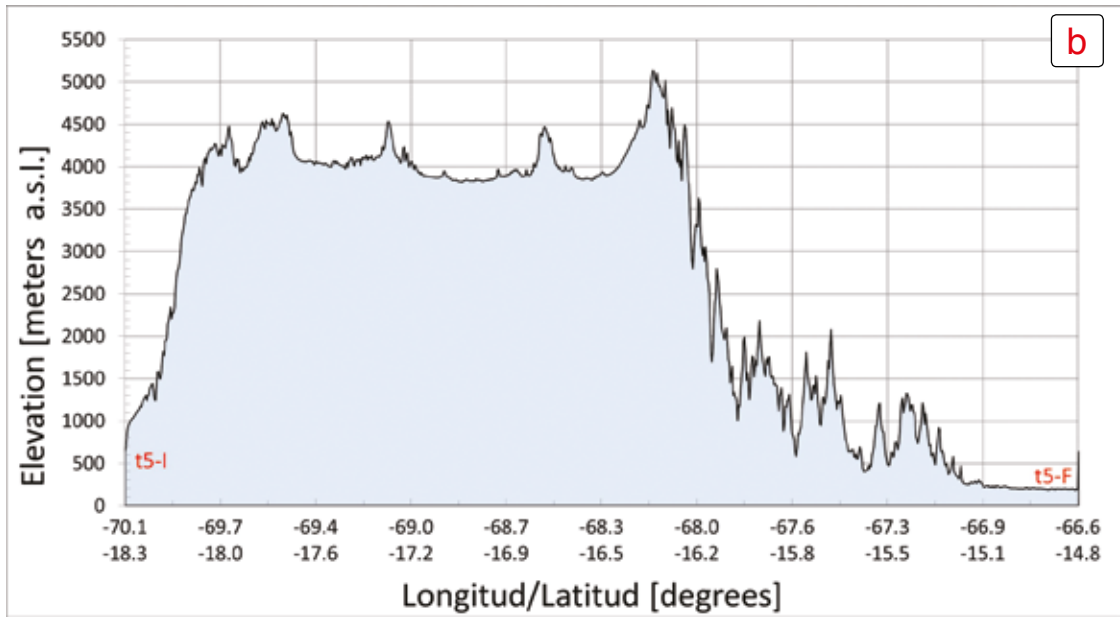
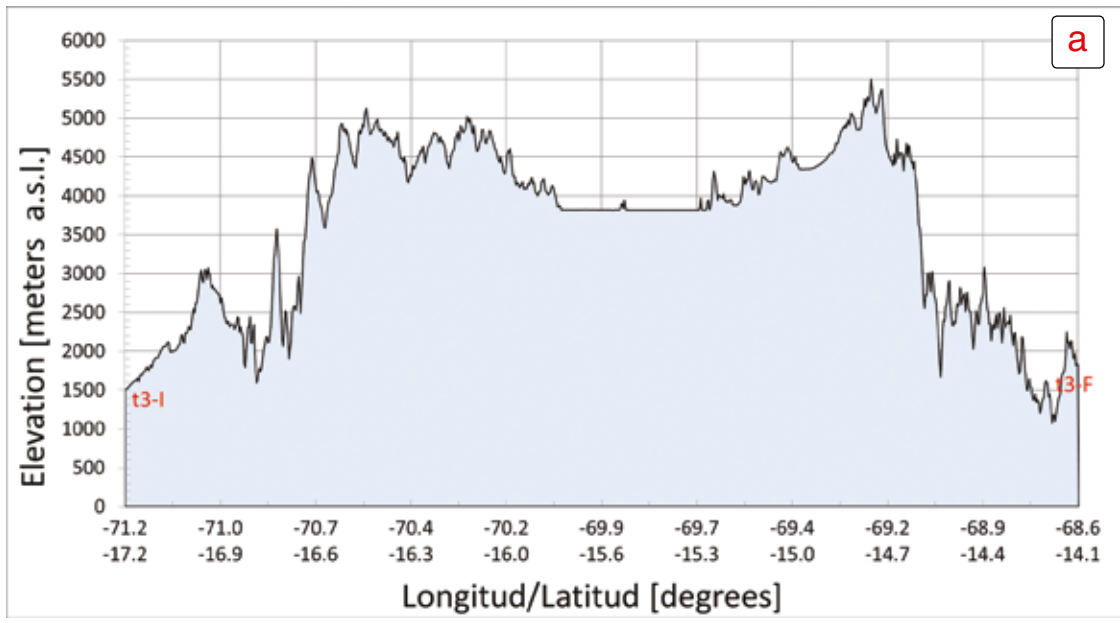
ground-based data, residuals, which are the difference between the external predictors and the rain gauge observations, were computed for all available stations. These values were later spatially interpolated using the Inverse Distance Weighting (IDW) method. The optimal parameters associated with this method were determined by minimizing the Root Mean Square Error (RMSE) through cross validation. Finally, the interpolated residuals were added to the values obtained from the external predictors. This method was applied to the calculation of climate normals, but not for extreme indices since the method requires a meaningful external descriptor that was not available.

Map M-2 shows the administrative division, map M-3 depicts the topography and drainage of the main rivers and figure F-7 displays the complexity of the terrain in the study area.



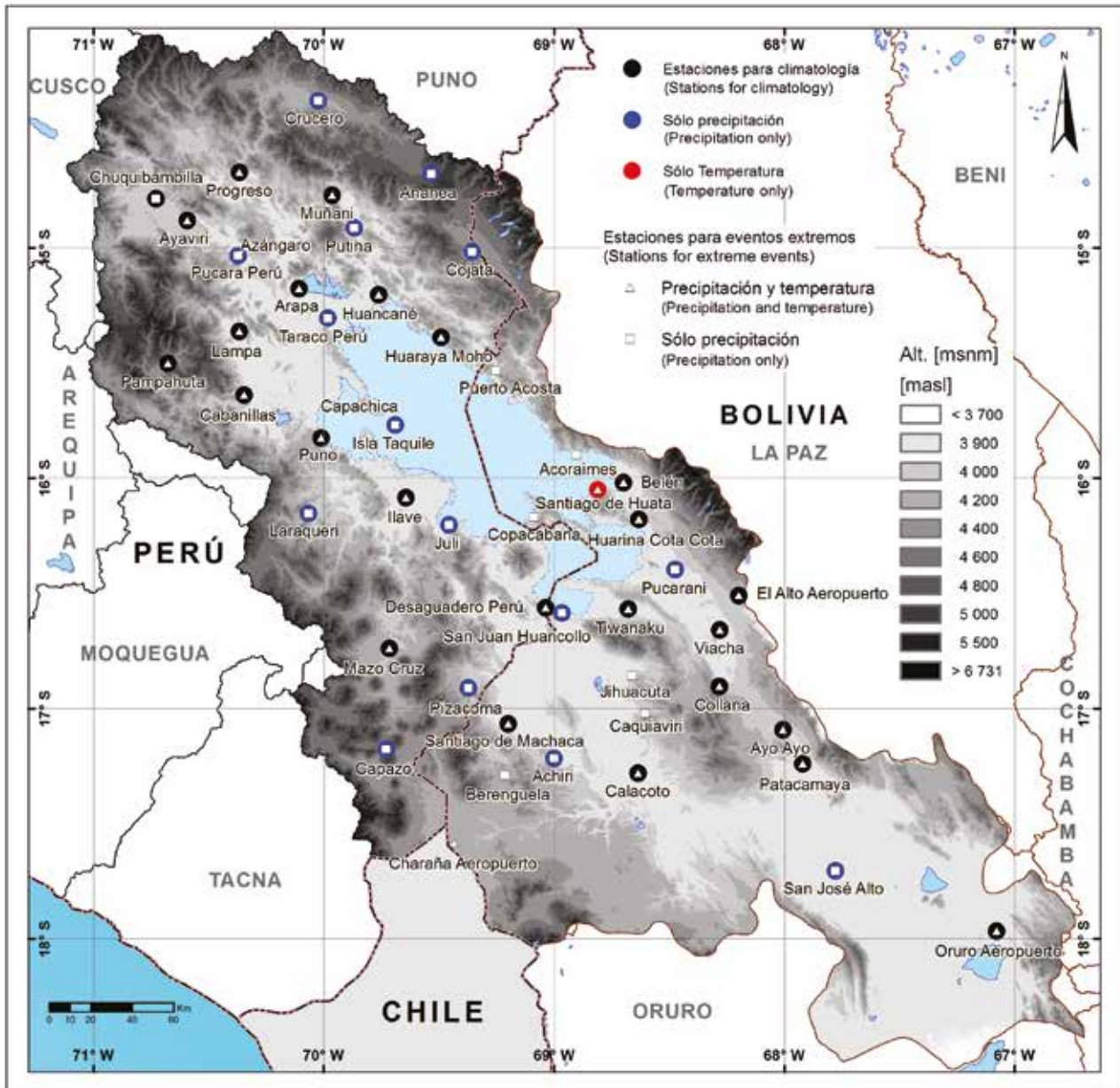
F-7 La compleja topografía de la región que rodea el Altiplano es representada en estas transectas.

The complex topography of the region surrounding the Altiplano is depicted in these transects.



Ubicación de las estaciones seleccionadas

Location for selected stations



M-1 Ubicación de las estaciones utilizadas para producir mapas e índices climáticos y eventos extremos de tiempo. Los límites internacionales están representados por líneas punteadas.

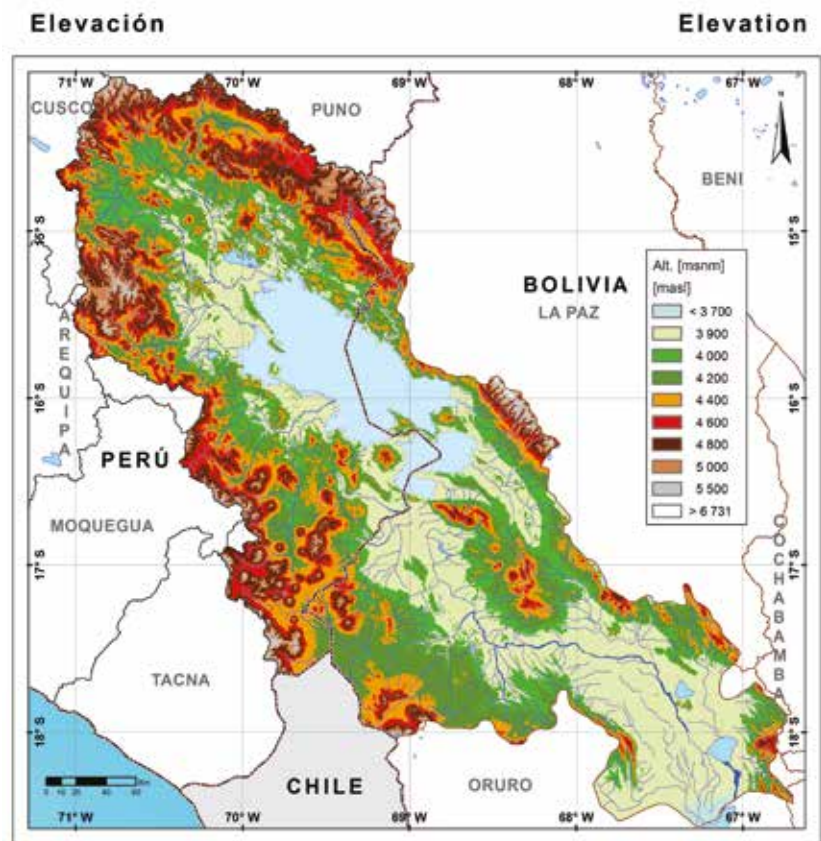
Location of stations used for producing maps and indices for both climate and weather extreme events. International boundaries are represented by dotted lines.



M-2 División política del área de estudio.
Administrative division of the study region.



M-3 Topografía y curso de los principales ríos del área de estudio.
Topography and drainage of the main rivers in the study region.



DECADE INDICES

T-7 Índices de eventos extremos Extreme events indices

Abreviación Abbreviation	Nombre Name	Unidad Unit	Definición Definition	Período al que se aplica Time period at which is applied
Precipitación / Precipitation				
NRD*	Días con precipitación. Wet days.	días days	Número promedio de días con precipitación (PCP> 0 mm). Average number of wet (PCP> 0 mm) days.	Temporada extendida y mensual. Extended season and monthly.
CRD*	Días consecutivos con precipitación. Consecutive wet days.	días days	Número promedio de días consecutivos con (sin) precipitación, PCP>0 mm (PCP=0mm), obtenido de la distribución empírica de frecuencias para días con precipitación (secos) consecutivos para el período de estudio. Mean number of consecutive wet (dry) days, PCP>0 mm (PCP=0mm), obtained from the empirical frequency distribution of consecutive wet (dry) days for the period of study.	Temporada extendida y mensual. Extended season and monthly.
CDD*	Días consecutivos sin precipitación. Consecutive dry days.			
CRD-95p	Período extremadamente largo de días consecutivos con precipitación. Extremely long consecutive wet days.	días days	Valor del percentil 95 de la distribución de CRD* (CDD*). Esto define la duración mínima de un período con precipitación (seco) para que este considerado extremadamente largo. The value of the 95 th -percentile of the distribution of CRD* (CDD*). This defines what is the minimum length of a wet (dry) period to be considered extremely long.	Temporada extendida y mensual. Extended season and monthly.
CDD-95p	Período extremadamente largo de días consecutivos sin precipitación. Extremely long consecutive dry days.			
R95p*	Días con mucha precipitación. Very wet days.	días days	Número promedio de días que exceden el percentil 95 de la distribución empírica de frecuencias de días con precipitación. Mean number of days exceeding the 95 th -percentile of the empirical frequency distribution of daily precipitation amount.	Temporada extendida. Extended season.
C(R95p)	Días consecutivos con mucha precipitación. Consecutive very wet days.	días days	Número promedio de días consecutivos (al menos dos) que exceden el percentil 95 de la distribución empírica de frecuencias de la cantidad de precipitación. Mean number of consecutive (at least two) days that exceed the 95 th -percentile of the empirical frequency distribution of accumulated precipitation.	Temporada extendida. Extended season.
R95pTOT*	Precipitación acumulada de los días con mucha precipitación. Total precipitation for very wet days.	mm	Precipitación total para todos los casos cuando la cantidad diaria de precipitación excede el percentil 95 de la distribución empírica de frecuencias. Total precipitation for all cases when the daily amount exceeds the 95 th -percentile of the empirical frequency distribution.	Temporada extendida. Extended season.



T-7 Índices de eventos extremos
Extreme events indices

Abreviación Abbreviation	Nombre Name	Unidad Unit	Definición Definition	Período al que se aplica Time period at which is applied
Temperatura máxima / Maximum Temperature				
TX10p*	Días fríos. Cold days.	días days	Número promedio de días fríos (cálidos), TX<TX10p (TX>TX90p), cuando la temperatura máxima está por debajo (encima) del percentil 10 (90). Mean number of cold (warm), TX<TX10p (TX>TX90p), days when the maximum temperature is below (above) the 10 th (90 th) percentile.	Estación Season
TX90p*	Días cálidos. Warm days.			
CTX10p*	Días fríos consecutivos. Consecutive cold days.	días days	Número promedio de días fríos (cálidos) consecutivos cuando la temperatura máxima está por debajo (encima) del percentil 10 (90). Mean number of consecutive cold (warm) days when maximum temperature is below (above) the 10 th (90 th) percentile.	Estación Season
CTX90p*	Días cálidos consecutivos. Consecutive warm days.			
C(TX10p)95p	Período extremadamente largo de días fríos consecutivos. Extremely long consecutive cold days.	días days	El valor que define el percentil 95 de la distribución de días fríos (cálidos), TX<TX10p (TX>TX90p), consecutivos. Este es el umbral para un período extremadamente largo de días fríos (cálidos) consecutivos. The value that defines the 95 th -percentile of the distribution of consecutive cold (warm), TX<TX10p (TX>TX90p), days. This is the threshold for an extremely long period of cold (warm) days.	Estación Season
C(TX90p)95p	Período extremadamente largo de días cálidos consecutivos. Extremely long consecutive warm days.			
Temperatura mínima / Minimum Temperature				
FD*	Número de días con helada. Number of frost days.	días days	Número promedio de días con temperatura mínima debajo de 0°C (TN<0°C). Mean number of days with minimum temperature below 0°C (TN<0°C).	Estación Season
TN10p*	Noches frías. Cold nights.	días days	Número promedio de noches frías (cálidas), TN<TN10p (TN>TN90p), cuando la temperatura mínima está por debajo (encima) del percentil 10 (90). Mean number of cold (warm), TN<TN10p (TN>TN90p), nights when the minimum temperature is below (above) the 10 th (90 th) percentile.	Estación Season
TN90p*	Noches cálidas. Warm nights.			
CTN10p*	Noches frías consecutivas. Consecutive cold nights.	días days	Número promedio de noches frías (cálidas) consecutivas cuando la temperatura mínima está por debajo (encima) del percentil 10 (90). Mean number of consecutive cold (warm) nights when minimum temperature is below (above) the 10 th (90 th) percentile.	Estación Season
CTN90p*	Noches cálidas consecutivas. Consecutive warm nights.			
C(TN10p)95p	Período extremadamente largo de noches frías consecutivas. Extremely long consecutive cold nights.	días days	El valor que define el percentil 95 de la distribución de noches frías (cálidas), TN<TN10p (TN>TN90p), consecutivas. Este es el umbral para un período extremadamente largo de noches frías (cálidas) consecutivas. The value that defines the 95 th -percentile of the distribution of consecutive cold (warm), TN<TN10p (TN>TN90p), nights. This is the threshold for an extremely long period of cold (warm) nights.	Estación Season
C(TN90p)95p	Período extremadamente largo de noches cálidas consecutivas. Extremely long consecutive warm nights.			



4

PRECIPITACIÓN: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS

PRECIPITATION: CLIMATOLOGY AND INDICES OF EXTREME EVENTS

La precipitación es un elemento clave del ciclo hidrológico que posee alta variabilidad en diferentes escalas de tiempo. Tiene un efecto importante sobre la sociedad y sobre los ecosistemas debido a que es la fuente principal de provisión de agua especialmente en la región Andina (a la que generalmente se la clasifica como una región de clima templado con inviernos secos y veranos frescos). Por esta razón el presente estudio ha cobrado importancia

Precipitation is a key element of the hydrological cycle with strong variability on different time scales. It has an important effect on human society and ecosystems because it is the main source of water especially in the Andean region (usually classified as a region of temperate climate with dry winters and cool summers). For this reason its study has become very important for the national and local governments, especially under a changing climate.



P-14 La quinua (*Chenopodium quinoa*) es una planta muy resistente al estrés hídrico, condición típica del Altiplano.

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is extremely resistant to hydric stress, a condition typical of the Altiplano.

para los gobiernos locales y nacionales, en especial bajo un clima cambiante

En este capítulo, los valores medios y los índices relacionados a la precipitación se presentan en una forma gráfica de tal manera que cumplan con los requerimientos descritos en el capítulo precedente. Las normales climáticas para precipitación acumulada, el número de días con precipitación, los días consecutivos con y sin precipitación y los índices relacionados a eventos de precipitación extrema se reportan como mapas correspondientes a las temporadas extendidas definidas previamente. Es importante notar que solamente algunos mapas contienen datos interpolados (por ejemplo, precipitación promedio). La mayoría de los mapas muestran la información de las estaciones pero, dependiendo de la variable o índice, solo algunas estaciones fueron incluidas en todos los mapas.

4.1. NORMALES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN

La **precipitación promedio anual** en la región de estudio muestra una estacionalidad marcada (mapa M-4). De hecho, mirando los mapas de las

In this chapter, mean values and indices related to precipitation are presented in a graphical form for all stations that fulfill the requirements described in the previous chapter. Climate normals for accumulated precipitation, number of wet days, consecutive days with and without precipitation and indices related to extreme precipitation are reported as maps by the extended seasons defined previously. It is important to note that only a few maps contain interpolated information (for instance, mean precipitation). Most maps have information of the stations but depending on the variable or index not all stations were included in all maps.

4.1. CLIMATE NORMALS FOR PRECIPITATION

Mean annual precipitation in our region of study shows a strong seasonality (map M-4). In fact, looking at the extended seasonal maps, it is striking how markedly different the two seasons are. On average, roughly 80% of the precipitation occurs in the extended wet season (map M-8) whereas the remaining 20% falls in the extended dry season (map M-9). One interesting feature is that along the west side of the study region, near the *Cordillera Occidental*, almost 100%



temporadas extendidas, llama la atención cuán diferentes son ambas temporadas. En promedio, aproximadamente el 80% de la precipitación acontece en la temporada húmeda extendida (mapa M-8) en cuanto el restante 20% cae en la temporada seca extendida (mapa M-9). Una característica importante es que a lo largo del lado oeste de la región de estudio, próxima a la Cordillera Occidental, casi el 100% de la precipitación ocurre durante la temporada húmeda extendida, lo que quiere decir que hay muy poca precipitación en la temporada seca extendida. Esta temporalidad puede notarse claramente en los mapas mensuales (mapa M-7) donde julio aparece como el mes más seco (mapa M-7vii) mientras que enero se muestra como el mes más húmedo (mapa M-7i). De hecho, los mapas de precipitación promedio

of precipitation occurs during the extended wet season which means that there is very little precipitation in the extended dry

Precipitation is defined as the liquid or solid products of the condensation of water vapor falling from clouds or deposited from air onto the ground. It includes rain, hail, snow, dew, rime, hoar frost and fog precipitation. The total amount of precipitation which reaches the ground in a stated period is expressed in terms of the vertical depth of water (or water equivalent in the case of solid forms) to which it would cover a horizontal projection of the Earth's surface (taken from *WMO CIMO guide, 2014, p. 186*).

season. This seasonality is clearly seen in the monthly maps (map M-7) where July appears as the driest month (map M-7vii) whereas January appears as the wettest month (map M-7i). In fact, the monthly mean precipitation maps show that January, February, March and December, in this order, are the months with most precipitation and July, June, May and August, in this order as well, are the driest months. Interestingly, if transition periods are delimited based solely on monthly precipitation, the wet-to-dry transition occurs in April, only one month (map M-7iv), whereas the dry-to-wet transition happens in the months of October and November (maps M-7x and M-7xi). In other words, it takes longer to transition to the extended wet season than to the extended dry season.

La precipitación se define como productos líquidos o sólidos provenientes de la condensación de vapor de agua que cae (precipita) de las nubes o que es depositada del aire sobre el terreno. Incluye lluvia, granizo, nieve, rocío, escarcha y niebla. La cantidad total de precipitación que alcanza a la superficie en un período definido se expresa en términos de la profundidad vertical de agua (o agua equivalente en el caso de los meteoros sólidos) que cubriría una proyección horizontal de la superficie terrestre (tomado de la *WMO CIMO guide, 2014, p. 186*).

mensual muestran que enero, febrero, marzo y diciembre, en este orden, son los meses con la mayor precipitación y julio, junio, mayo y agosto, también en ese orden, son los meses más secos. Interesantemente, si los períodos de transición se definiesen basándonos solamente en la precipitación mensual parecería que la transición de la época húmeda a la seca acontece en abril (mapa M-7iv), mientras que la transición de la temporada seca a la húmeda ocurre en los meses de octubre y noviembre (mapas M-7x y M-7xi). En otras palabras, toma más tiempo establecer la temporada húmeda extendida que la época seca extendida.

Yearly mean precipitation ranges from 300 to 800 mm in the region (excluding Isla Taquile from the averaging¹). During the extended wet season (map M-5) mean accumulated precipitation ranges from approximately 250 to 750 mm with a clear

¹ Isla Taquile is an exceptional case because it has the largest accumulated precipitation of the entire region of study. Its values have been confirmed by SENAMHI-Peru and with the visit to this station. It has a unique location towards the middle of Lake Titicaca. Other stations at the shore of the lake do not show these high values of precipitation. Unfortunately the ones with the most similarities do not have a good record of data.



P-15 Nubes sobre el lago Titicaca.

Clouds over Lake Titicaca.

En una escala anual la precipitación varía de 300 a 800 mm en la región (excluyendo Isla Taquile del promedio¹). Durante la temporada húmeda extendida (mapa M-5) la precipitación acumulada promedio varía entre 250 y 750 mm aproximadamente mostrando claramente un gradiente en la dirección noroeste-sudeste. La región norte recibe aproximadamente tres veces más precipitación que la región sur. Durante la temporada seca extendida (mapa M-6) la precipitación acumulada promedio varía entre 60 y 150 mm con el gradiente en la misma dirección que en la época húmeda extendida pero con un gradiente menos intenso inclusive cuando es calculado en términos relativos (la región norte recibe sólo el doble de precipitación comparada a la región sur del área de estudio). Al examinar los mapas de la **contribución relativa** correspondiente a cada temporada, es evidente que la región sudoeste, que se encuentra en las estribaciones de la Cordillera Occidental, recibe casi 100% de la precipitación durante la época húmeda extendida con un gradiente claro en la dirección sudoeste-noreste. Esta última región recibe aproximadamente 80% de la precipitación en la temporada húmeda extendida (mapa M-8) y el restante 20% en la temporada seca extendida (mapa M-9).

¹ Isla Taquile es un caso excepcional porque tiene la mayor precipitación acumulada de toda la región de estudio. Sus valores han sido confirmados por SENAMHI-Perú y con la visita a esta estación. Tiene una ubicación única en medio del lago Titicaca. Otras estaciones en la orilla del lago no muestran estos altos valores de precipitación. Desafortunadamente las que tienen más similitudes no tienen un buen registro de datos.

gradient in the northwest-to-southeast direction with the northern region receiving around three times more precipitation than in the southern part. During the extended dry season (map M-6) the mean accumulated precipitation ranges from 60 to 150 mm with the gradient in the same direction as in the extended wet season but with a smaller gradient even in relative terms (the northern part receives only twice the precipitation than the southern part of the region of study). When the maps of **seasonal relative contribution** are examined it is evident that the southwest part, which is the mountain range of the *Cordillera Occidental*, receives almost 100% of the precipitation in the extended wet season with a clear gradient in the southwest-to-northeast direction, with the latter region receiving around 80% of the precipitation in the extended wet season (map M-8) and the remaining 20% in the extended dry season (map M-9).

This pattern is also evident when maps of the mean number of **wet days**, NRD*, are examined. During the extended wet season (map M-10) most stations of the region registered precipitation between 66 and 85 days (out of 181) with a spatial gradient extending from northwest-to-southeast but much weaker than in the case of accumulated precipitation. This apparent weak gradient could somehow be an artifact due to the low density of stations in the south. On the other hand, in the extended dry season (map M-11), the number of wet days is clearly much smaller, consistent with the accumulated precipitation pattern. The corresponding map shows a maximum



Este patrón es también evidente cuando se examinan los mapas del número promedio de **días con precipitación**, NRD*. Durante la temporada húmeda extendida (mapa M-10) la mayoría de las estaciones de la región reportaron precipitación entre 66 y 85 días (de un total de 181) con un gradiente espacial noroeste-sudeste pero mucho menos intenso que en el caso de precipitación acumulada. Este gradiente aparentemente débil podría ser un artefacto debido a la baja densidad de estaciones en el sur. Por otro lado, durante la temporada seca extendida (mapa M-11), el número de días con precipitación es claramente menor, consistente con el patrón de precipitación acumulada. El mapa correspondiente muestra un valor promedio máximo de alrededor de 45 días solamente en algunas estaciones, la mayoría tiene un NRD* entre 16 y 25 días (de un total de 184). También se evidencia un débil gradiente noroeste-sudeste. Una característica notoria es que las estaciones ubicadas en el extremo sudoeste de la región poseen el menor NRD*, nuevamente, consistente con los mapas de precipitación acumulada y de la contribución estacional.

Los histogramas de precipitación acumulada mensual y del porcentaje de días con precipitación por mes se muestran para algunas estaciones en la figura F-8 y el anexo A1. Estas figuras muestran claramente la gran diferencia en precipitación entre las temporadas húmeda y seca. En casi todas las estaciones el mes con mayor precipitación es enero y el mes más seco es julio. Con la excepción de las estaciones localizadas al sudoeste de la región de estudio, el comportamiento típico muestra muy poca precipitación entre mayo y agosto (usualmente menos de 10 mm/mes y unos pocos días con precipitación) y grandes cantidades de precipitación entre diciembre y marzo. Abril es el mes de transición de la temporada húmeda a la seca, en cambio el período entre octubre a noviembre representa el período de transición de la época seca a la húmeda. En algunas estaciones el mes de noviembre, basándonos en la cantidad de precipitación y el porcentaje de días con precipitación por mes, podría atribuirse a la época húmeda. Sin embargo,

mean value of around 45 days only at some stations, with most stations having a mean NRD* between 16 and 25 days (out of 184). A week northwest-to-southeast gradient is evident. What is clearly seen is that stations located at the southwest extreme of the region have the smallest NRD* of the region, again, consistent with the maps of accumulated precipitation and the seasonal contribution.

Histograms of monthly accumulated precipitation and the percentage of wet days per month are shown for some stations in figure F-8 and annex A1. These figures clearly show the large difference in precipitation between wet and dry seasons. In almost all stations the rainiest month is January whereas the driest month is July. Except for the stations located at the southwest of the region of study, the typical behavior shows very little precipitation between May and August (usually less than 10 mm/month with only a few days with precipitation) and large amounts of precipitation between December and March. April is the transition month between wet and dry seasons whereas October and November represent the transition from dry to wet seasons. In some stations November could be ascribed to the wet season, based on the amount of precipitation and the percentage of wet days per month. However, at other stations this classification is not very clear. What is evident is that stations located near the *Cordillera Occidental* have a longer period with very little precipitation (May to September) and a shorter transition period for dry-to-wet conditions. This behavior supports the decision to use extended wet (November to April) and dry (May to September) seasons for this atlas.

When maps of mean consecutive days with and without precipitation are examined it can be seen that most stations experience between 4 and 5 **consecutive wet days**², CRD*, during the extended wet season (map M-12) with a weak gradient in the NW-SE direction but a much clearer gradient in the SW-NE direction. Interestingly, the group of stations located in the southwest of the region of study, show a unique pattern in

en otras estaciones esta clasificación no queda muy clara. Lo que sí es evidente es que las estaciones ubicadas cerca de la Cordillera Occidental tienen un período más largo con muy poca precipitación (mayo a septiembre) con un período más corto de transición de la época seca a la húmeda. Este comportamiento apoya la decisión de utilizar las temporadas extendidas en este atlas: húmeda (noviembre a abril) y seca (mayo a septiembre).

Al examinar los mapas del promedio de días consecutivos con y sin precipitación, puede notarse que la mayoría de las estaciones experimentan entre 4 a 5 **días**

terms of mean accumulated precipitation as well as seasonal relative contribution, and behave in this case like its counterparts of the northwest with one station (Berenguela) showing the largest mean value of consecutive wet days (6-7) in the whole region. This suggests that this group of stations receives most of their precipitation in a few but relatively long events (4-5 days) of rain which occur almost exclusively in the extended wet season. During the extended dry season the mean consecutive wet days (map M-13) lies between 2-3 days for almost all stations of the region. No evident gradient or spatial pattern is seen in this case.



P-16 Una gran variedad de cactus está adaptada al clima árido andino.

A wide variety of cacti are adapted to the Andes arid climate.

consecutivos con precipitación², CRD*, durante la temporada húmeda extendida (mapa M-12) con un gradiente débil en la dirección NO-SE pero con un gradiente más notorio en la dirección SO-NE. Interesantemente, el grupo de estaciones localizadas al sudoeste de la región de estudio, la cual muestra un patrón particular en términos de precipitación acumulada promedio así como también en contribución relativa por estación, se comporta como sus contrapartes localizadas al noroeste con una estación (Berenguela) que muestra el mayor número de días consecutivos con precipitación (6-7) de toda la región.

² Solamente son considerados eventos con dos o más días con precipitación.

The mean number of **consecutive dry days**, CDD*, during the extended wet season (map M-14), ranges from 5 to 7 days but with more spatial variability than in the extended dry season. Remarkably, some stations in the southwest exhibit a mean number of consecutive dry days, between 7 and 10, confirming that this region experiences fewer episodes of precipitation in the extended wet season than other observation sites in the region of study. During the extended dry season the number of consecutive dry days (map M-15) is much larger with a mean value between 10 and 20 days for most stations in the region. The exception is the group of stations located at the southwest with a larger number of dry

² Only events with two or more consecutive wet days are considered here.



Esto sugiere que este grupo de estaciones recibe la mayor parte de su precipitación en pocos eventos, pero relativamente largos (4-5 días), que ocurren exclusivamente en la temporada húmeda extendida. Durante la temporada seca extendida (mapa M-13) el número promedio de días consecutivos con precipitación se encuentra entre 2 y 3 días para casi todas las estaciones. No se puede apreciar ningún gradiente ni otro tipo de patrón espacial en este caso.

El número promedio de **días consecutivos sin precipitación**, CDD*, durante la temporada húmeda extendida (mapa M-14), oscila entre 5 y 7 días, pero con una mayor variabilidad espacial que en la temporada seca extendida. Sorprendentemente, algunas estaciones en la parte sudoeste de esta región exhiben menos episodios de precipitación en la época húmeda extendida que otros sitios de observación. Durante la temporada seca extendida el número promedio de días consecutivos sin precipitación (mapa M-15) es mucho mayor y oscila entre 10 y 20 para la mayoría de las estaciones de la región. La excepción es el grupo de estaciones ubicadas en el sudoeste (30-42). Esto es consistente con otros parámetros, incluida la precipitación media y el número promedio de días húmedos para esta zona en particular. Aparentemente el extremo sur de la región de estudio podría también tener estos períodos largos sin precipitación, pero la falta de estaciones impide realizar tal generalización.

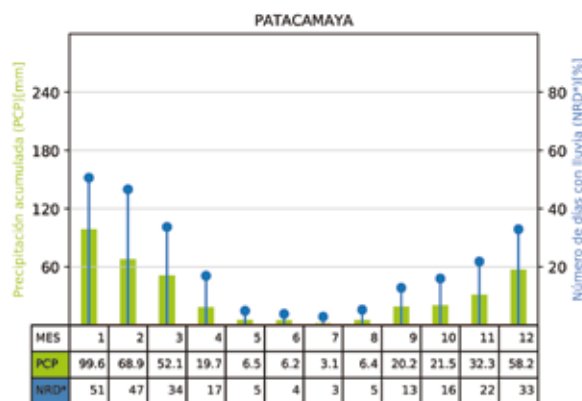
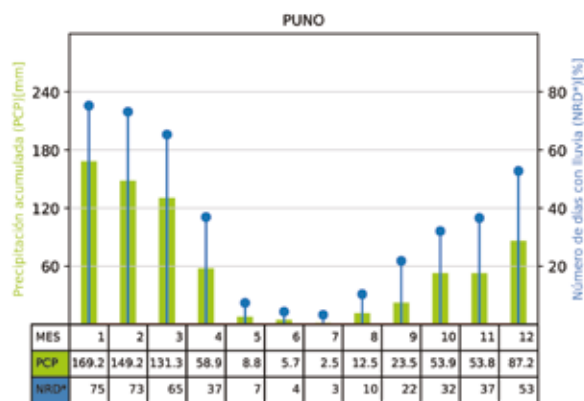
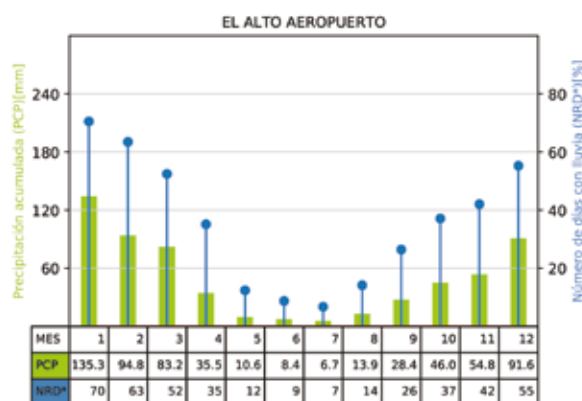
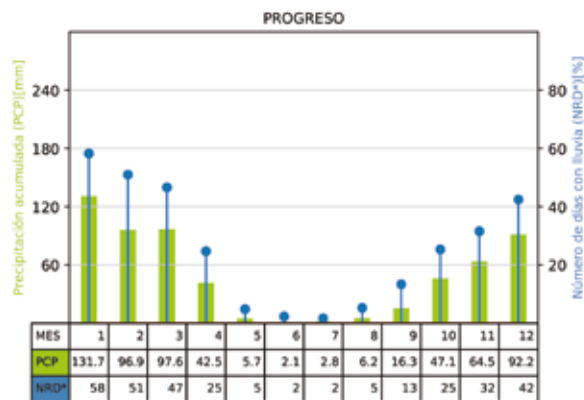
Histogramas del número promedio de días consecutivos con y sin precipitación por cada mes se muestran para algunas estaciones en la figura F-9 y el anexo A2. Estas figuras muestran que en casi todas las estaciones, enero es el mes con el mayor número de días consecutivos con precipitación, excepto para algunas estaciones que se localizan cerca al Lago Titicaca (Isla Taquile, Puno e Ilave). La última posee mayor número de días consecutivos con precipitación en febrero o marzo. En contraste, julio es el mes con mayor número de días consecutivos sin precipitación en casi todos los sitios de observación. La mayoría de estos se encuentran situados al lado oeste del lago y tienen el mayor número de días sin precipitación (8-11). Interesantemente, estas estaciones no están en las cercanías del lago.

days (30-42). This is consistent with other parameters including mean precipitation and number of wet days for this particular area. There is an indication that the southern part could have these large periods without precipitation as well but the lack of stations in that region impedes such generalization.

Histograms of mean monthly consecutive wet and dry days per month are shown for some stations in figure F-9 and annex A2. These figures show that in almost all stations January is the month with more consecutive wet days, except for some stations that are near Lake Titicaca (Isla Taquile, Puno and Ilave). The latter have more consecutive wet days in February or March. In contrast, July is the month with more consecutive dry days in almost all observation sites. Most stations along the western side of the lake have the largest number of consecutive dry days (8-11). Interestingly, these stations are not close to the lake.

HISTOGRAMAS CLIMATOLÓGICOS DE PRECIPITACIÓN

CLIMATOLOGICAL HISTOGRAMS OF PRECIPITATION



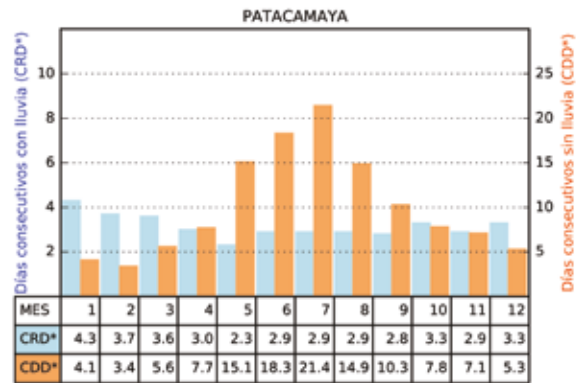
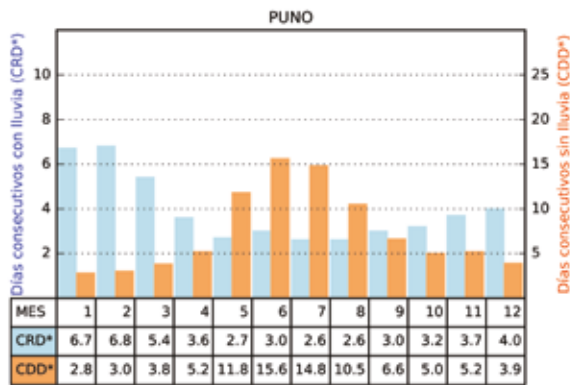
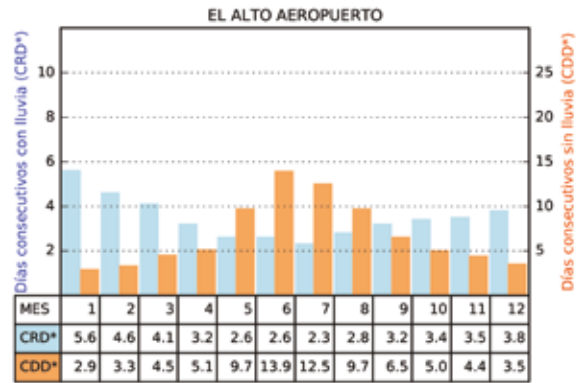
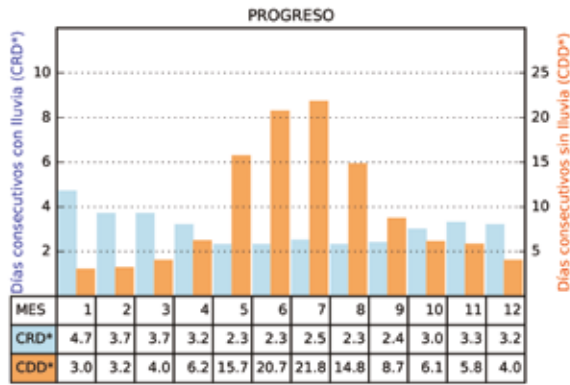
F-8 Histogramas de precipitación para cuatro estaciones representativas de la región de estudio. Se presenta la climatología (barras) y el porcentaje del número de días con precipitación para cada mes del año (barras con punto) para el período 1981-2010.

Histograms of precipitation for four stations representative of the study region. Their climatology (bars) and the percentage of the number of wet days for each month of the year (bars with dots) for the 1981-2010 period are presented.



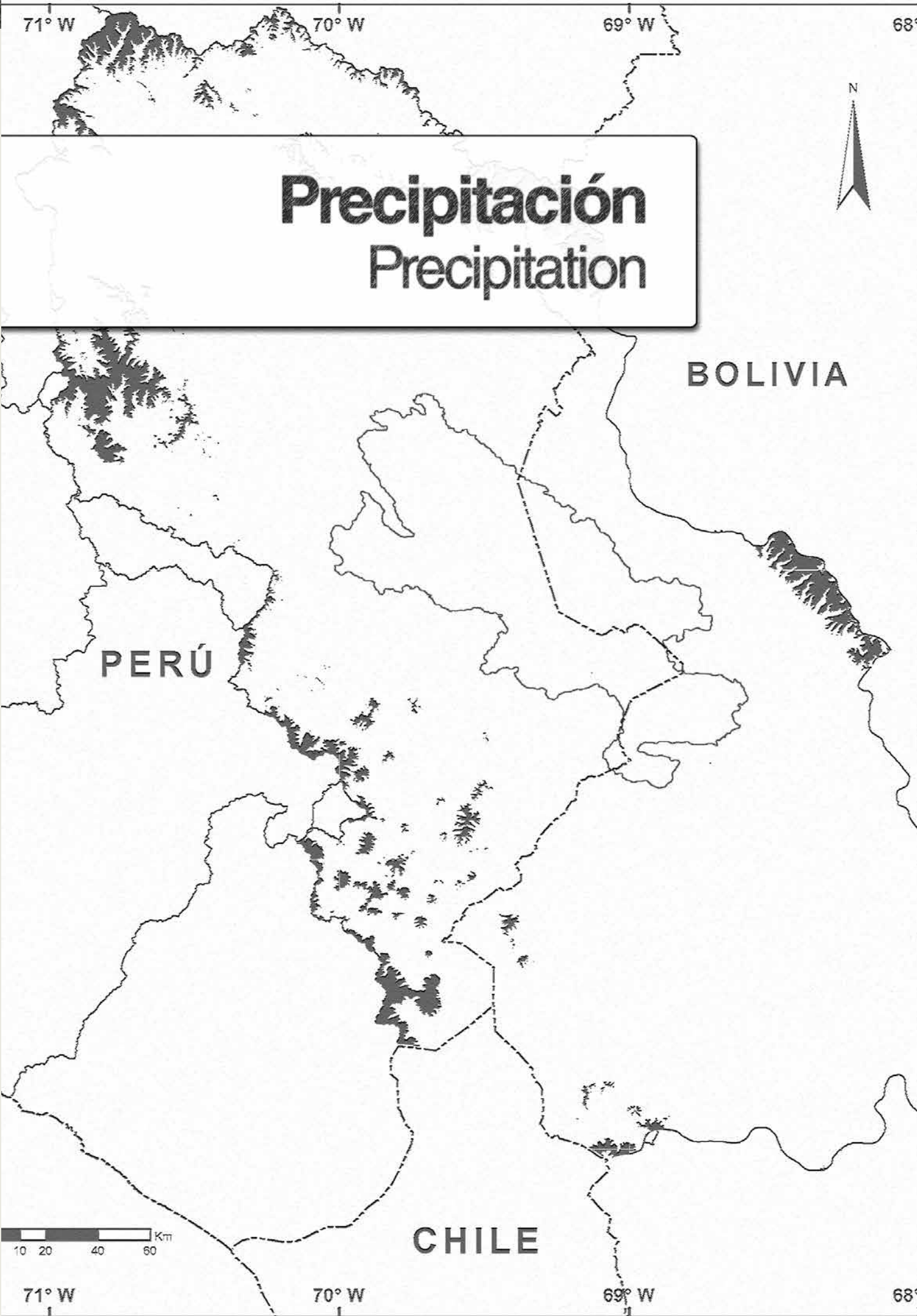
HISTOGRAMAS CLIMATOLÓGICOS DE DÍAS CONSECUTIVOS CON Y SIN PRECIPITACIÓN

CLIMATOLOGICAL HISTOGRAMS OF CONSECUTIVE WET AND DRY DAYS



F-9 Histogramas del número promedio de días consecutivos con (CRD*) y sin (CDD*) precipitación de cuatro sitios de observación representativos de la región de estudio para cada mes del año en el período 1981-2010.

Histograms of the mean consecutive wet (CRD*) and dry (CDD*) days of four stations representative of the study region for each month of the year for the 1981-2010 period.

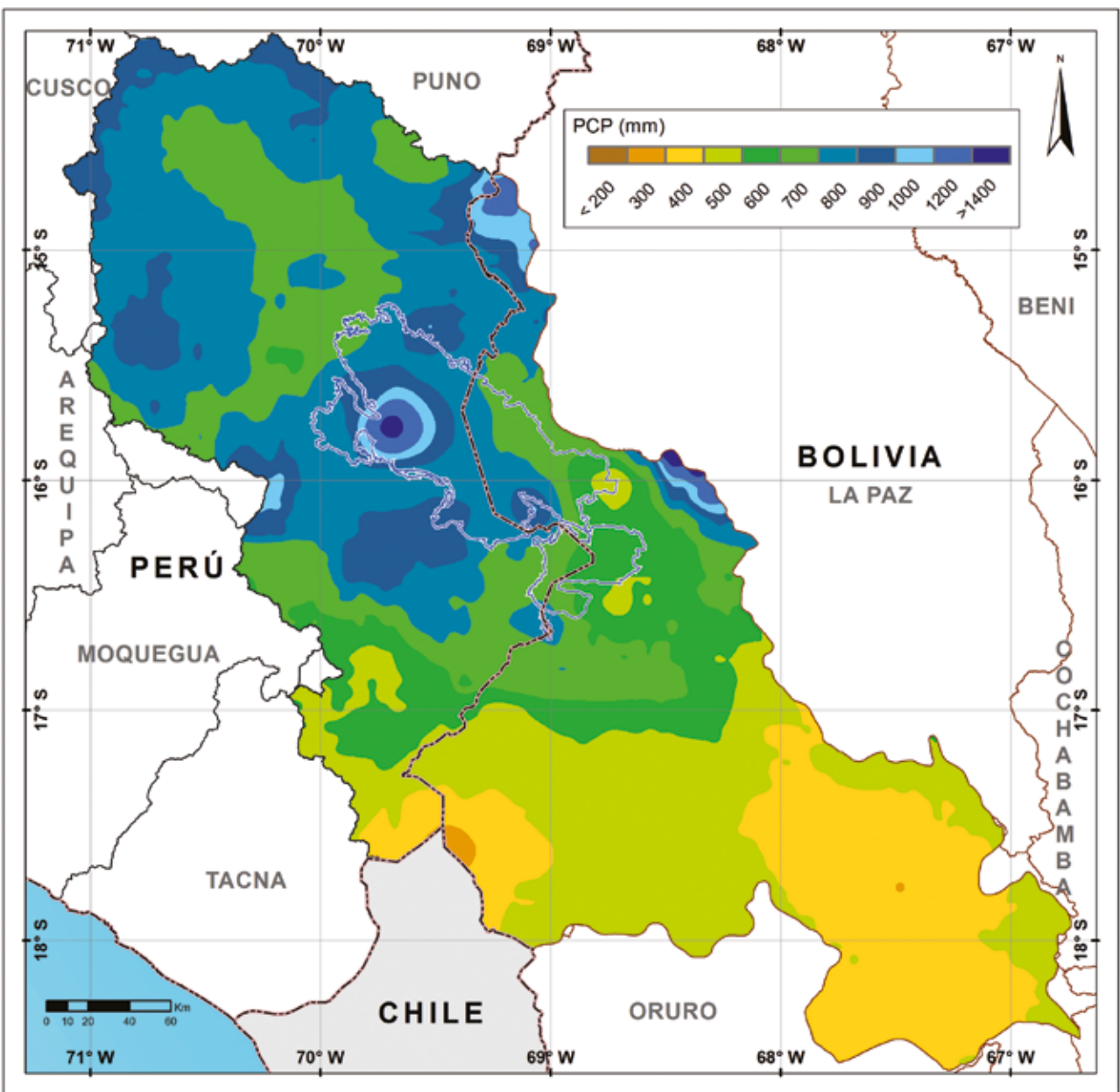




Precipitación promedio anual

Mean annual precipitation

(1981 - 2010)

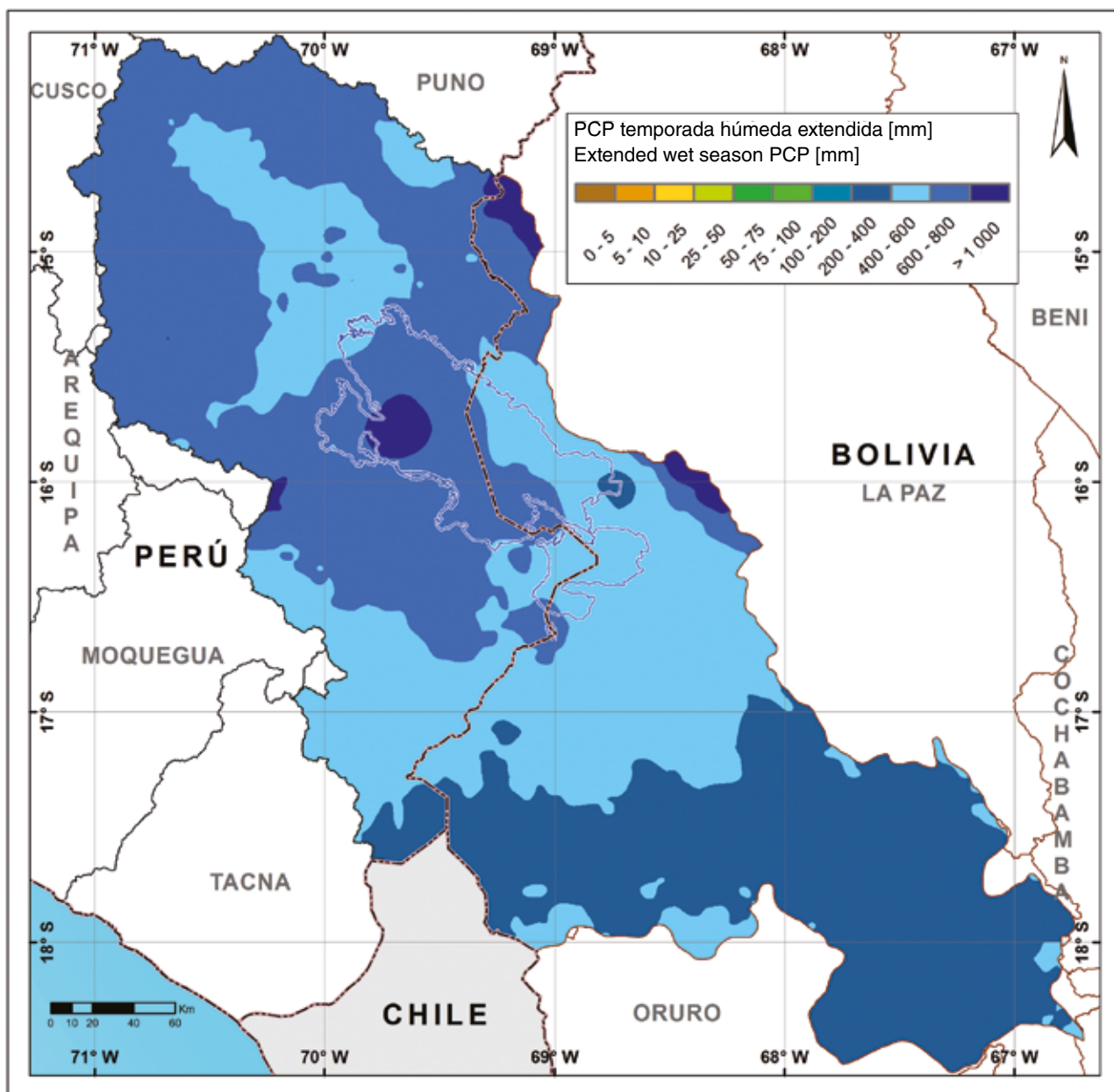


M-4 Precipitación promedio anual.
Mean annual precipitation.



PRECIPITACIÓN ESTACIONAL / SEASONAL PRECIPITATION

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season



M-5 Precipitación acumulada promedio anual para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.
Mean annual accumulated precipitation corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.

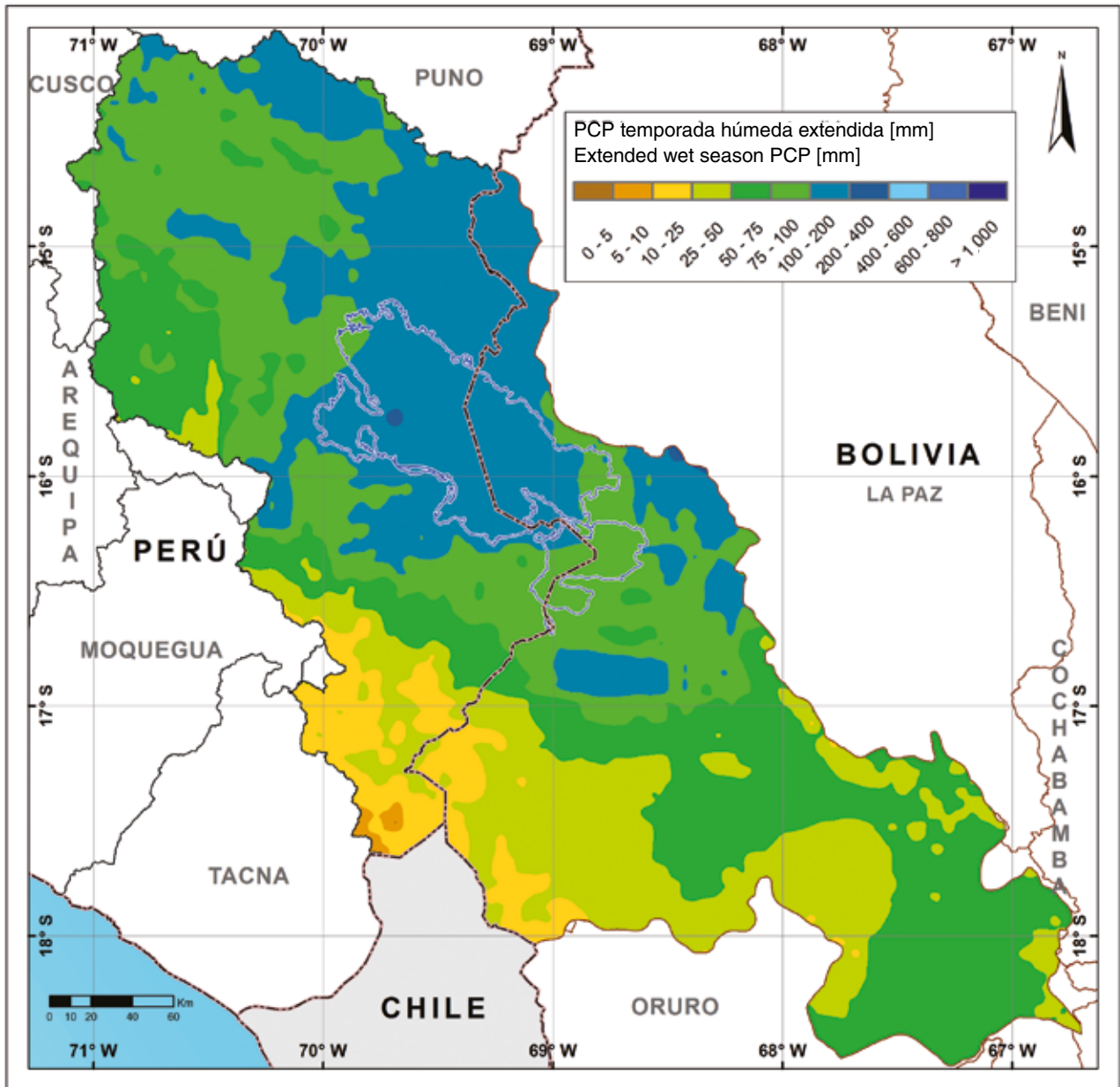


PRECIPITACIÓN ESTACIONAL / SEASONAL PRECIPITATION

Temporada seca extendida

- MJJASO -

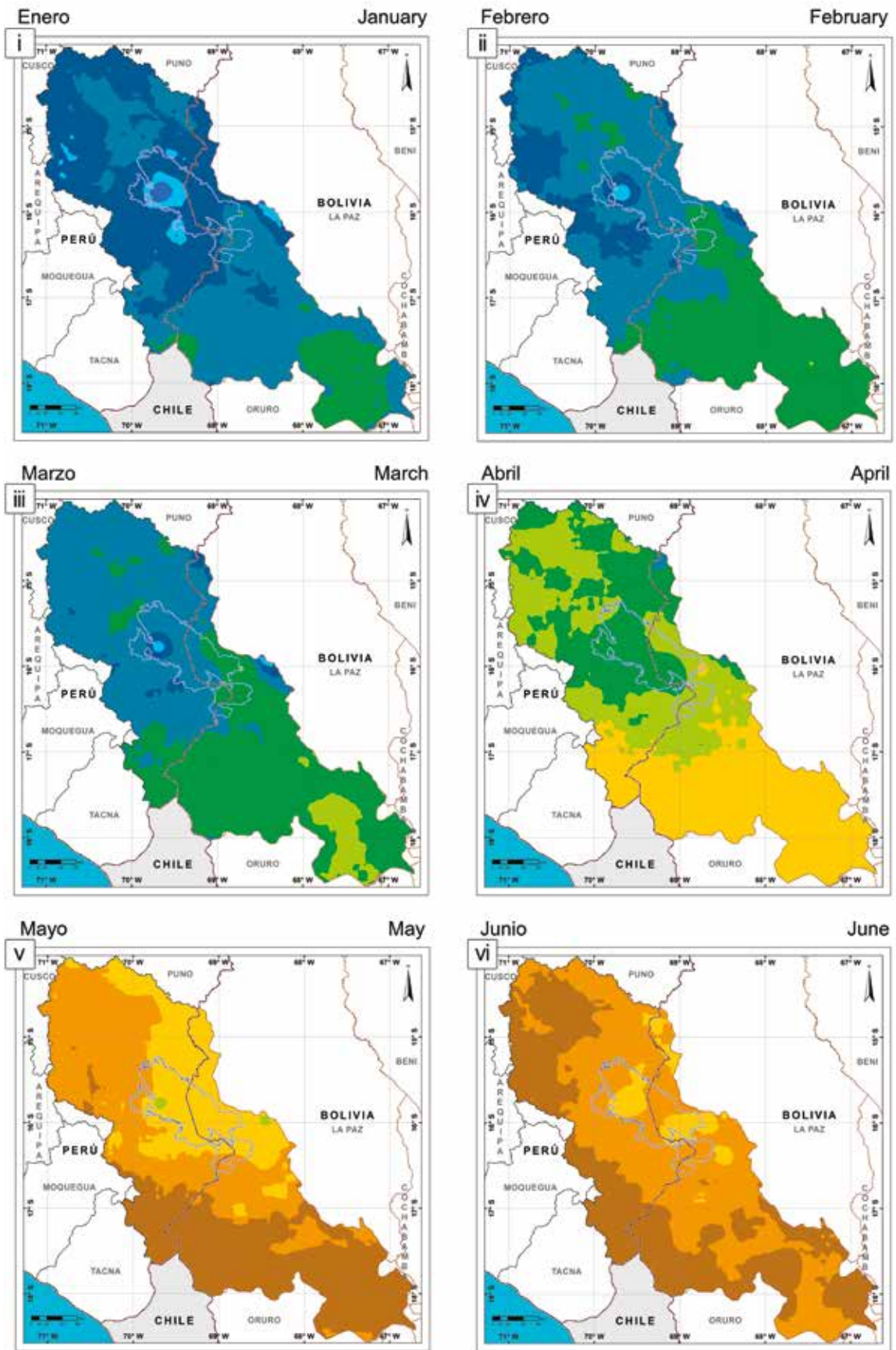
Extended dry season



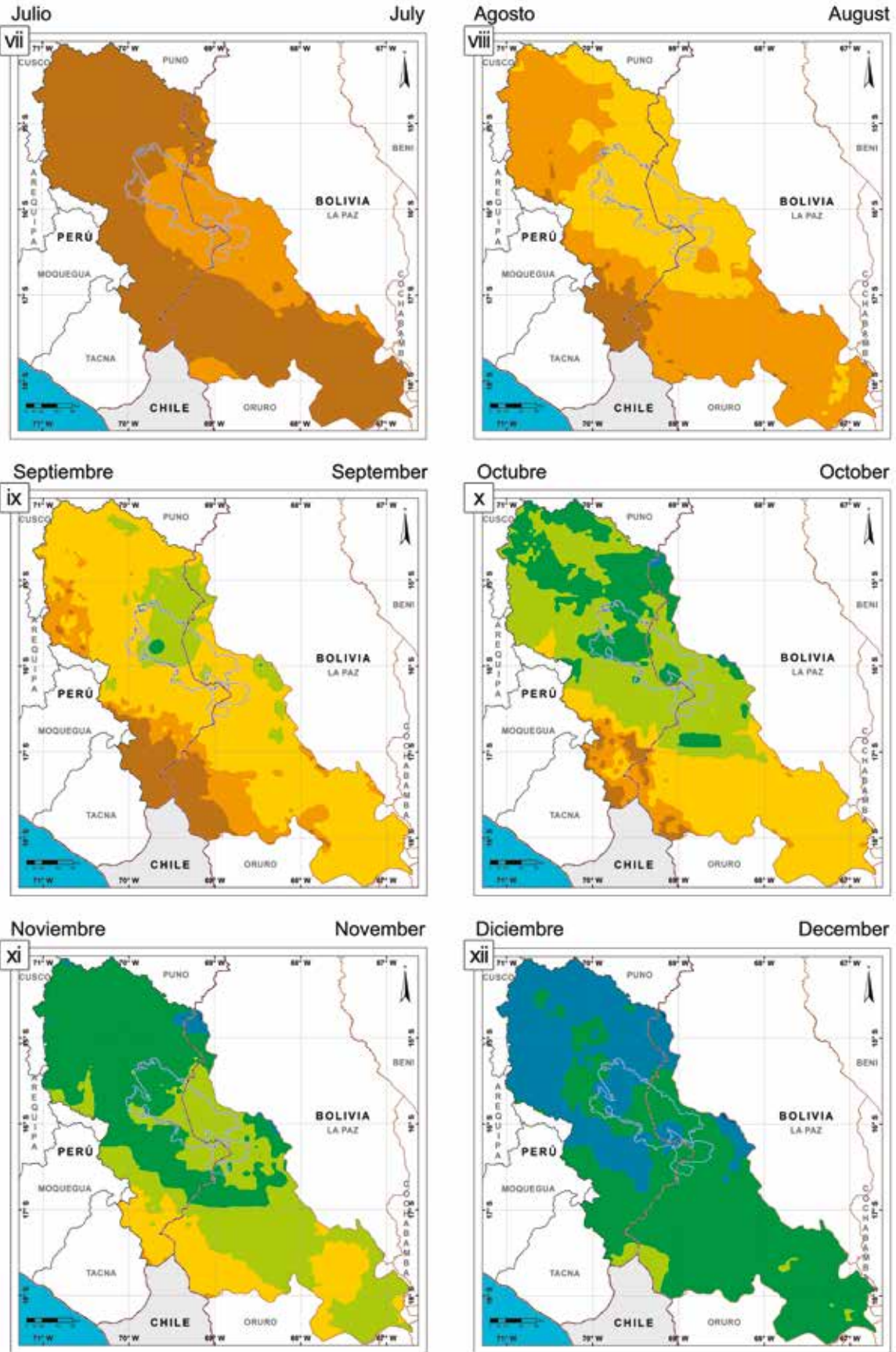
M-6 Como en M-5 pero para la temporada seca extendida.

As in M-5 but for the extended dry season.

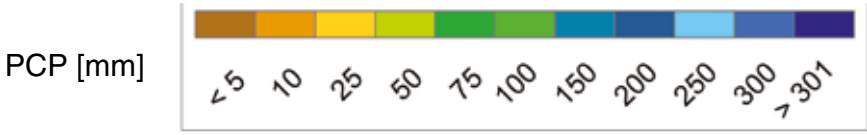
PRECIPITACIÓN MENSUAL / MONTHLY PRECIPITATION



M-7 Precipitación promedio mensual en el período 1981-2010.
Monthly mean precipitation for the 1981-2010 period.

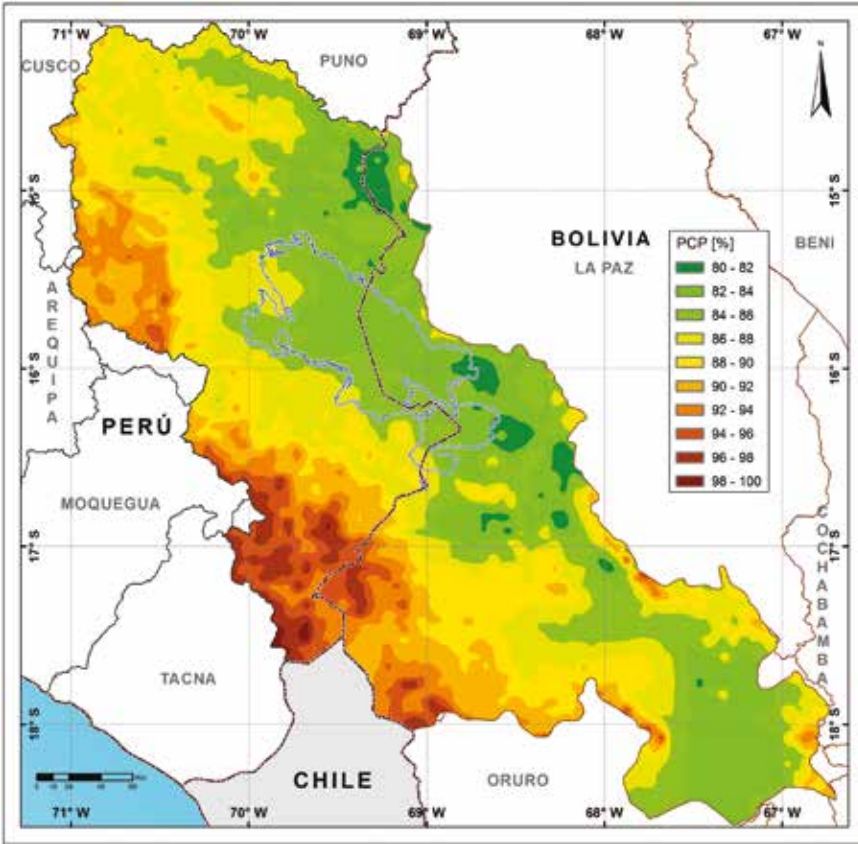


PRECIPITACIÓN MENSUAL / MONTHLY PRECIPITATION



PRECIPITACIÓN ESTACIONAL / SEASONAL PRECIPITATION

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season

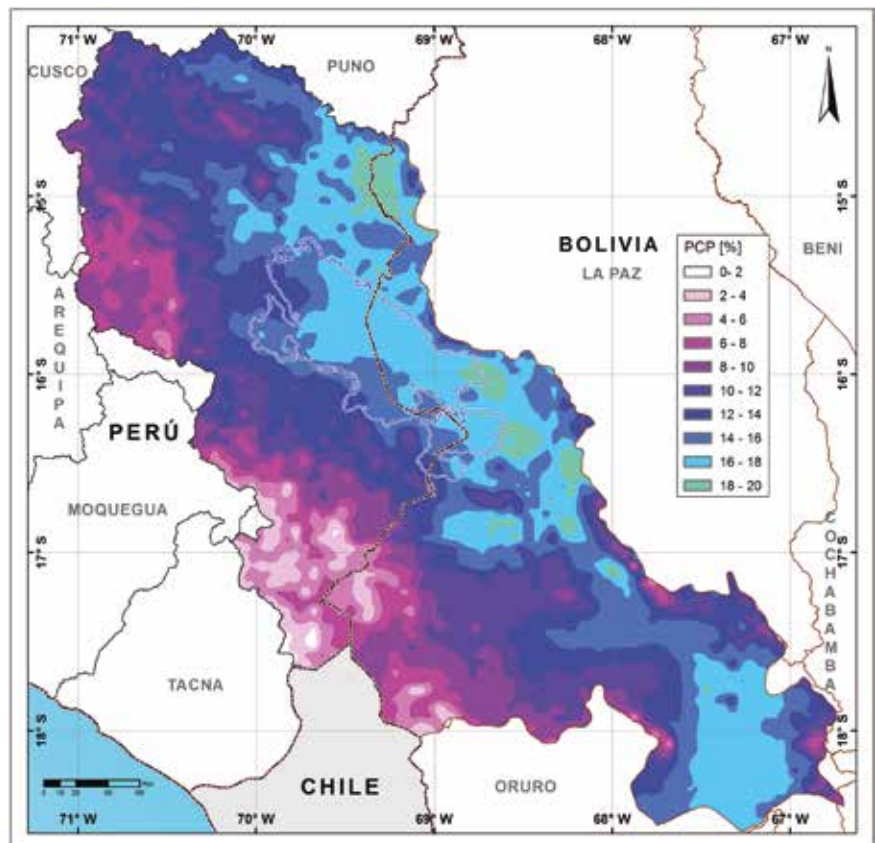


M-8 Contribución (en %) de los días con precipitación a la precipitación total anual para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.

Contribution (in %) of wet days to total annual precipitation per extended wet season for the 1981-2010 period.

M-9 Como en M-8 pero para la temporada seca extendida.
As in M-8 but for the extended dry season.

Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season

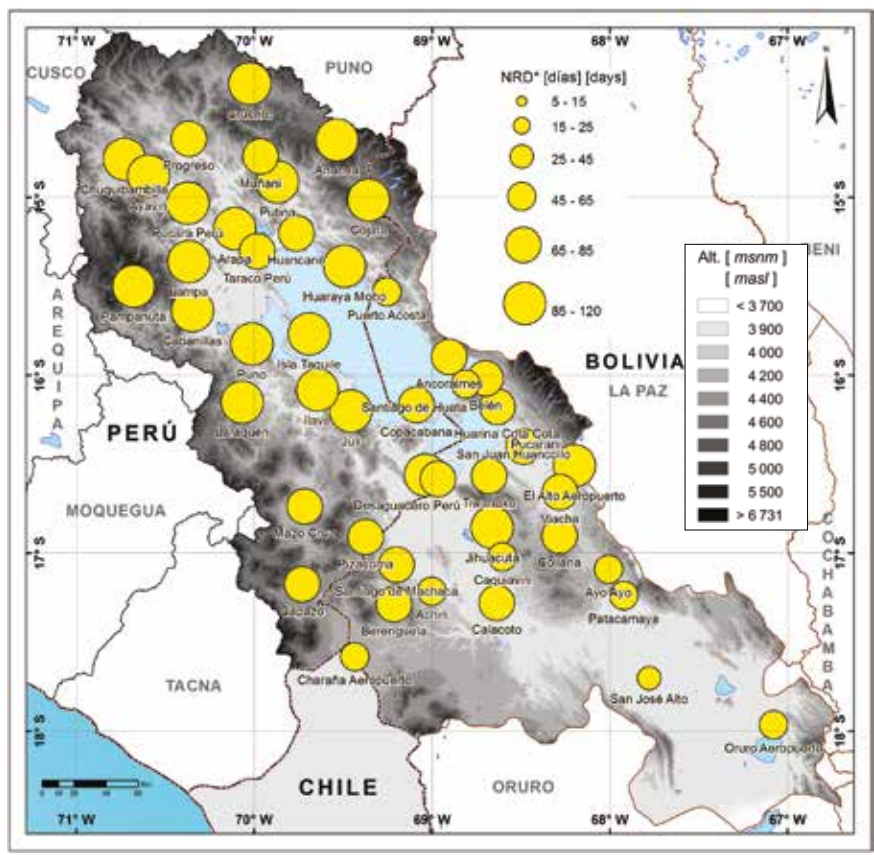




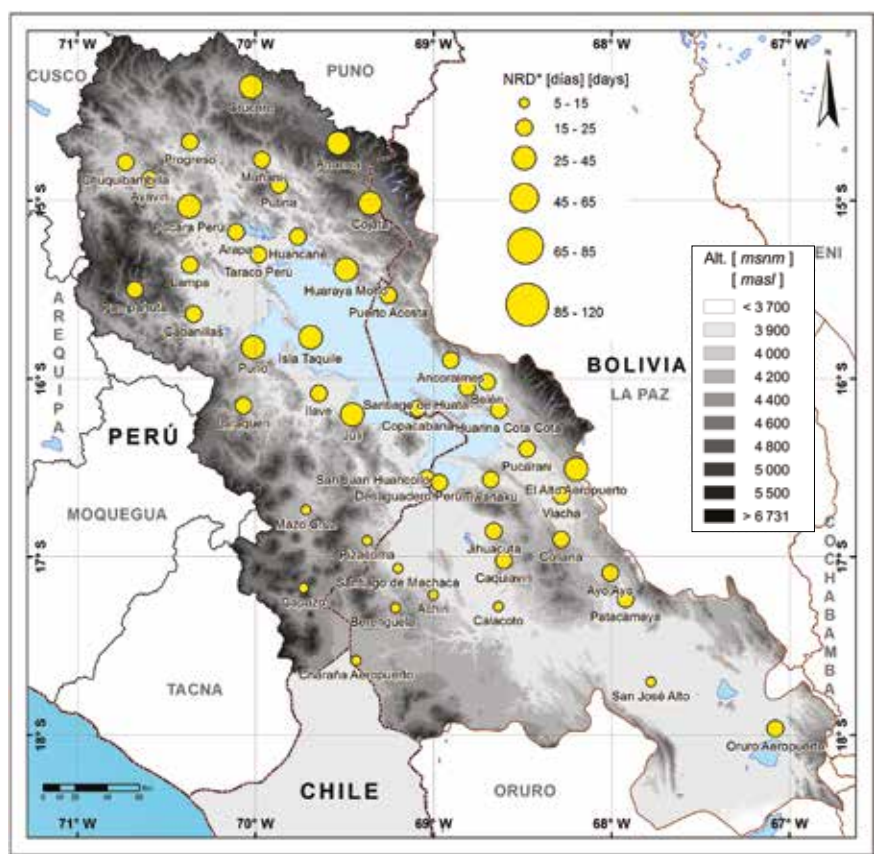
NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN / NUMBER OF WET DAYS

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season

M-10 Número promedio de días con precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.
Mean number of wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period



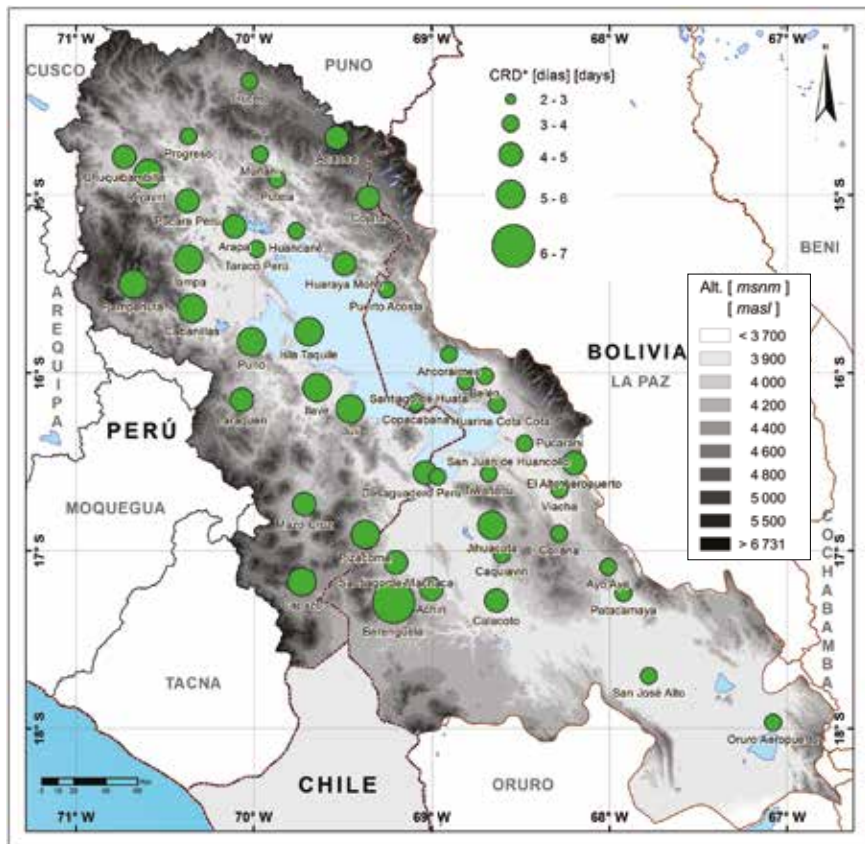
Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season



M-11 Como en M-10 pero para la temporada seca extendida.
As in M-10 but for the extended dry season.

DÍAS CONSECUTIVOS CON PRECIPITACIÓN / CONSECUTIVE WET DAYS

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season

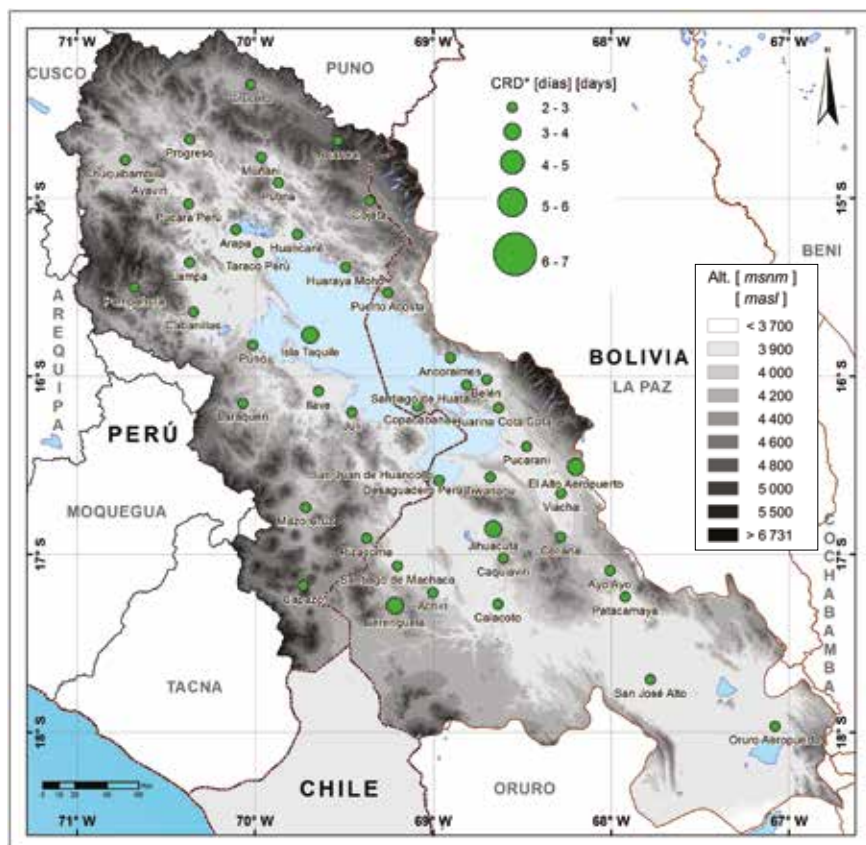


M-12 Número promedio de días consecutivos con precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.

Mean number of consecutive wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.

Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season

M-13 Como en M-12 pero para la temporada seca extendida.
As in M-12 but for the extended dry season.

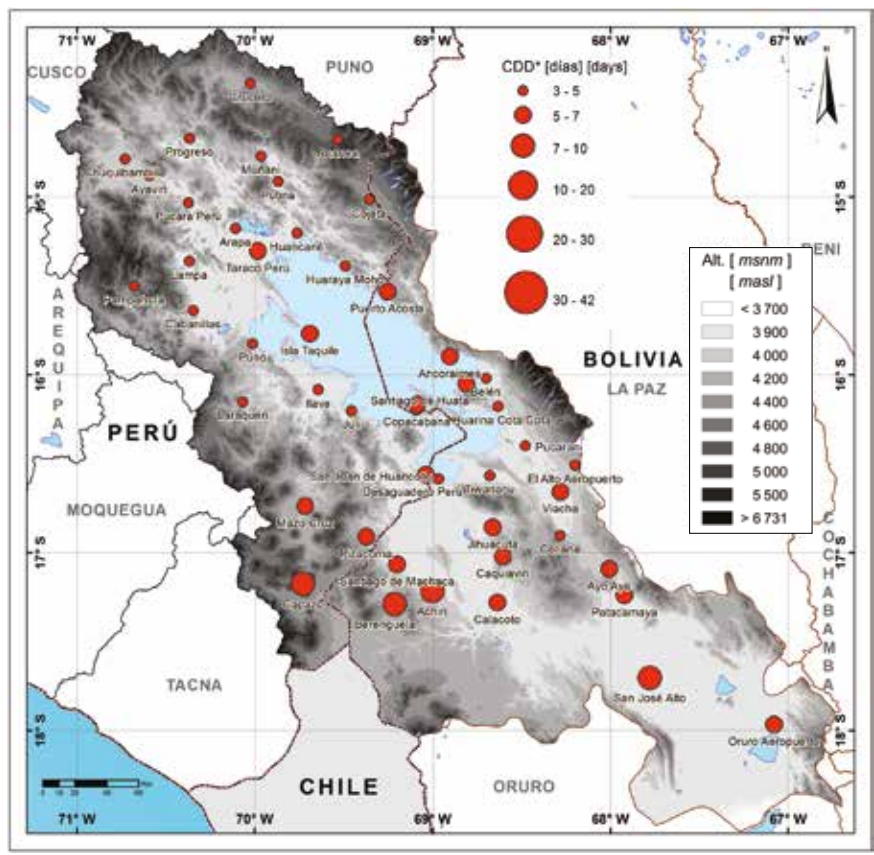




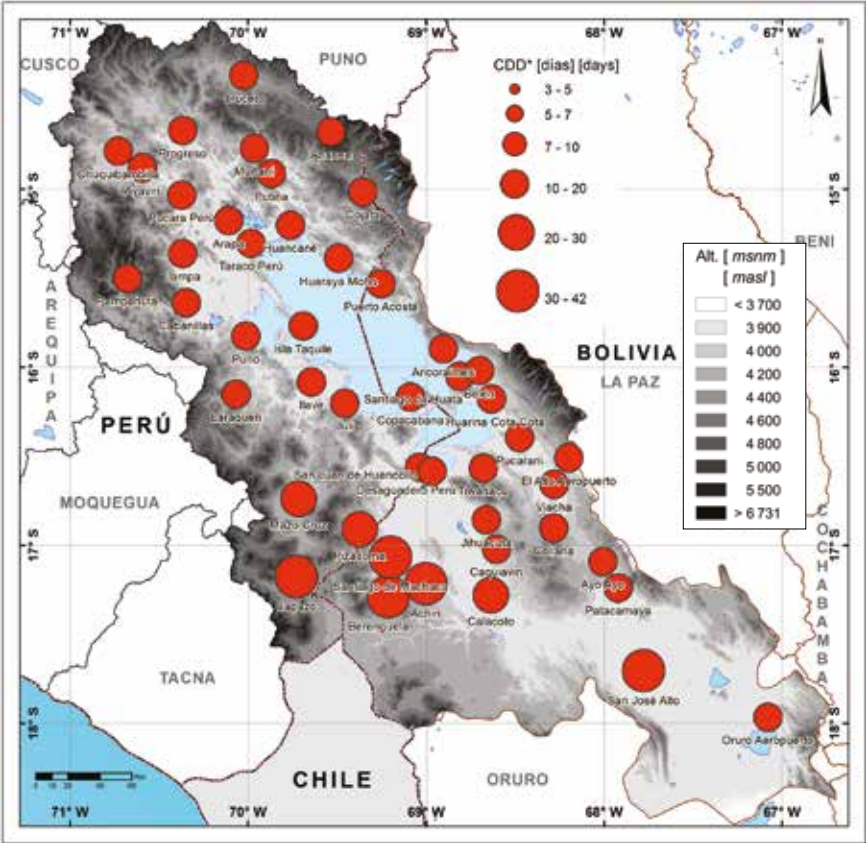
DÍAS CONSECUTIVOS SIN PRECIPITACIÓN / CONSECUTIVE DRY DAYS

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season

M-14 Número promedio de días consecutivos sin precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.
Mean number of consecutive dry days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.



Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season



M-15 Como en M-14 pero para la temporada seca extendida.
As in M-14 but for the extended dry season.

Índices de eventos extremos

Indices of extreme events



4.2. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS

El mapa que muestra el número de **días con mucha precipitación**, R95p*, para la temporada húmeda extendida (mapa M-16) muestra un gradiente norte-sur con más días de precipitación intensa en la región norte (4-5 días) que en la región sur (3-4 días). Este mapa sugiere que hay más días con precipitación intensa en la región oeste del lago que en la región este. Durante la temporada seca extendida (mapa M-17) estos patrones son similares pero la región ubicada al extremo sur tiene el menor número promedio de días con precipitación intensa (0-1 días). Las estaciones cercanas a la Cordillera Occidental hacia el sudoeste también tienen el menor número de días con mucha precipitación, mientras que las estaciones ubicadas alrededor del lago presentan los valores más altos (1-2 días).

La Tabla 8 muestra la **precipitación acumulada de los días con mucha precipitación**, R95pTOT*, y sus contribuciones relativas a la precipitación total (que incluye todos los casos) por temporada extendida. Los valores que se muestran en esta tabla indican que los *días con mucha precipitación* contribuyen aproximadamente con un 20% a la *precipitación total* para ambas temporadas extendidas (un poco mayor en el caso de la estación seca extendida) a pesar de la gran diferencia en la precipitación absoluta (la precipitación acumulada promedio para

4.2. INDICES OF EXTREME EVENTS

The map showing the number of **very wet days**, R95p*, for the extended wet season (map M-16) shows a north-to-south gradient with more days of heavy precipitation in the northern part of the region (4-5 days) than in the southern part (3-4 days). This map suggests more days with heavy precipitation on the western side of the lake than on the eastern side. During the extended dry season (map M-17) these patterns are similar but the southernmost part of the region has the smallest mean number of days (0-1) with strong precipitation. The stations located closest to the *Cordillera Occidental* in the southwest also have the fewest number of days with heavy precipitation, whereas the stations located around the lake have the greatest values (1-2 days).

Table 8 shows the **accumulated precipitation for very wet days**, R95pTOT*, and their relative contributions to total precipitation (which includes all cases) by extended season. The values shown in this table indicate that the contribution of the very wet days to total precipitation is around 20% for both extended seasons (a little larger in the case of the extended dry season) despite the large difference in the absolute precipitation for these seasons (mean accumulated precipitation for the extended wet season is ~580 mm and ~100 mm for the extended dry season).



P-17 Las granizadas son frecuentes en los Andes. El granizo se forma típicamente en tormentas convectivas tanto localmente como en la cuenca Amazónica, donde existe suficiente vapor de agua y condiciones energéticas favorables para formarlas.

Hailstorms are frequent in the Andes. Hail is typically formed in convective storms both locally and in the Amazon basin, where there is sufficient water vapor and favorable energy conditions to form them.



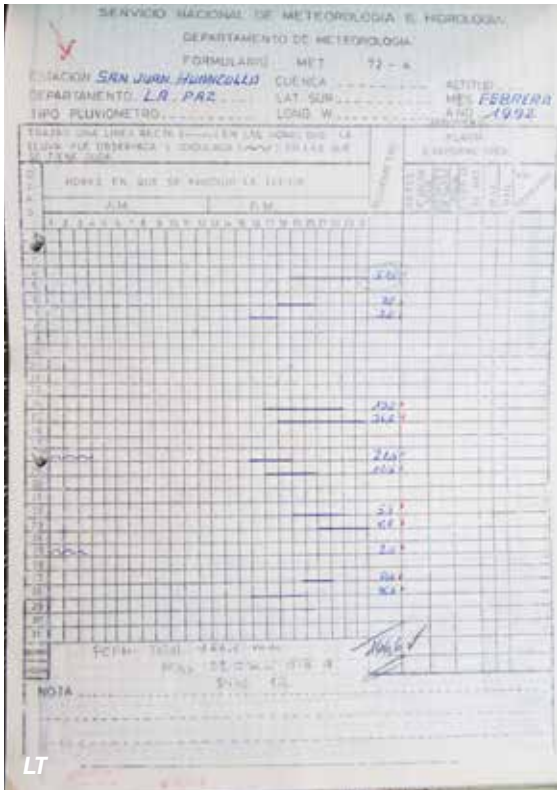
la temporada húmeda extendida es ~580 mm y ~100 mm para la temporada seca extendida).

En el caso de **períodos extremadamente largos de días consecutivos con precipitación**, CRD-95p, la mayoría de las estaciones en la región de estudio tiene un rango entre 7 y 11 días para la temporada húmeda extendida (mapa M-18). Sin embargo, seis estaciones tienen este rango entre 15 y 19 días. De éstas últimas, cuatro se ubican en la región oeste del lago incluyendo Isla Taquile, la estación con la precipitación acumulada más alta de la región. Interesantemente, Berenguela, que no está cerca al lago, muestra el valor más alto de todos los CRD-95p el cual cae en el rango de 19 a 22 días. Adicionalmente, se puede apreciar un gradiente oeste-este de este parámetro entre la región oeste del lago y la Cordillera Occidental. Para la temporada seca extendida (mapa M-19), el rango para los valores del percentil 95 se ubica mayormente entre 3 y 5 días consecutivos con precipitación aunque en algunas estaciones este rango varía entre 5 y 7 días. El grupo de estaciones con el menor número de períodos extremadamente largos de días consecutivos con precipitación se observa en la región sudoeste, muy cerca de la Cordillera. Estas estaciones están localizadas a una mayor altitud del Altiplano. Debe notarse que las estaciones con el mayor número de CRD-95p se localizan en la región noroeste del lago pero algunas otras también se encuentran al sudeste correspondiendo espacialmente al eje NO-SE del lago.

En el caso de **períodos extremadamente largos de días sin precipitación**, CDD-

In the case of **extremely long consecutive wet days**, CRD-95p, most stations in the study region have a range between 7 and 11 days for the extended wet season (map M-18). However, six stations are in the range between 15 and 19 days. Four of the latter are located at the western shore of the lake including Isla Taquile, the station with the highest accumulated precipitation of the region. Interestingly, Berenguela, which is not near the lake, shows the largest CRD-95p value that lies between 19 and 22 days. In addition, a west-to-east gradient of this parameter is observed between the western side of the lake and the *Cordillera Occidental*. For the extended dry season (map M-19), the range for the 95th-percentile values lies mostly between 3 and 5 days of consecutive days with precipitation, although in some stations this range goes from 5 to 7 days. The group of stations with the smallest number of extremely long consecutive wet days is observed on the southwestern side, very close to the Cordillera. These stations are located at a higher altitude than the Altiplano. It should be noted that the stations with the highest number of CRD-95p are located at the northwestern side of the lake but some of them are also in the southeast corresponding spatially to the NW-SE axis of the lake.

Looking at **extremely long consecutive dry days**, CDD-95p, during the extended wet season (map M-20) almost all stations show that the most extreme frequent period without precipitation occurs between 7 and



P-18 Anverso de la planilla de San Juan Huancollo para el mes de febrero de 1992. Data sheet, front, from San Juan Huancollo station, February 1992.

Fuente/Source: SENAMHI-Bolivia.

95p, durante la temporada húmeda extendida (mapa M-20) casi todas las estaciones muestran que el período más extremo y frecuente sin precipitación ocurre entre 7 y 14 días. Se observan períodos un poco más largos en la región sudoeste. Para la estación seca extendida (mapa M-21), el grupo de estaciones cercanas a la Cordillera Occidental muestra los valores más altos de CDD-95p, entre 90 y 146 días. Por el contrario, 28 estaciones tienen entre 30 y 60 días mientras que 14 tienen un rango entre 60 y 90. Curiosamente, Berenguela tiene los períodos extremadamente largos de días consecutivos sin precipitación con 146 días.

La figura F-10 muestra todos los eventos que tienen **días consecutivos con mucha precipitación** (días con precipitación superior al percentil 95). Estos no muestra un patrón temporal o espacial claro de casos de precipitación extrema en la región de estudio. Para la temporada húmeda extendida, una oscilación de períodos húmedos a secos y más tarde de secos a húmedos es aparente, pero no para todas las estaciones. En el caso de la temporada seca extendida, la figura sugiere que hubo una disminución de estos eventos extremos entre la primera y la segunda mitad del período de estudio.

14 days. Slightly longer periods are observed in the southwestern region. For the extended dry season (map M-21) the group of stations located closer to the *Cordillera Occidental* shows the largest values of CDD-95p between 90 and 146 days. In contrast, 28 stations have this period between 30 and 60 days and 14 have a range between 60 and 90. Interestingly, the Berenguela station has the longest period of consecutive dry days, amounting to 146 days.

Figure F-10 shows all events that have **consecutive very wet days** (days with precipitation above the 95th-percentile). They do not exhibit a clear temporal or spatial pattern of cases of extreme precipitation in the region of study. For the extended wet season an oscillation from wet-to-dry and later from dry-to-wet periods is apparent but not for all stations. In the case of the extended dry season, it seems that there was a decrease of these extreme events between the first and the second half of the period of study.



T-8 Contribución (en %) de los días con mucha precipitación [mm] a la precipitación total [mm] por temporada extendida.

Contribution of very wet days to total precipitation per extended season.

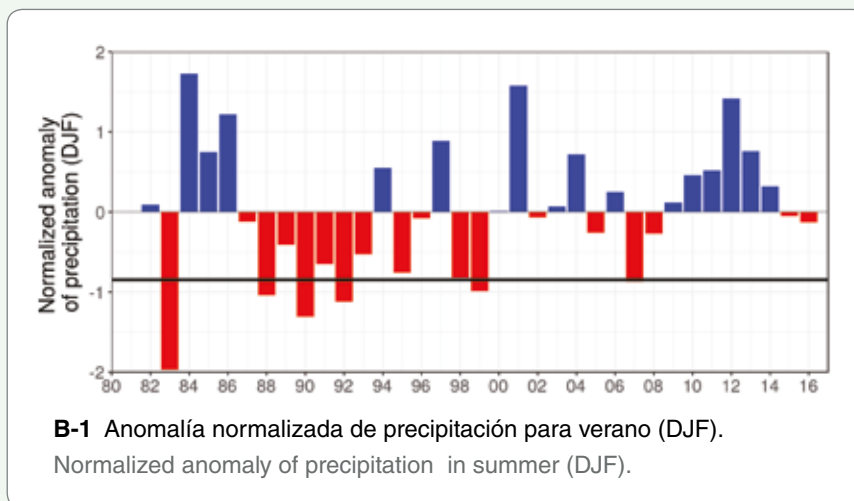
Sitio de observación Observation site	Temporada húmeda extendida Extended wet season			Temporada seca extendida Extended dry season		
	Contribución de los días con mucha precipitación Contribution of the very wet days		Precipitación total Total precipitation	Contribución de los días con mucha precipitación Contribution of the very wet days		Precipitación total Total precipitation
	[mm]	%	[mm]	[mm]	%	[mm]
Achiri	80.7	18	440.9	9.2	20	46.5
Arapa	114.6	19	599.1	28.7	25	113.1
Ayaviri	135.4	22	608.0	23.4	27	87.1
Ayo Ayo	66.9	20	334.7	15.8	21	74.0
Belén	75.4	21	357.6	21.1	22	97.0
Cabanillas	130.2	22	602.5	22.7	28	80.3
Capazo	84.6	16	526.6	6.4	24	26.6
Chuquibambilla	131.8	20	651.1	20.9	23	92.0
Cojata	108.1	18	605.5	25.8	18	141.0
Collana	97.1	21	456.2	18.3	21	87.0
Crucero	141.9	21	689.3	29.2	23	126.0
Cuyo Cuyo	114.3	17	677.2	44.1	20	222.2
Desaguadero (Perú)	147.4	22	673.2	22.1	24	90.5
El Alto Aeropuerto	116.6	23	509.1	29.3	25	117.3
Huancané	136.9	23	588.0	27.8	25	112.6
Huaraya Moho	163.7	23	719.4	34.7	24	147.5
Huarina Cota Cota	89.1	18	483.1	21.0	21	101.6
Ilave	129.5	20	657.3	25.6	25	102.2
Isla Taquile	218.9	20	1110.0	41.9	21	202.5
Juli	162.6	21	776.6	31.0	27	113.9
Lampa	143.1	22	659.5	25.9	29	89.7
Laraqueri	136.1	20	679.5	17.8	21	83.8
Mazo Cruz	95.0	20	473.0	10.1	23	44.0
Muñani	96.2	17	573.8	15.4	17	92.7
Oruro Aeropuerto	78.3	22	348.5	15.2	23	65.4
Pampahuta	147.7	20	735.5	18.2	23	80.4
Patacamaya	72.3	21	341.2	14.2	22	65.5
Pizacoma	108.6	19	563.9	10.3	22	47.3
Progreso	99.6	18	541.8	16.1	20	81.9
Pucara (Perú)	154.0	22	695.4	29.0	25	115.3
Puno	146.8	21	691.0	32.4	29	112.2
Putina	120.5	20	603.8	20.4	19	105.1
San Jose Alto	57.5	21	271.8	9.3	25	36.7
San Juan Huancollo	114.9	19	611.5	18.0	20	90.4
Santiago de Huata	75.9	16	462.5	22.2	18	121.5
Taraco (Perú)	105.2	19	547.8	19.4	21	91.8

BOX No 1:**La sequía de 1982-83 en el Altiplano / The 1982-83 drought in the Altiplano**

Noemi Imfeld - Adrian Huerta - Waldo Lavado

El Altiplano andino (15° - 24° S), con una altitud promedio de 3800 msnm, es una región muy sensible a los eventos climáticos extremos que tienen un fuerte impacto en el ganado, los cultivos, la infraestructura y la población local (CAN, 2009; Garcia et al., 2007). En 1982-83 se registraron severas condiciones de sequía en el altiplano peruano y boliviano. La sequía resultó de un déficit de lluvia durante las condiciones de El Niño en 1982-83 (véase B-1) cuando las anomalías del viento del oeste en el nivel superior inhibieron la afluencia de humedad del este (Sulca et al., 2017), y pueden haber sido amplificadas por la erupción volcánica de El Chichón en la primavera de 1982 debido a una reducción de la radiación de onda corta (visible) según lo sugerido por Iles y Hegerl (2014).

difiere ligeramente entre los datos basados en tierra y reanálisis, ambos conjuntos de datos muestran que este período fue particularmente seco. Con base en los valores de precipitación diaria, las anomalías del número máximo de días secos consecutivos (CDD, por su sigla en inglés) durante la temporada de lluvias 1982-1983 son de alrededor de ± 5 días en el Altiplano norte en comparación con la media climatológica para el período 1981-2010. En el sur del Altiplano se producen períodos secos con anomalías mucho más fuertes de hasta 25 días. Lamentablemente, no hay datos en los sitios de observación disponibles para confirmar este resultado (véase B-2). Los datos de los sitios de observación en el lado occidental del lago indican fuertes anomalías en algunos lugares que no aparecen en ERA-Interim.



El impacto de la sequía de 1983 tuvo implicaciones socio-económicas en el Altiplano peruano y boliviano. De hecho, la sequía fue la principal responsable del déficit de producción de diferentes cultivos como la papa, la quinua, etc., así como la pérdida de ganado. En Perú, el departamento de Puno fue la región más afectada, con pérdidas que representan alrededor del 30% de la pérdida total de

ese año. El índice de precipitación estandarizado (SPI, Hayes et al., 1999; WMO, 2012), calculado para un período de 6 meses a partir de los datos de precipitación del reanálisis ERA-Interim (Dee et al., 2011), confirma que las condiciones de sequía moderada a extrema ($SPI < -1$) afectaron al Altiplano de Bolivia y Perú durante la temporada húmeda extendida de 1982-83 (NDJFMA). Las estaciones también registraron condiciones secas en el lado occidental del lago pero, en este caso, los datos de ERA-Interim muestran condiciones de precipitación promedio ligeramente superiores a la media para esta región. Aunque la extensión espacial

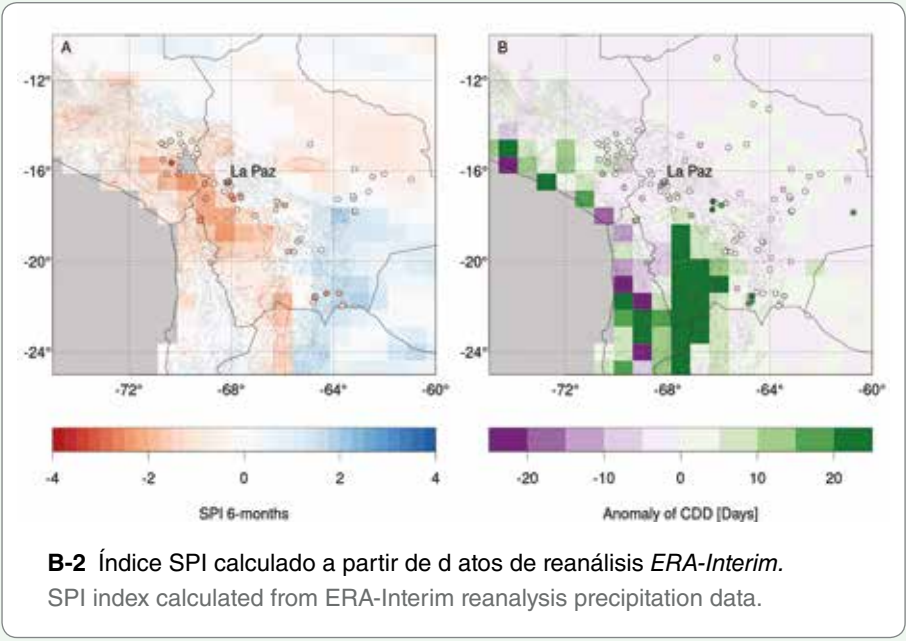
afectaron 380 000 km², cerca del 35% de la superficie boliviana (Cavledes, 1985). El fenómeno afectó a 1.5 millones de habitantes (alrededor del 25% de la población boliviana en ese momento) y causó daños estimados en \$us 500 millones durante dos años consecutivos (US AID REPORT, 1984; Böhr, 1985). Se necesita más investigación sobre las condiciones climáticas que conducen a eventos como esta sequía en la región del Altiplano para comprender mejor los posibles efectos de dichos eventos y planificar acciones de mitigación para reducir las pérdidas.



The Andean Altiplano (15°-24°S), with an average altitude of 3 800 masl, is a very sensitive region to extreme climatic events which have a strong impact on livestock, crops, infrastructure and local population (CAN, 2009; Garcia et al., 2007). In 1982-83 severe drought conditions were registered in the Peruvian and Bolivian Altiplano. The drought resulted from a rainfall

deficit during El Niño conditions in 1982-83 (see B-1) when upper-level westerly wind anomalies inhibited moisture influx from the east (Sulca et al., 2017), and may have further been amplified by the volcanic eruption of *El Chichón* in spring 1982 due to a reduction of shortwave (visible) radiation as suggested by Iles and Hegerl (2014).

Calculated for a 6-month period from ERA-Interim reanalysis precipitation data (Dee et al., 2011), the Standardized Precipitation Index (SPI; Hayes et al., 1999; WMO, 2012) confirms that moderate to extreme drought conditions (SPI<-1) affected the Altiplano of Bolivia and Peru during the 1982-83 extended wet season (NDJFMA). Stations also registered dry conditions at the western side of the lake but, in this case, ERA-Interim data show average or slightly above average rainfall conditions for this region. Although the spatial extent differs slightly between ground-based and reanalysis data, both data sets show that this period was particularly dry. Based on daily precipitation values, anomalies of the maximum number of Consecutive Dry Days index (CDD) during the 1982-1983 wet season are around ±5 days in the northern Altiplano compared to the climatological mean for the 1981-2010 period. In the southern Altiplano dry periods

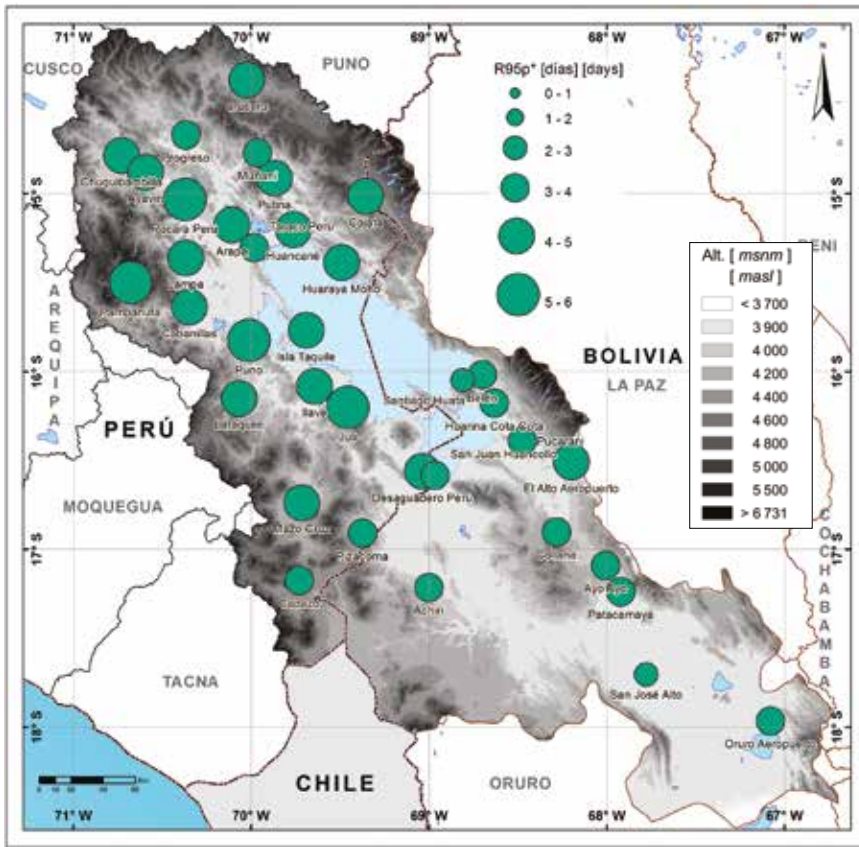


with much stronger anomalies of up to 25 days occur. Unfortunately no station data are available to confirm this result (see B-2). Station data on the western side of the lake indicate, at some locations, large anomalies that are not registered by ERA-Interim.

The impact of the 1983 drought had socio-economic implications on the Peruvian and Bolivian Altiplano. In fact, the drought was the main culprit for the production deficit of different crops like potatoes, quinoa, etc., as well as the loss of livestock. In Peru, the department of Puno was the most affected region, with losses representing around 30% of the total loss of that year. At the same time, drought conditions affected 380 000 km², around 35% of the Bolivian surface (Cavledes, 1985). The phenomenon affected 1.5 million inhabitants (around 25% of the Bolivian population at that time) and caused damages estimated of 500 million US\$ over two consecutive years (US AID REPORT, 1984; Böhr, 1985). More research about the climatic conditions leading to events like this drought in the Altiplano region is needed to better understand the possible effects of such events and plan mitigation actions in order to reduce losses.

DÍAS CON MUCHA PRECIPITACIÓN / VERY WET DAYS

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season



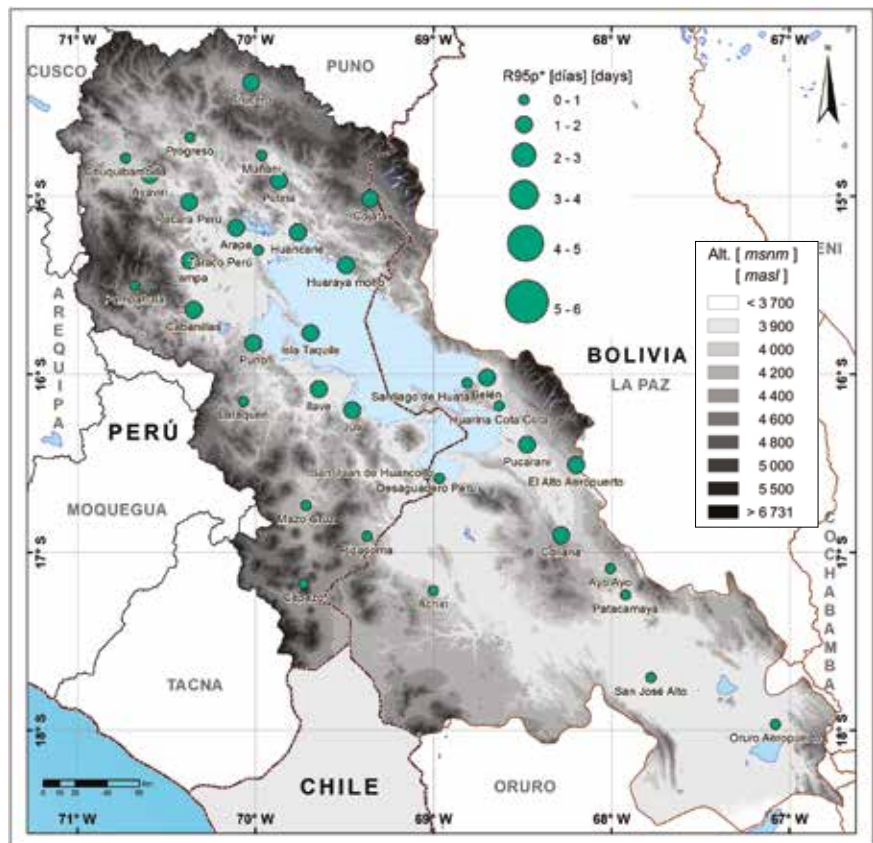
M-16 Número promedio de días con mucha precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.

Mean number of very wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.

Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season

M-17 Como en M-16 pero para la temporada seca extendida.

As in M-16 but for the extended dry season.



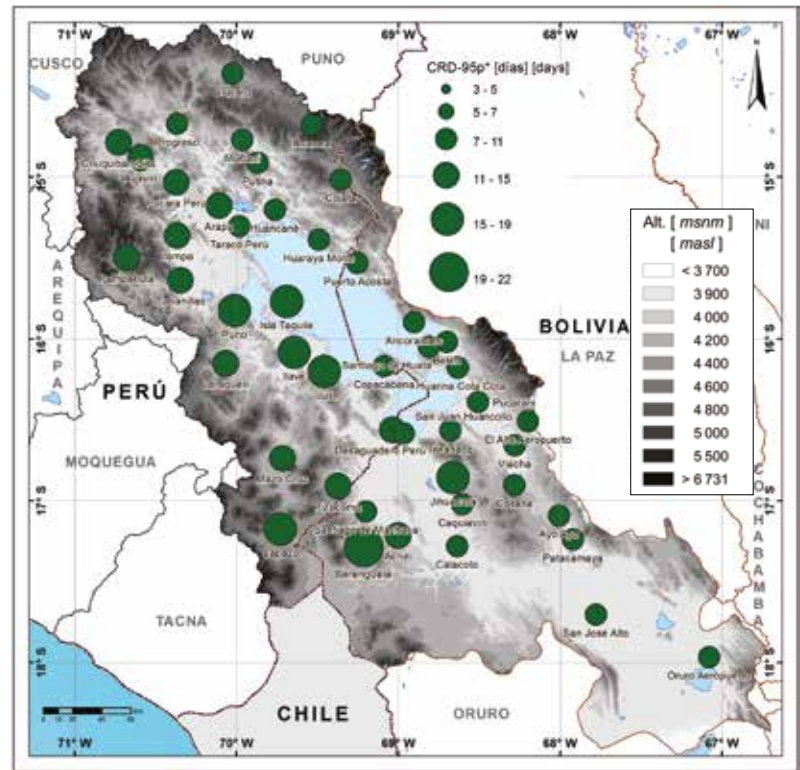


PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE DÍAS CONSECUTIVOS CON PRECIPITACIÓN / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE WET DAYS

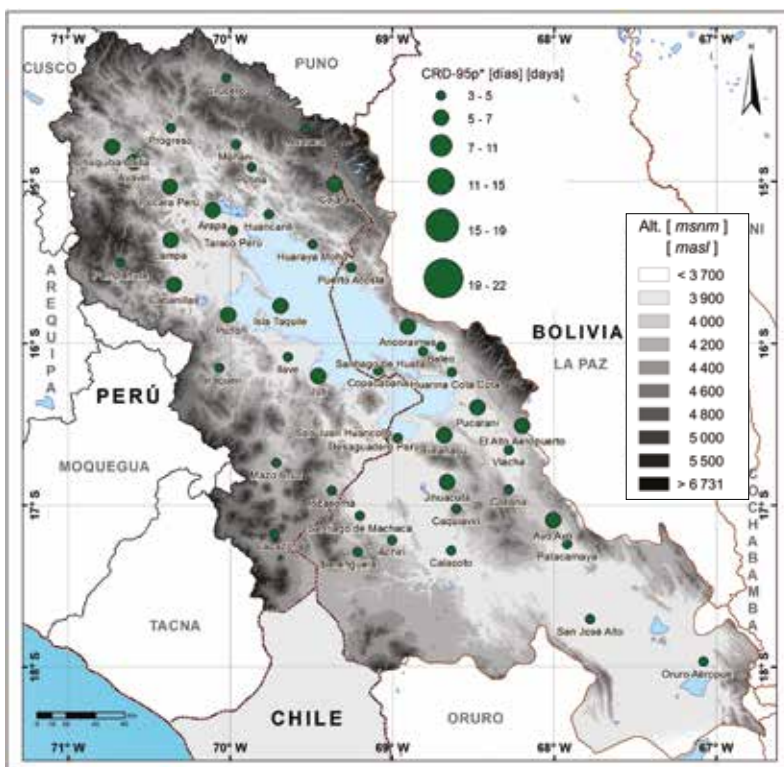
M-18 Períodos extremadamente largos de días consecutivos con precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.

Extremely long consecutive wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season



Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season



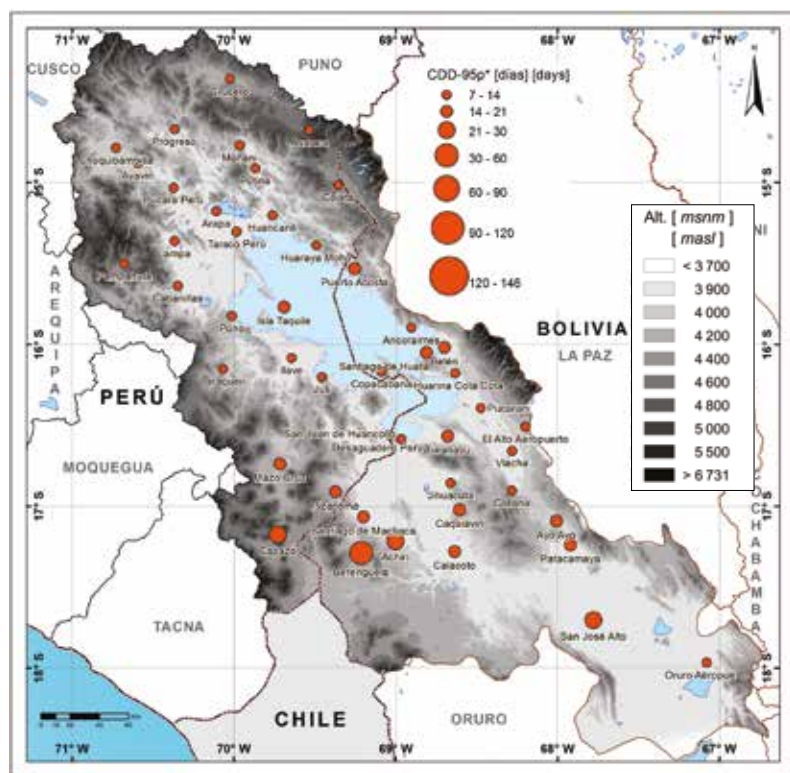
M-19 Como en M-18 pero para la temporada seca extendida.

As in M-18 but for the extended dry season.

PERÍODO EXTREMO DE DÍAS CONSECUTIVOS SIN PRECIPITACIÓN

EXTREME CONSECUTIVE DRY DAYS

Temporada húmeda extendida - NDJFMA - Extended wet season

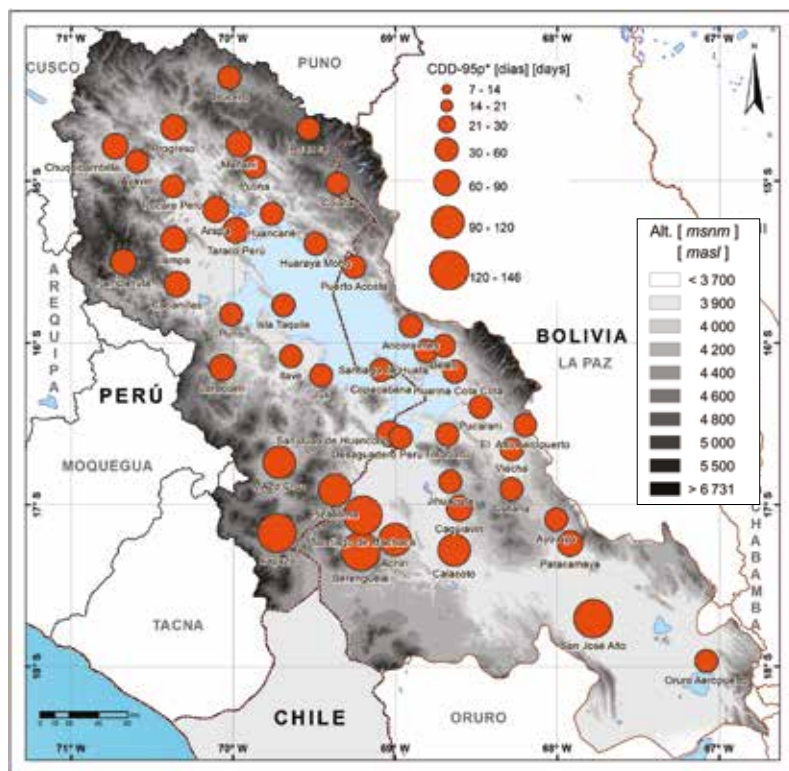


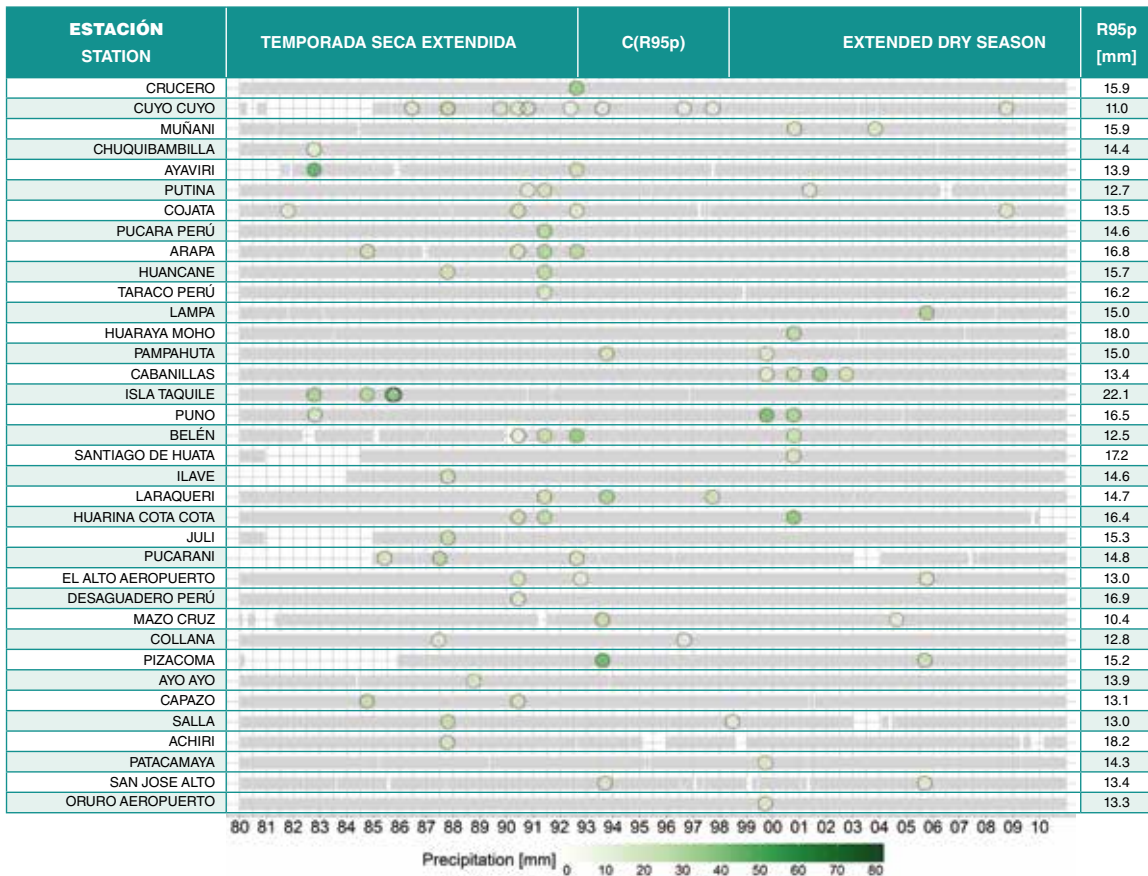
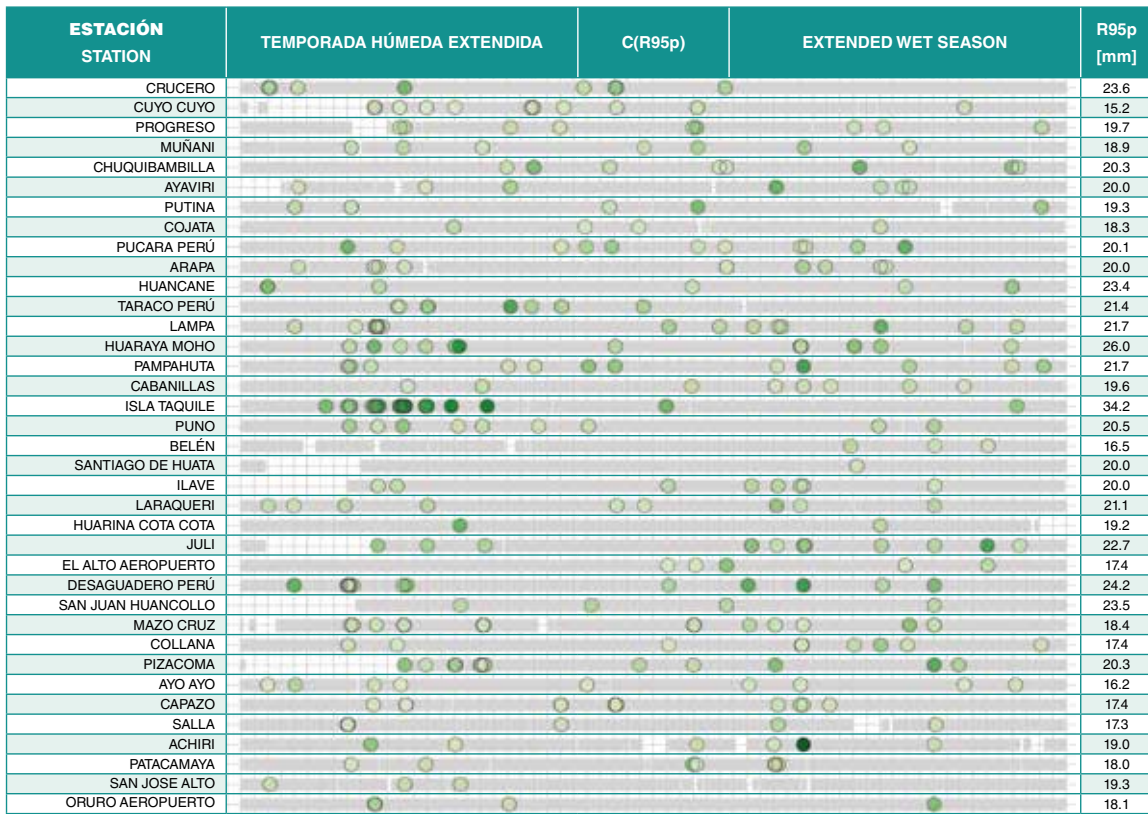
M-20 Períodos extremadamente largos de días consecutivos sin precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010.

Extremely long consecutive dry days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.

M-21 Como en M-20 pero para la temporada seca extendida. As in M-20 but for the extended dry season.

Temporada seca extendida - MJJASO - Extended dry season





F-10 Días consecutivos con mucha precipitación para las temporadas húmeda y seca extendidas. Se muestran todos los eventos que cumplen la definición del índice C(R95p) de la tabla T-7 en el período de estudio. Las barras indican la existencia de datos (plomo) o la falta de los mismos (blanco) en una fecha dada entre enero 1 de 1981 y diciembre 31 de 2010. Los círculos muestran cuando ocurrieron estos eventos y los colores indican cuál la precipitación alcanzada en los mismos. Se muestran también, a la derecha del gráfico, los valores del umbral que define el percentil 95 climatológico de precipitación acumulada por sitio de observación, para considerar al evento como uno con mucha precipitación. Todos los eventos graficados tienen al menos dos días consecutivos con precipitación extrema (por encima del percentil 95 en cantidad).

Consecutive very wet days for the extended wet and dry seasons. All events that follow the definition of the C(R95p) index given in table T-7 are shown in the figure. The bars indicate the existence (gray) or the lack (white) of data at a given date between January 1, 1981 and December 31, 2010. Circles show when these events occurred and colors indicate the average precipitation reached at that time. In addition, on the right hand side of the figure, are shown values of the 95th-percentile thresholds of accumulated precipitation by observation site, for the event to be considered as very wet. All events in the figure have at least two consecutive days with extreme precipitation (above the 95th-percentile in amount).

BOX No 2:**Precipitaciones extremas en La Paz / Extreme precipitation in La Paz**

Marcelo Zamuriano

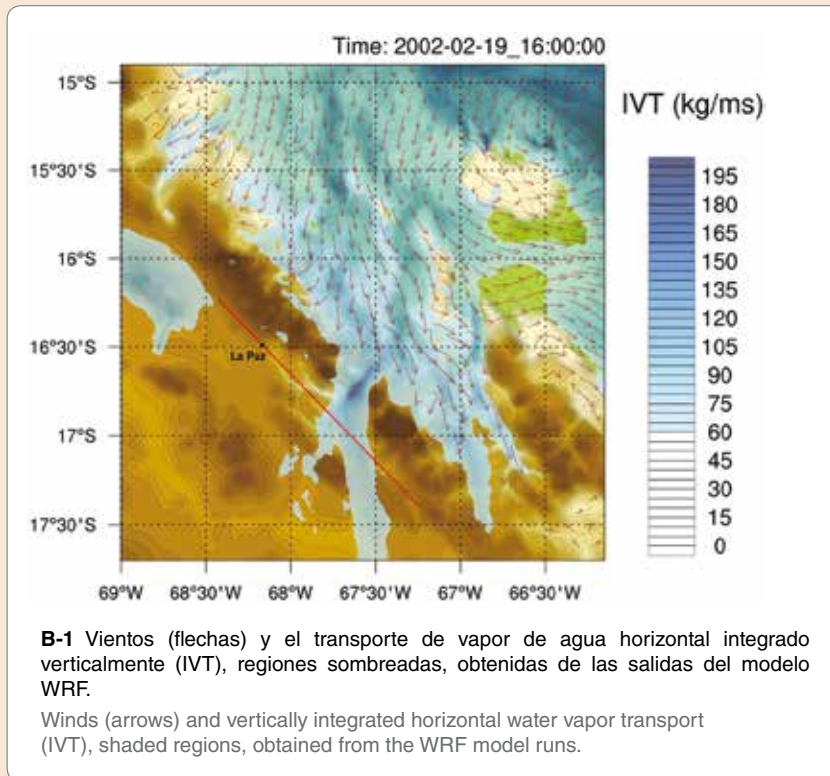
El 19 de febrero de 2002 entre las 18:20 y las 19:45 (UTC) se produjo una intensa tormenta en la ciudad de La Paz, Bolivia (68,1°W, 16,5°S). En esa ocasión uno de los pluviómetros de la ciudad midió 73.7 mm de precipitación. La tormenta provocó un evento de inundación repentina en el corazón de la ciudad. Causó tal daño, tanto a personas como a infraestructura, que fue descrito como

Para mejorar la resolución espacial, se utilizó la versión 3.7.1 (*Skamarock, 2008*) del modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) con un anidado de cuatro niveles con resoluciones de 54, 18, 6 y 2 km. En la resolución más fina WRF reproduce razonablemente bien la topografía de la región. El modelo, utilizando los campos del *Final Operational Analysis* (basados en el modelo

Global Forecasting System, GFS) como condiciones iniciales y de contorno, muestra que el 19 de febrero de 2002 ocurrió una incursión repentina de aire húmedo 12 horas antes del evento de granizo. Los resultados se muestran en la figura B-1 donde se grafican los vientos (flechas) y el transporte de vapor de agua horizontal integrado verticalmente (IVT), regiones sombreadas. Se observa una clara intrusión de humedad en la región andina, específicamente cerca del área metropolitana de La Paz / El Alto, pocas horas antes del evento del granizo.

La figura B-2 muestra la estructura vertical a través de la línea roja en la figura B-1 durante el evento. Se trazan la humedad relativa (tonos verdes), la temperatura del aire (contorno azul) y la velocidad

del viento vertical (contorno negro). Es posible identificar un movimiento vertical importante de aire húmedo sobre La Paz. Esta corriente cruza la línea de 0°C a una altitud de alrededor de 5 km y se enfría con relativa rapidez para la generación de granizo. Los valores de intensidad de precipitación producidos por el modelo no se muestran porque eran demasiado bajos. Este comportamiento es consistente con los resultados de *Mourre et al. (2016)*, quienes encontraron que WRF proporciona valores de precipitación poco realistas sobre los Andes centrales. Las razones detrás de estos valores inexactos podrían ir desde la inadecuada información de la superficie hasta el esquema de microfísica de nubes utilizado por el modelo. La investigación sobre este tema sigue siendo un tema importante ya que las nubes son uno de los componentes más desafiantes del sistema climático a ser modelado. Esta particularidad se agrava por la compleja topografía en las que estas se forman en esta región.



un desastre natural excepcional (*Hardy, 2009*). Para comprender las condiciones meteorológicas que llevaron a tal evento extremo, se usaron los datos del reanálisis ERA-Interim (*Dee et al., 2011*) para obtener información de escala sinóptica y un modelo numérico de área limitada (LAM) de alta resolución para el caso de la dinámica de escala local.

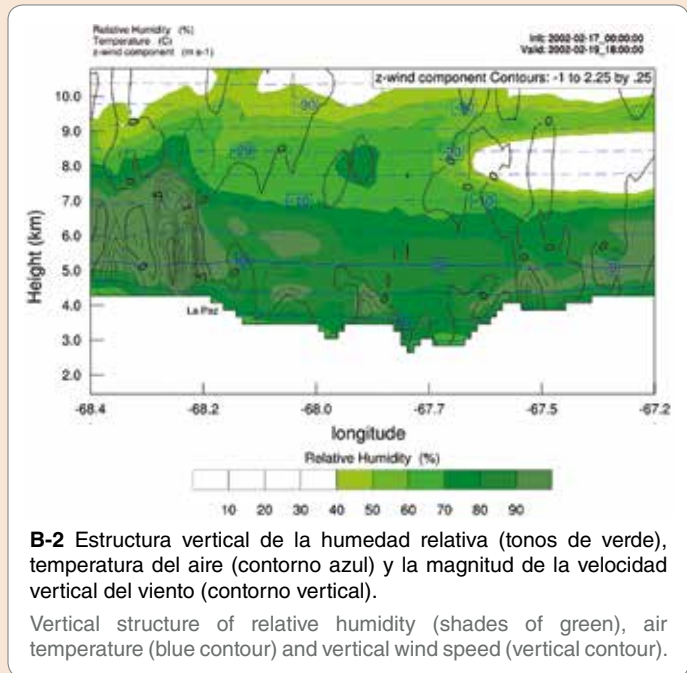
Los eventos extremos en regiones montañosas son difíciles de modelar porque son el resultado de procesos hidrometeorológicos regionales muy diversos, que en general no están bien representados por los Modelos de Circulación Global (GCMs por sus siglas en inglés) principalmente debido a su resolución espacial (~25-75 km) que apenas reproducen el topografía compleja de la región. Sin embargo, los GCMs generalmente pueden reproducir las principales características atmosféricas a un nivel sinóptico y pueden proporcionar información muy útil para los sistemas de alerta de inundación de rango medio.



On February 19, 2002 between 18:20 and 19:45 (UTC) an intense thunderstorm occurred in the city of La Paz, Bolivia (68,1°W, 16.5°S). An amount of 73.7 mm of precipitation was measured at one of the city's rain gauge. The storm resulted in a flash flood event in the heart of the city. It caused such damage, both to individuals and infrastructure, that it was described as an exceptional natural disaster (Hardy, 2009). In order to understand the meteorological conditions that led to such extreme event, data from the ERA-Interim reanalysis (Dee et al., 2011) for synoptic scale information and a high resolution numerical Limited Area Model (LAM) for local scale dynamics were used.

Extreme events in mountainous regions are difficult to model because they result from very diverse regional hydrometeorological processes, which in general are not well represented by Global Circulation Models (GCMs) mostly because of their spatial resolution (~25-75 km) that hardly reproduce the complex topography of the region. Nevertheless, GCMs are usually able to reproduce the main atmospheric features at a synoptic level and they can provide very useful information for medium-range flood warning systems. In order to improve the spatial resolution, Weather Research and Forecasting (WRF) Model version 3.7.1 (Skamarock, 2008) was used at a four-level nesting with resolutions of 54, 18, 6 and 2 km. At the highest resolution WRF reproduces reasonably well the topography of the region. The model, using the Final Operational Analysis FNL fields (based on the Global Forecasting System model) as boundary and initial conditions, show that on 19 February 2002 a sudden incursion of humid air 12 hours before the hail event occurred. The results are shown in figure B-1 where winds (arrows) and vertically integrated horizontal water vapor transport (IVT), shaded regions, are plotted. A clear intrusion of moisture into the Andean region, and specifically close to the metropolitan area of La Paz/El Alto, is observed few hours before the hail event.

Figure B-2 shows the vertical structure across the red line in figure B-1 during the event. Relative humidity (green shades), air temperature (blue contour) and vertical wind speed (black contour) are plotted. It is possible to identify an important vertical motion of humid air over La Paz. This stream crosses the 0°C line at an altitude of around 5 km and cools fast enough for hail generation. The precipitation intensity values produced by the model are not shown because they were too low. This behavior is



consistent with the results of Mourre et al. (2016), who found that WRF gives unrealistic precipitation values over the central Andes. The reasons behind these inaccurate values range from inadequate land information to the cloud microphysics scheme used by the model. Research on this subject is still an important topic since clouds are one of the most challenging components of the climate system to be modeled. This particularity is aggravated by the complex topography in which they form in the La Paz area.



Vista de la calle Mercado, la más afectada en el centro de la ciudad.

View of *Mercado* street, the most affected in the center of the city.

Fuente/Source: La Razón





5

TEMPERATURA:
CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS

TEMPERATURE:
CLIMATOLOGY AND INDICES OF EXTREME EVENTS



La temperatura es uno de los parámetros meteorológicos más importantes. Ejerce influencia, en escalas de tiempo cortas y largas, sobre la manera en que los organismos, incluidos los humanos, se comportan e interactúan con el medio ambiente. La temperatura superficial es primordialmente controlada por radiación solar pero la nubosidad, el albedo de la superficie, la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, así como características topográficas locales, afectan la temperatura a una escala espacial local. Los grandes cuerpos de agua también afectan la temperatura local ya que éstos actúan como reservorio de energía. Por ejemplo, la temperatura alrededor de lagos u océanos típicamente experimentan menor variabilidad que la que se observa en localidades tierra adentro. La razón está vinculada a la mayor capacidad calorífica del agua que le permite almacenar energía cuando la temperatura superficial es alta (como ocurre durante el día o, también, a una escala de tiempo mayor durante el verano) y liberar calor cuando los alrededores se encuentran más fríos como ocurre en la noche o en invierno.

Temperature is one of the most important meteorological parameters. It influences, on short and longtime scales, the way living organisms, including humans, behave and interact with their environment. Surface temperature is primarily controlled by solar radiation, but cloudiness, surface albedo, atmospheric concentration of greenhouse gases, as well as more local topographic features, affect temperature at local spatial scales. Large bodies of water also affect local temperature since they act as energy reservoirs. For instance, temperature around lakes or oceans typically experience less variability than the ones observed inland. The reason is related to the higher heat capacity of water that allows it to store energy when surface temperatures are high (like during the day or during summer on longer time scales) and release heat when the surroundings are colder like at night or winter.

Daily maximum and minimum temperatures are typically measured due to their impact on different areas of human activities like agriculture but also in terms of human



P-19 Formación de escarcha en plantas acuáticas que se producen por temperaturas que descienden por debajo de 0°C. Puno, Perú.

Frost formation in aquatic plants that are produced by temperatures that fall below 0°C. Puno, Peru.

Las temperaturas máxima y mínima diarias se miden típicamente debido a su impacto en diferentes áreas de la actividad humana como la agricultura así como en términos del confort humano. Debido a que la temperatura más alta en un período de 24 horas sucede típicamente durante la tarde, la temperatura máxima está asociada a

comfort. Because the highest temperature of a 24-hour period typically occurs during the afternoon, maximum temperature is associated with daytime temperatures whereas because the minimum temperature occurs just before or around sunrise this parameter is associated with nighttime temperatures. Both minimum and maximum



las temperaturas diurnas. Por el contrario, dado que la temperatura mínima ocurre justo antes o cerca de la salida del sol, este parámetro está asociado con temperaturas nocturnas. Tanto la temperatura mínima como la máxima son en general el resultado del balance energético, mayoritariamente entre la radiación de onda corta (solar) y la radiación de onda larga (térmica) aunque otros procesos, como la convección y la advección, juegan un rol para establecer tanto la temperatura mínima como la máxima.

La OMM (*WMO, 1992*) define la temperatura como una cantidad física que caracteriza el movimiento aleatorio promedio de las moléculas en un cuerpo físico. La temperatura se caracteriza por el comportamiento por el cual dos cuerpos en contacto térmico tienden a una misma temperatura. Por lo tanto, la temperatura representa el estado termodinámico de un cuerpo, y su valor está determinado por la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos.

Para fines meteorológicos, las temperaturas se miden para varios medios. La variable más común medida es la temperatura del aire (a varias alturas). Otras variables son las temperaturas del suelo, hierba mínima y temperatura del agua de mar. La OMM (*WMO, 1992*) define la temperatura del aire como "la temperatura indicada por un termómetro expuesto al aire en un lugar protegido de la radiación solar directa". Aunque esta definición no se puede usar como la definición de la cantidad termodinámica en sí misma, es adecuada para la mayoría de las aplicaciones (tomado de *WMO CIMO guide, 2014, p. 63*).

La temperatura máxima depende fuertemente de la radiación solar que llega a la superficie y por tanto depende de la cobertura nubosa y de las partículas suspendidas en el aire que modulan el ingreso de energía. Esto es especialmente importante en la región tropical en la que

temperatures are usually the result of energy balance, mostly between shortwave (solar) and longwave (thermal) radiation but other processes, like convection and advection, play a role in establishing minimum and maximum temperatures as well.

WMO (1992) defines temperature as a physical quantity characterizing the mean random motion of molecules in a physical body. Temperature is characterized by the behavior whereby two bodies in thermal contact tend to an equal temperature. Thus, temperature represents the thermodynamic state of a body, and its value is determined by the direction of the net flow of heat between two bodies.

For meteorological purposes, temperatures are measured for a number of media. The most common variable measured is air temperature (at various heights). Other variables are ground, soil, grass minimum and seawater temperature. *WMO (1992)* defines air temperature as "the temperature indicated by a thermometer exposed to the air in a place sheltered from direct solar radiation". Although this definition cannot be used as the definition of the thermodynamic quantity itself, it is suitable for most applications (taken from *WMO CIMO guide, 2014, p. 63*).

Maximum temperature strongly depends on solar radiation reaching the Earth's surface and hence on cloudiness and suspended particles in the air which modulate the input of energy. This is especially important in the tropical region where solar elevation is high throughout the year producing relatively small variability in terms of energy availability and change in day length. Daily minimum temperature, on the other hand, is more influenced by topographic features, like surface elevation but also by cloudiness because clouds absorb and re-emit infrared radiation, from and to the surface, which also influences surface temperature.



el ángulo de elevación solar es alto a lo largo del año originando una variabilidad relativamente pequeña en términos de disponibilidad de energía y cambios en la duración del día. Por otro lado, la temperatura mínima diaria es más influenciada por características topográficas como la elevación de la superficie, pero también por la nubosidad ya que las nubes absorben y reemiten radiación infrarroja, desde y hacia la superficie que también influye el valor de la temperatura.

5.1. NORMALES CLIMÁTICAS PARA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA

La temperatura superficial en la región de estudio es fuertemente influenciada por diferentes factores como la elevación del sol, la altitud de la superficie, el contenido de vapor de agua y la nubosidad. La latitud no juega un rol importante ya que la región se encuentra limitada apenas entre 14°S y 16.5°S. Los mapas de promedios anuales tanto de temperatura máxima (mapa M-22) y mínima (mapa M-28), guardan semejanza al mapa de elevación superficial. Ambas variables muestran claramente la presencia de las cadenas montañosas a ambos lados de la región de estudio¹. La **temperatura máxima promedio anual** (mapa M-22) en la región muestra un valor entre 12.0°C y 16.5°C para el Altiplano. La temperatura máxima promedio más alta se observa en la parte ubicada más al sur con valores entre 19.5°C y 21°C. Los valores más bajos en la

5.1. CLIMATE NORMALS FOR DAILY MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE

Surface temperature in the region of study is strongly influenced by different factors like sun elevation, surface altitude, water vapor content and cloudiness. Latitude does not play a major role because the region is encompassed between 14°S and 16.5°S only. Maps of mean annual temperature, both maximum (map M-22) and minimum (map M-28), resemble the surface altitude map. Both variables clearly show the presence of the mountain chains at both sides of the region of study¹. **Mean annual maximum temperature** (map M-22) in the region shows a mean annual value between 12.0°C and 16.5°C for the Altiplano. The highest mean maximum temperature is observed at the most southern part with values between 19.5°C and 21°C. The lowest values in the region for this variable are related to the highest points in the mountainous region lying between 7.5°C and 9.0°C. Mean annual minimum temperature is around -1.5°C (map M-28). The lowest mean annual values take place at the highest points of the region between -7.0°C to -6.5°C.

The temporal evolution of both minimum and maximum temperatures is seen in the **seasonal mean temperature** maps. For maximum temperature (maps M-23 to M-26)



P-20 Tormenta de polvo en el Altiplano. Puno, Perú.

Dust storm in the Altiplano. Puno, Peru.

¹ El Lago Titicaca ha sido enmascarado debido a que hay muy pocas estaciones en las islas o inclusive en la orilla del lago para generar una interpolación que tenga sentido.

¹ Lake Titicaca has been masked because there are very few stations in islands or even at the shores of the lake to produce a meaningful interpolation.



P-21 Formación de escarcha causada por la humedad y las bajas temperaturas que congelan la superficie de plantas y terrenos. Puno, Perú.

Frost formation caused by humidity and low temperatures that freeze the surface of plants and grounds. Puno, Peru.



RD

región para esta variable están vinculadas a los puntos más elevados en la región montañosa y se encuentran entre 7.5°C y 9°C. La temperatura mínima promedio anual se encuentra alrededor de -1.5°C (mapa M-28). Los valores promedio más bajos se encuentran en los puntos más altos de la región con temperaturas entre -7.0°C y -6.5°C.

La evolución temporal de ambas temperaturas mínima y máxima se muestra en los mapas de **temperatura promedio estacional**. Para la temperatura máxima (mapas M-23 al M-26) los valores máximos, en términos de su distribución espacial, ocurren en el extremo sur en todas las temporadas. Los valores más altos, temporalmente hablando, acontecen en la temporada de transición de seca a húmeda (primavera) y no en verano como podría esperarse. En contraste, los valores más bajos para la temperatura máxima acontecen en temporada seca (invierno) como era de suponerse. Este comportamiento puede explicarse debido a la nubosidad presente en la región. Las medidas de radiación ultravioleta en La Paz, Bolivia (16.5°S, 68.1°O, 3420 msnm) muestran claramente (Zaratti et al., 1996) una alta variabilidad en verano, típica de días nublados, y poca variabilidad en invierno con cielos muy claros que ocurren en el Altiplano. Datos tomados en Chacaltaya (5240 msnm) entre 2012 y 2015 muestran el mismo comportamiento a lo largo del tiempo para ambas temperaturas máxima y mínima.

Los mapas de temperatura mínima para diferentes temporadas (mapas M-29 al M-32) muestran que las temperaturas

the highest values, in terms of its spatial distribution, occur at the most southern part in all seasons. The largest values, temporally speaking, occur in the dry-to-wet transition season (spring) and not in summer as could be expected. In contrast, the lowest values for maximum temperature do occur during the dry season (winter) as expected. This behavior could be explained by cloudiness present in the region. Measurements of ultraviolet radiation at La Paz, Bolivia (16.5°S, 68.1°W, 3420 masl) have clearly shown (Zaratti et al., 1996) strong variability in summer, typical of cloudy days, and small variability in winter when very clear skies occur in the Altiplano. Data taken at Chacaltaya (5240 masl) between 2012 and 2015 show the same temporal behavior for both minimum and maximum temperature.

Mean minimum temperature maps for different seasons (maps M-29 to M-32) show that temperatures are highest during the wet season (summer) with values between 0.0°C and 1.5°C, and lowest in winter between -6.0°C and -4.5°C in the Altiplano. Maps of mean minimum temperature during both transition seasons are similar with smaller values in the dry-to-wet season (spring). These features are in agreement with the temporal evolution of solar elevation at this latitude. The lowest temperatures are associated with the mountains at both sides of the region of study in all cases. Other interesting features observed on these seasonal maps is the fact that the wet and the wet-to-dry (fall) maps are very similar for maximum temperatures whereas the maps for the transition seasons are the ones that look alike in the case of minimum



son más altas en verano (temporada con precipitación) con valores entre 0.0°C y 1.5°C, y que es mínima en invierno (temporada seca) con valores entre -6.0°C y -4.5°C en el Altiplano. Los mapas de temperatura mínima promedio estacional durante las dos temporadas de transición son similares con valores más pequeños en la temporada de transición seca a húmeda (primavera). Estas características están de acuerdo con la evolución temporal de la elevación solar a estas latitudes. Las temperaturas más bajas están asociadas con las cadenas montañosas a ambos lados de la región de estudio en todos los casos. Otra característica importante observada en estos mapas estacionales es el hecho que los mapas de la temporada

temperature. Again cloudiness seems to be a key factor for explaining this behavior.

Monthly mean temperature maps show the temporal behavior of maximum (map M-27) and minimum (map M-33) temperatures in more detail. November (map M-27xi) and December (map M-27xii), in this order, are the months with the highest temperatures for maximum temperature whereas July (map M-33vii) and June (map M-33vi) are the coldest months in the case of minimum temperature. This is also observed in the annual histograms for different stations in the region (see figure F-11 and F-12 and annexes A-3 and A-4). November is the month with the highest maximum temperature almost everywhere and



P-22 Montañas nevadas en los Andes.
Snowy mountains in the Andes.

húmeda (verano) y de transición húmeda a seca (otoño) son muy similares para temperaturas máximas, mientras que los mapas para ambas temporadas de transición son las que son similares en el caso de temperatura mínima. Nuevamente la nubosidad parece ser el factor clave para explicar este comportamiento.

Los mapas de **temperatura promedio mensual** muestran el comportamiento de las máximas (mapa M-27) y las mínimas (mapa M-33) en mayor detalle. Los meses de noviembre (mapa M-27xi) y diciembre (mapa M-27xii), en ese orden, son los meses con las temperaturas más altas para la temperatura máxima en tanto que julio (mapa M-33vii) y junio (mapa M-33vi) son los meses más fríos para el caso de

June-July are the months with the lowest temperature (both minimum and maximum), also almost everywhere. Interestingly, January has sometimes the 10th-percentile of maximum temperature close to winter values indicating the strong influence of cloudiness on the maximum temperatures. Another interesting observation about this 10th-percentile value is its steady increase from January to May in almost all stations. In fact, the temporal behavior of maximum temperature resembles a bimodal distribution with two maximums, one in May and one in November, and two minimums, one in July and one in January. In the case of minimum temperature the difference between summer and winter is less pronounced for the stations near the lake than those away from



temperatura mínima. Esto también se observa en los histogramas anuales para diferentes estaciones en la región (véase figuras F-11 y F-12 y los anexos A-3 y A-4). Noviembre es el mes con las temperaturas máximas más altas en todo lugar y junio-julio son los meses con las temperaturas más bajas (tanto máxima como mínima), de igual manera, en casi toda la región. Interesantemente, enero tiene a veces el percentil 10 de temperatura máxima cercano a los valores de invierno, indicando la gran influencia de la nubosidad para las temperaturas máximas. Otra observación interesante acerca del percentil 10 es el incremento monótono de este valor de enero a mayo en casi todas las estaciones. De hecho, el comportamiento temporal de la temperatura máxima se asemeja a una distribución bimodal cuyos máximos ocurren en mayo y en noviembre y sus mínimos suceden en julio y en enero. En el caso de la temperatura mínima, la diferencia entre verano e invierno es menos pronunciada para las estaciones cercanas al lago que aquellas lejos de él, especialmente las estaciones cercanas a la Cordillera Occidental y lejos del lago (por ejemplo, el Aeropuerto de Oruro). En este caso la temperatura mínima tiene una distribución monomodal con un mínimo claro en invierno y máximo en verano.

it, especially stations close to the *Cordillera Occidental* and faraway from the lake (for instance *Aeropuerto de Oruro*). In this case the minimum temperature has a monomodal distribution with a clear minimum in winter and a maximum in summer.

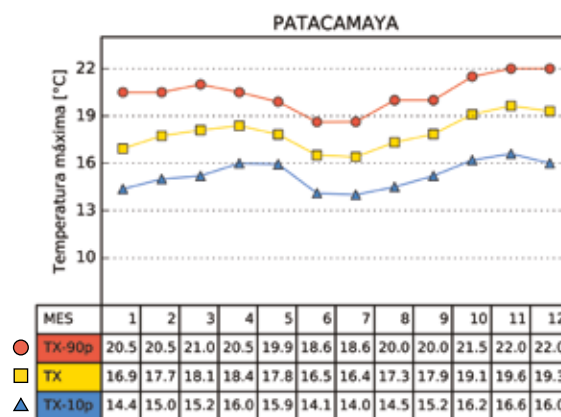
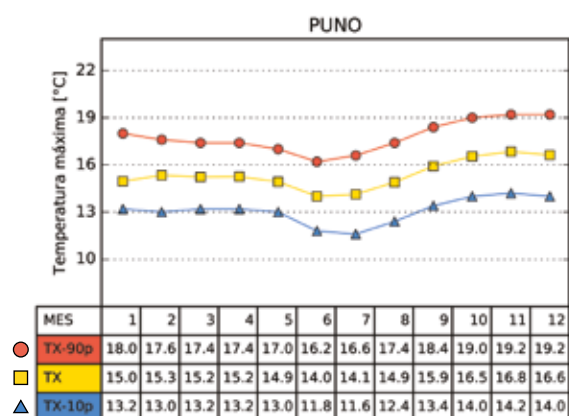
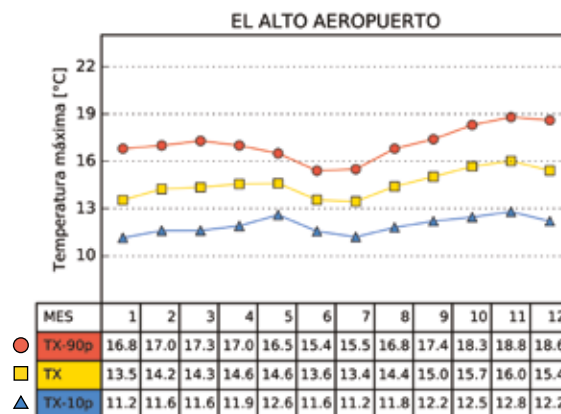
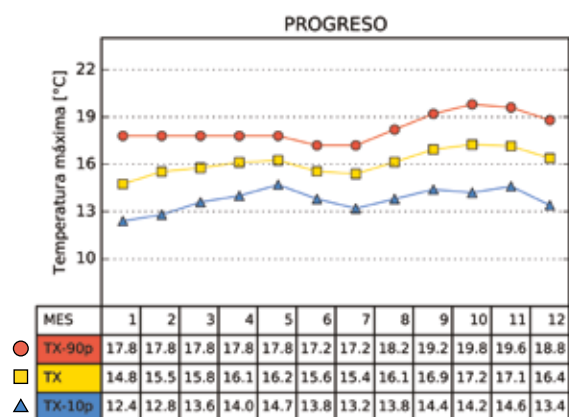


P-23 Torbellino sobre el Altiplano.
Whirlwind over the Altiplano.



COMPORTAMIENTO CLIMATOLÓGICO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA

CLIMATOLOGICAL BEHAVIOR OF MAXIMUM TEMPERATURE



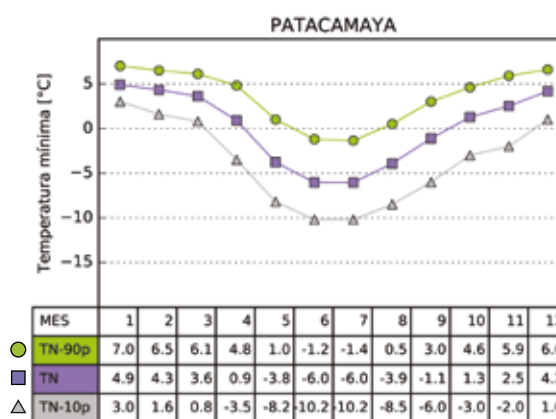
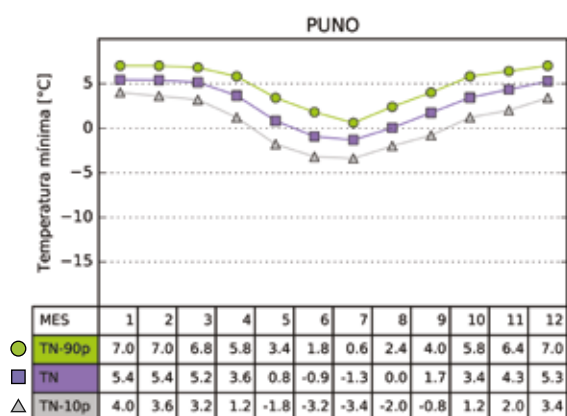
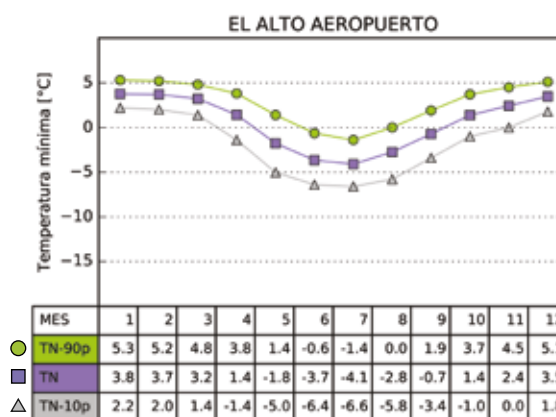
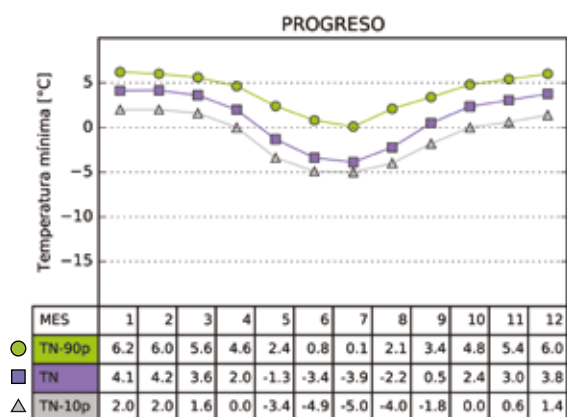
F-11 Comportamiento climatológico de la temperatura máxima. Se presentan los valores del percentil 90 (rojo), del promedio (amarillo) y del percentil 10 (azul).

Climatological behavior of maximum temperature. The values of the 90th-percentile (red), the average (yellow) and the 10th-percentile (blue) are presented.



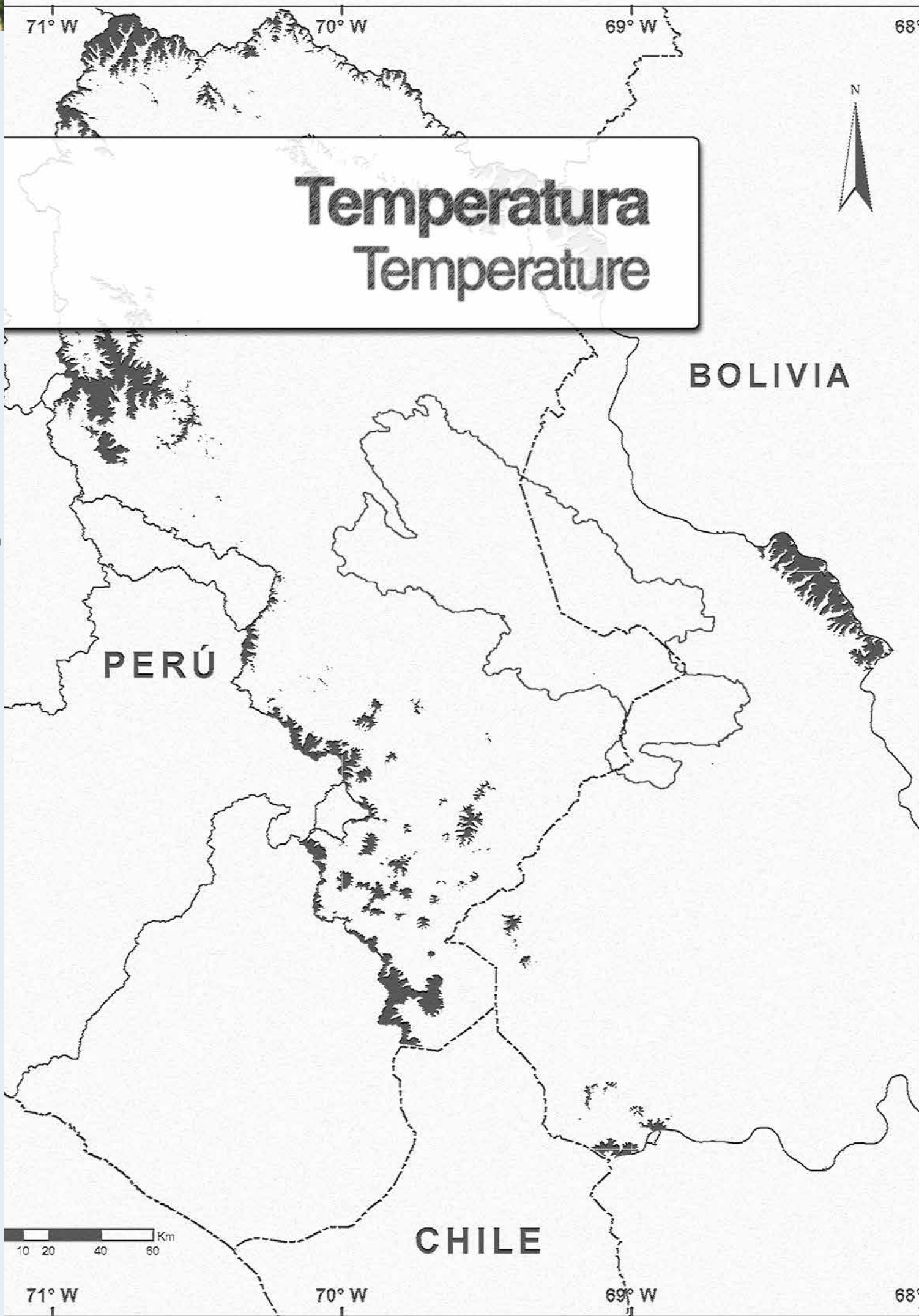
COMPORTAMIENTO CLIMATOLÓGICO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA

CLIMATOLOGICAL BEHAVIOR OF MINIMUM TEMPERATURE



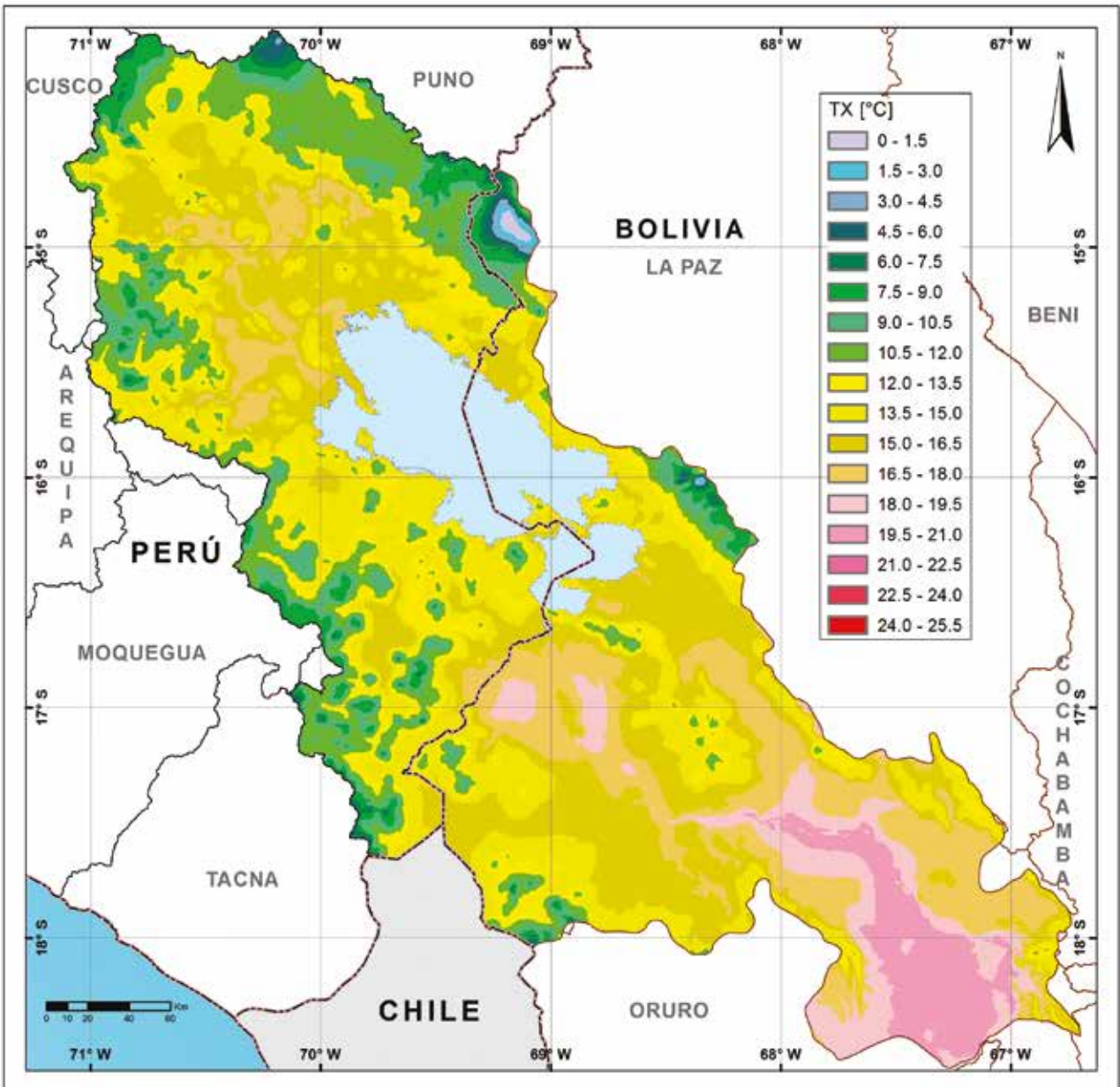
F-12 Comportamiento climatológico de la temperatura mínima. Se presentan los valores del percentil 90 (verde), del promedio (morado) y del percentil 10 (gris).

Climatological behavior of minimum temperature. The values of the 90th-percentile (green), of the average (purple) and the 10th-percentile (gray).





Temperatura máxima promedio anual Mean annual maximum temperature (1981 - 2010)



M-22 Temperatura máxima media anual.
Mean annual maximum temperature.

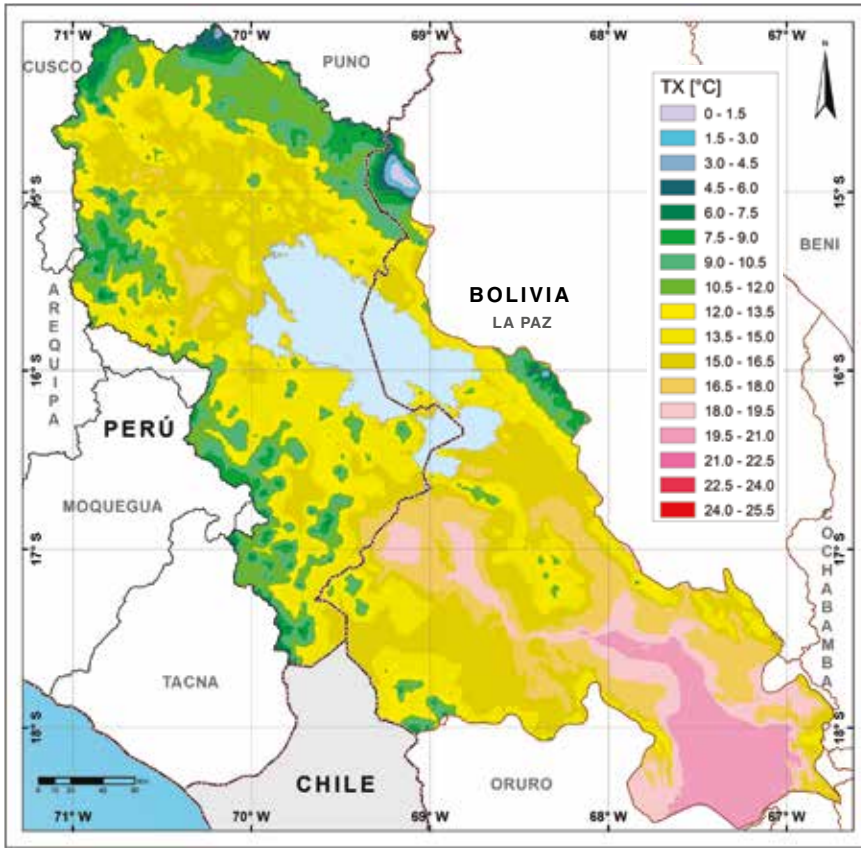


TEMPERATURA ESTACIONAL / SEASONAL TEMPERATURE

Verano

- DJF -

Summer



M-23 Temperatura máxima promedio para verano (DJF) en el período 1981-2010.

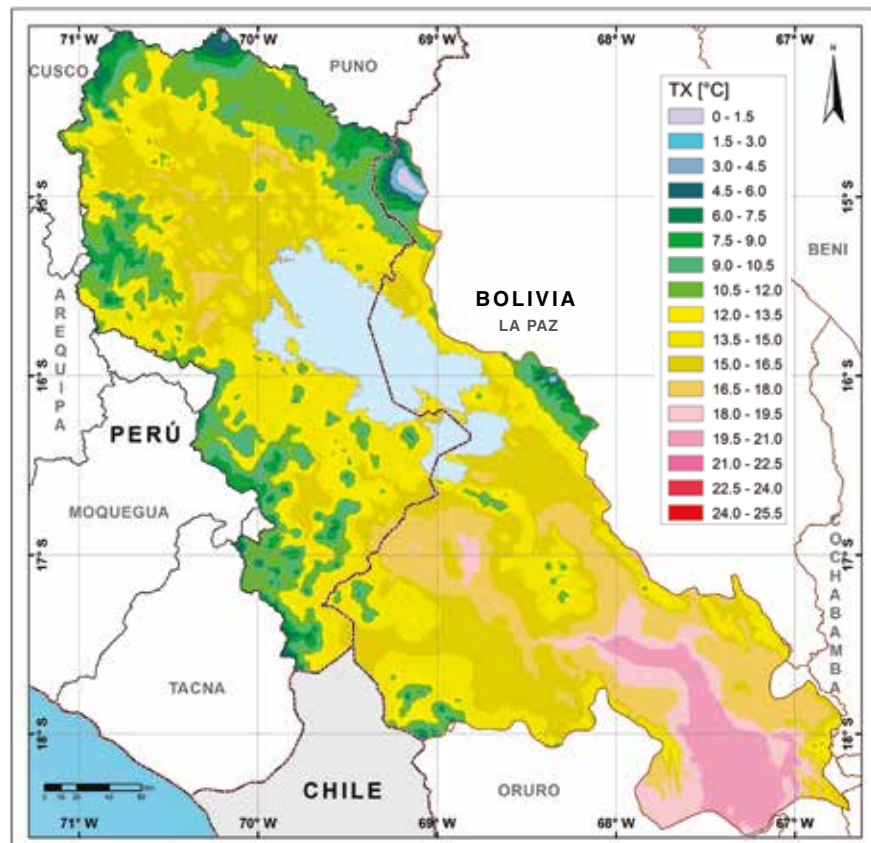
Mean maximum temperature in summer (DJF) for the 1981 to 2010 period.

M-24 Como en M-23 pero para otoño (MAM).
As in M-23 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall

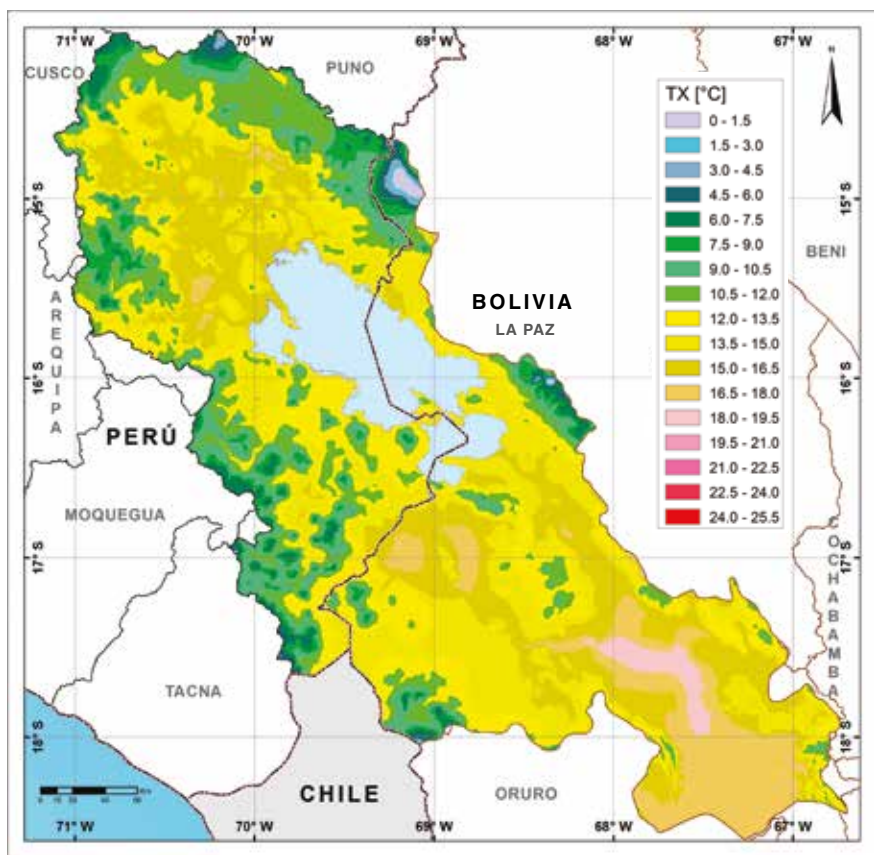




TEMPERATURA ESTACIONAL / SEASONAL TEMPERATURE

M-25 Como en M-23 pero para invierno (JJA).
As in M-23 but for winter (JJA).

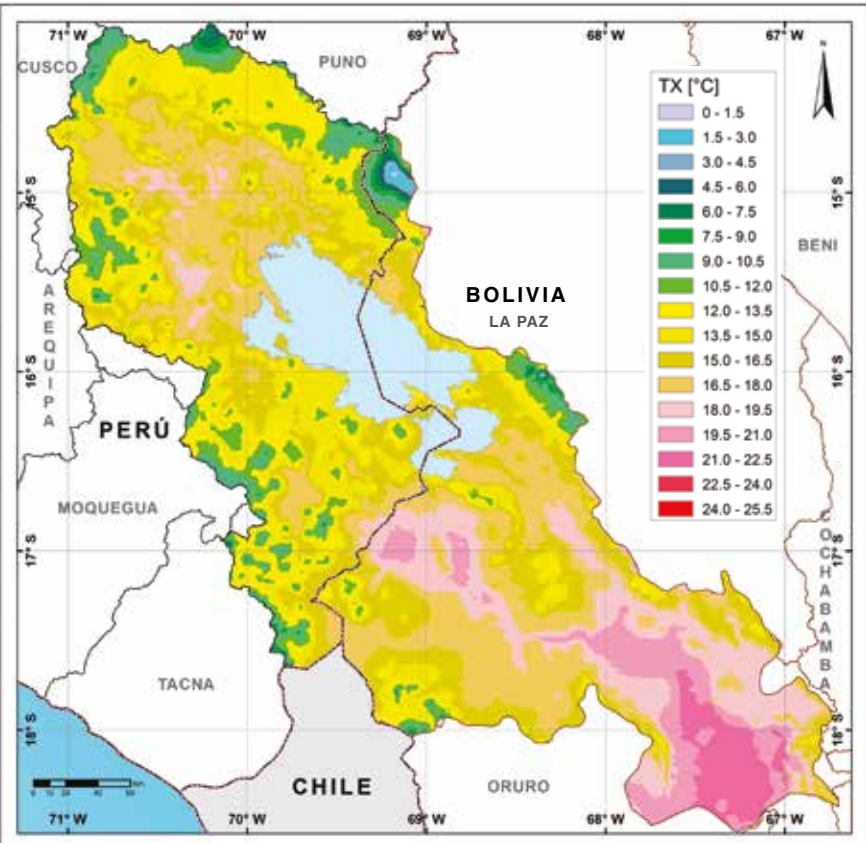
Invierno - JJA - Winter



Primavera

- SON -

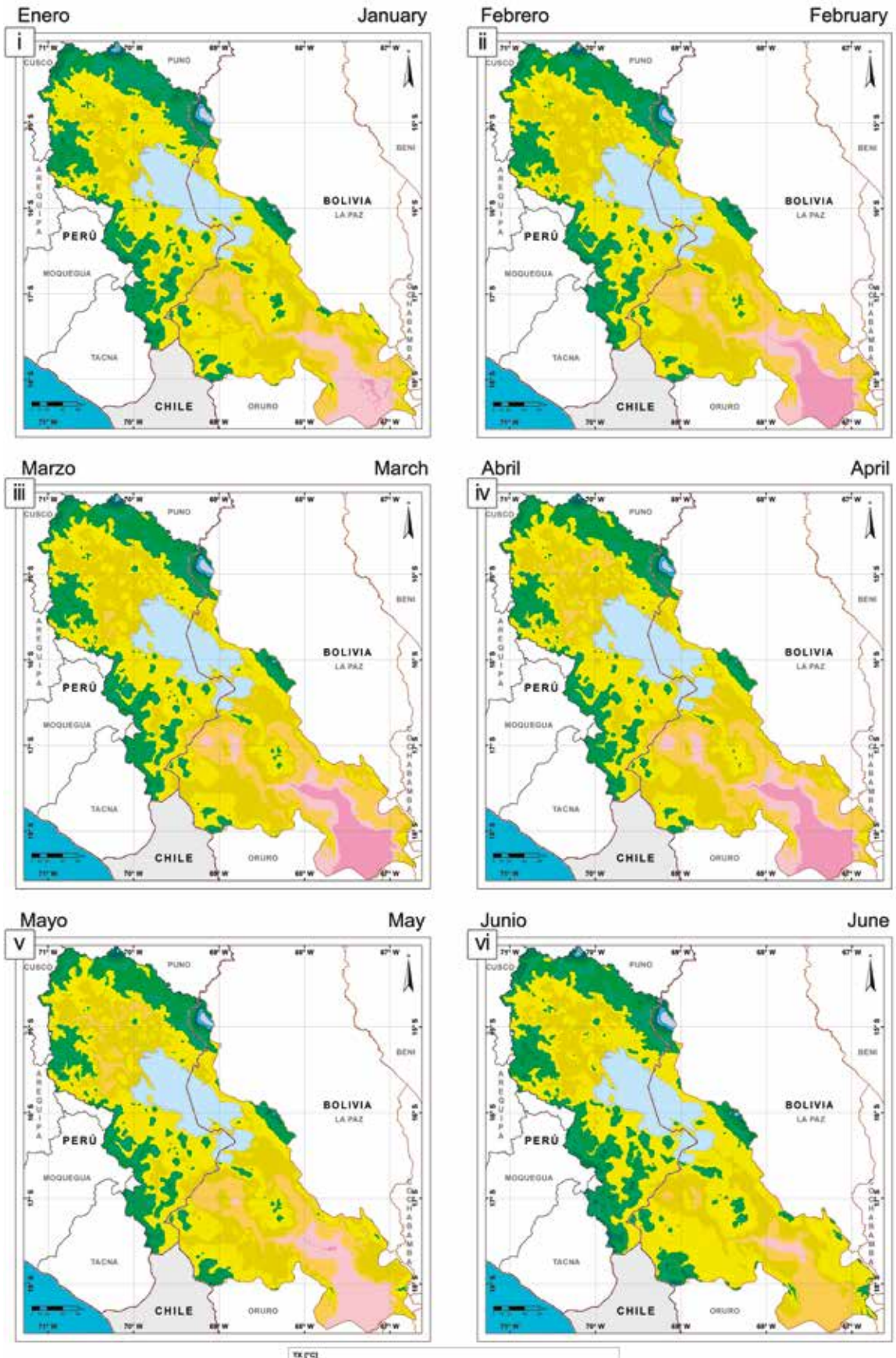
Spring



M-26 Como en M-23 pero para primavera (SON).
As in M-23 but for spring (SON).



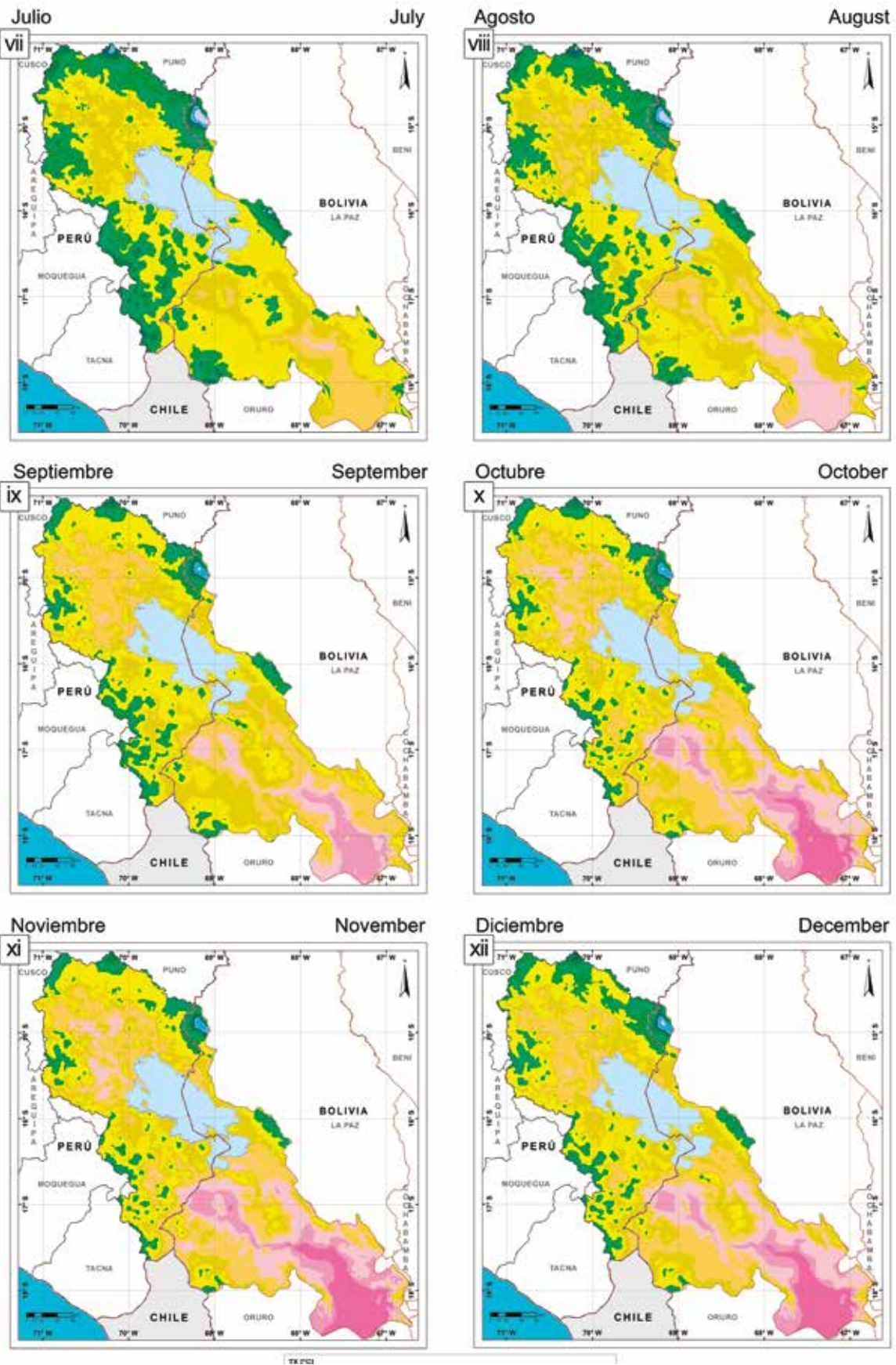
TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL / MONTHLY MAXIMUM TEMPERATURE



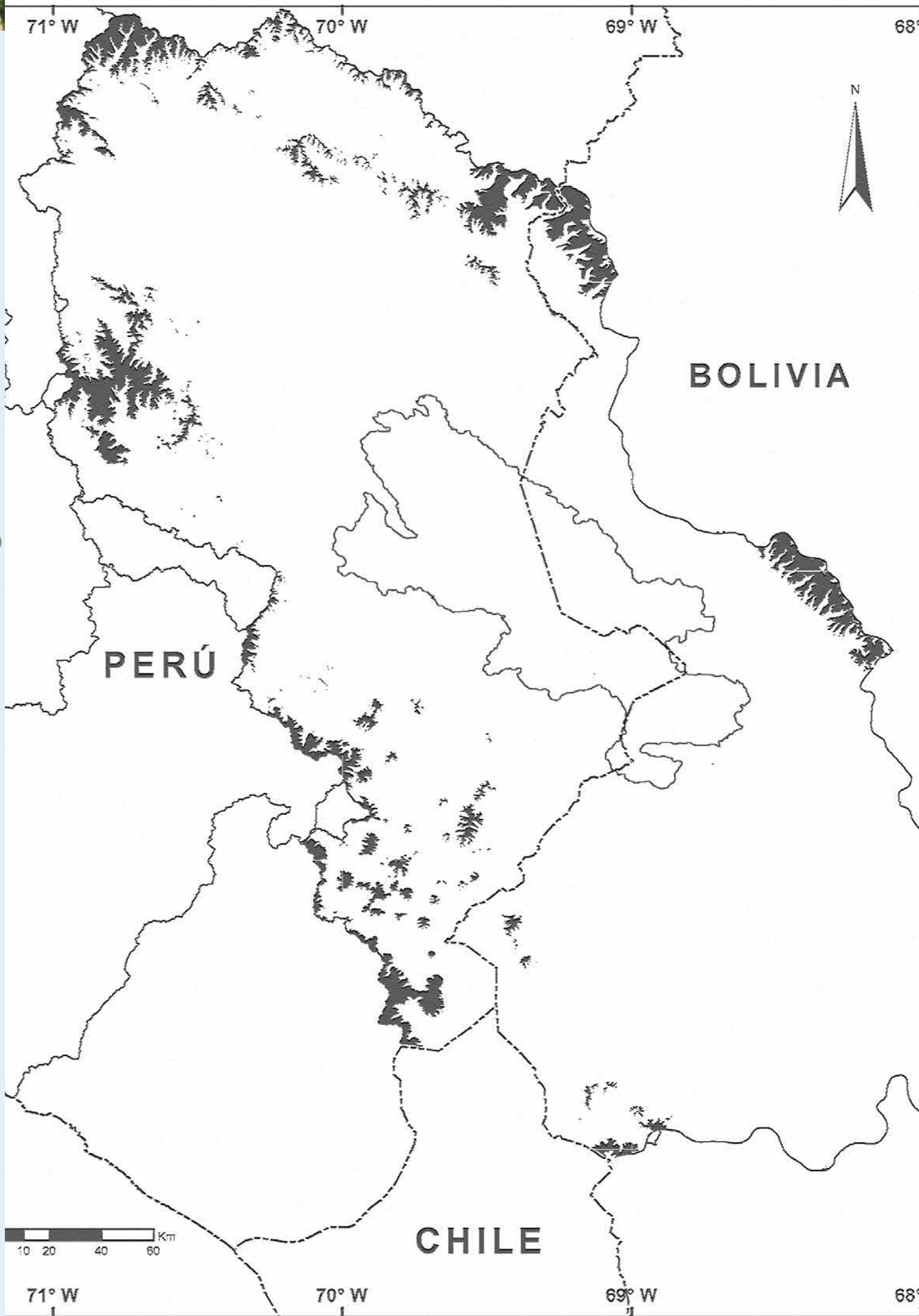
M-27 Temperatura máxima promedio mensual para el período 1981-2010. Monthly mean maximum temperature for the 1981-2010 period.



TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL / MONTHLY MAXIMUM TEMPERATURE

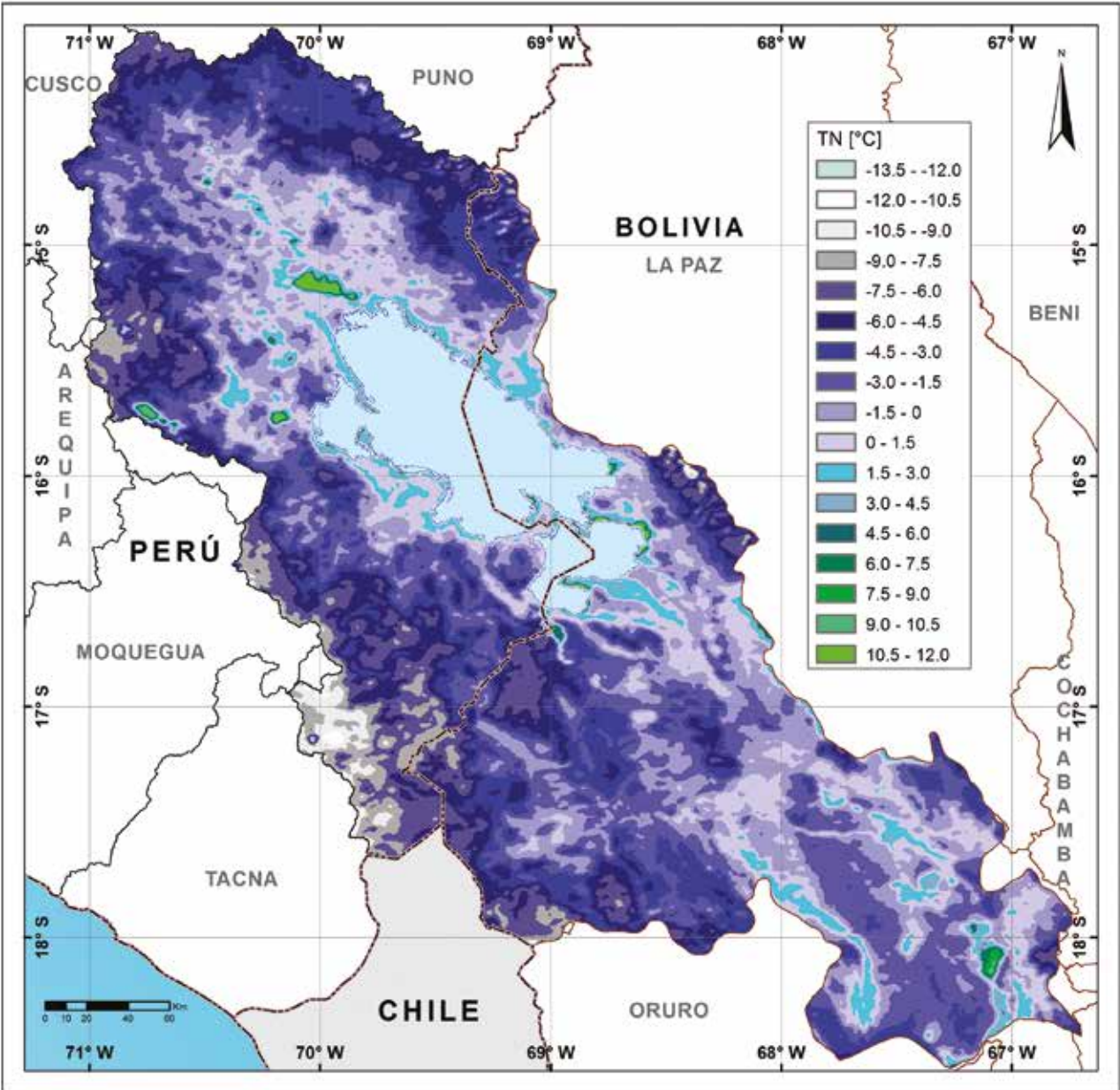


TX [°C]





Temperatura mínima promedio anual Mean annual minimum temperature (1981 - 2010)



M-28 Temperatura mínima media anual.
Mean annual minimum temperature.

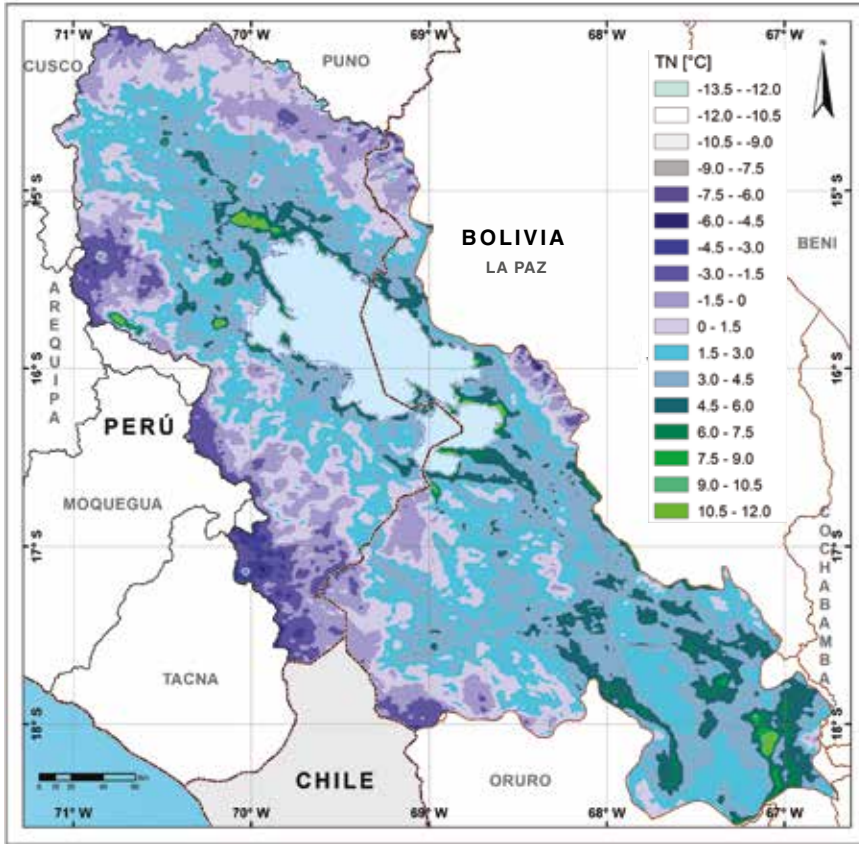


TEMPERATURA MÍNIMA ESTACIONAL / SEASONAL MINIMUM TEMPERATURE

Verano

- DJF -

Summer



M-29 Temperatura mínima promedio para verano (DJF) para el período 1981-2010.

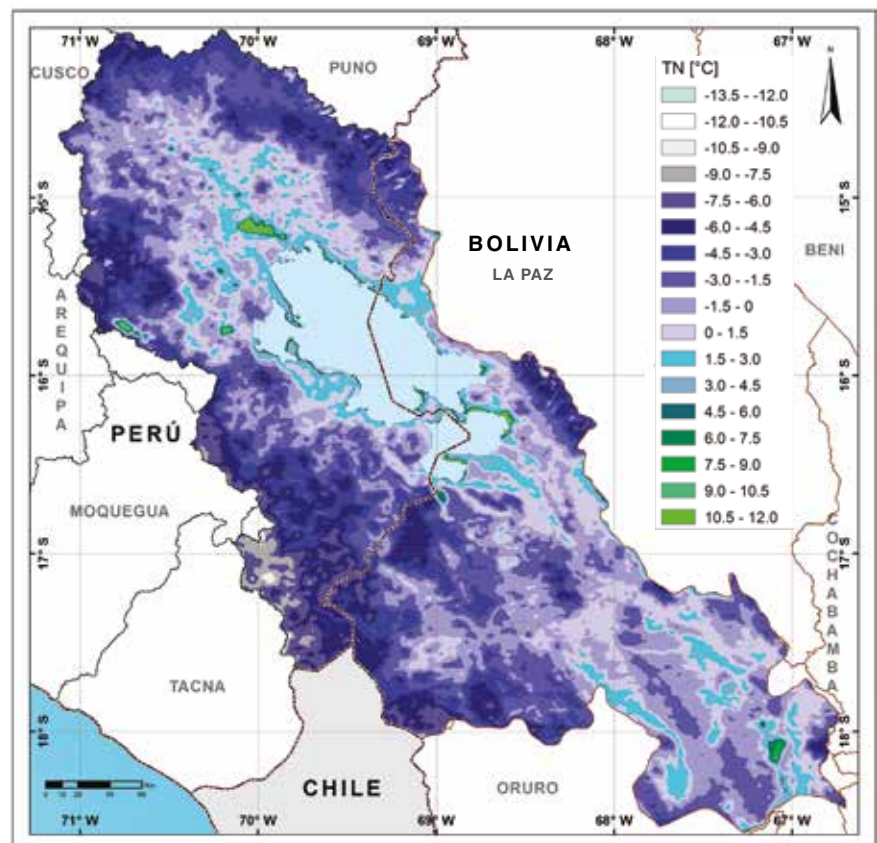
Summer (DJF) mean minimum temperature for the 1981-2010 period.

M-30 Como en M-29 pero para otoño (MAM).
As in M-29 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall

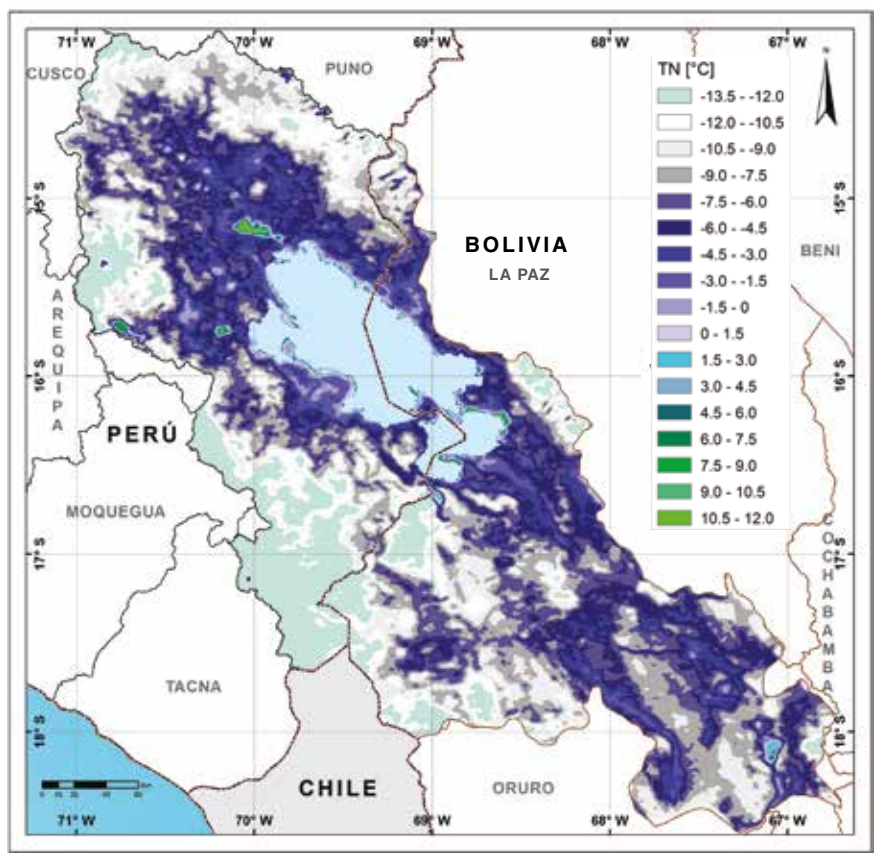




TEMPERATURA MÍNIMA ESTACIONAL / SEASONAL MINIMUM TEMPERATURE

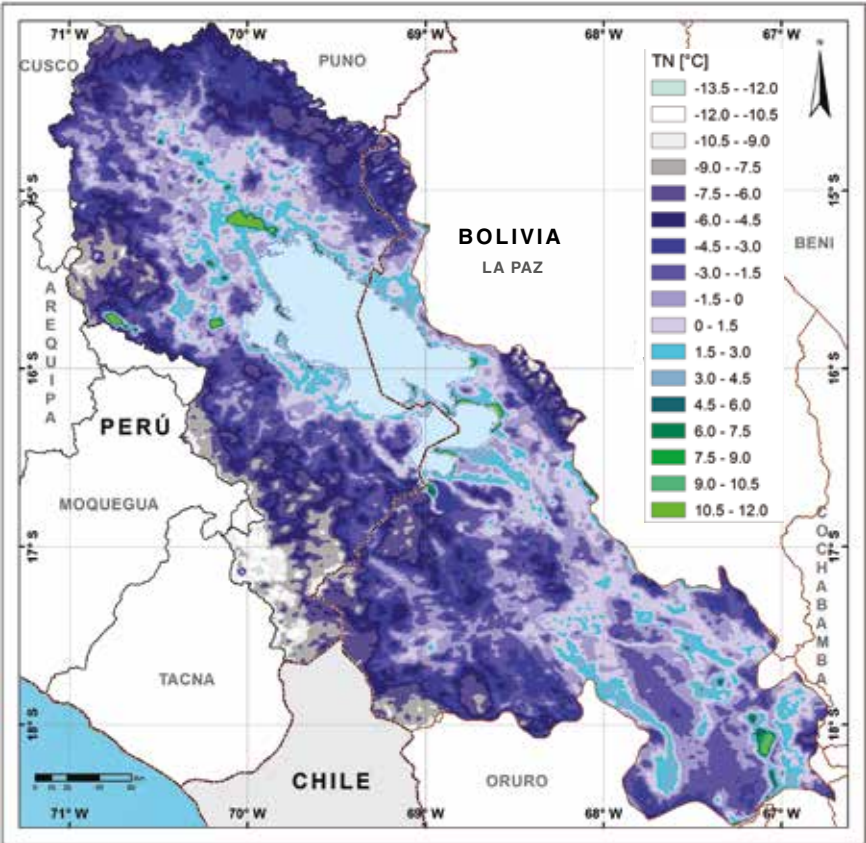
M-31 Como en M-29 pero para invierno (JJA).
As in M-29 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



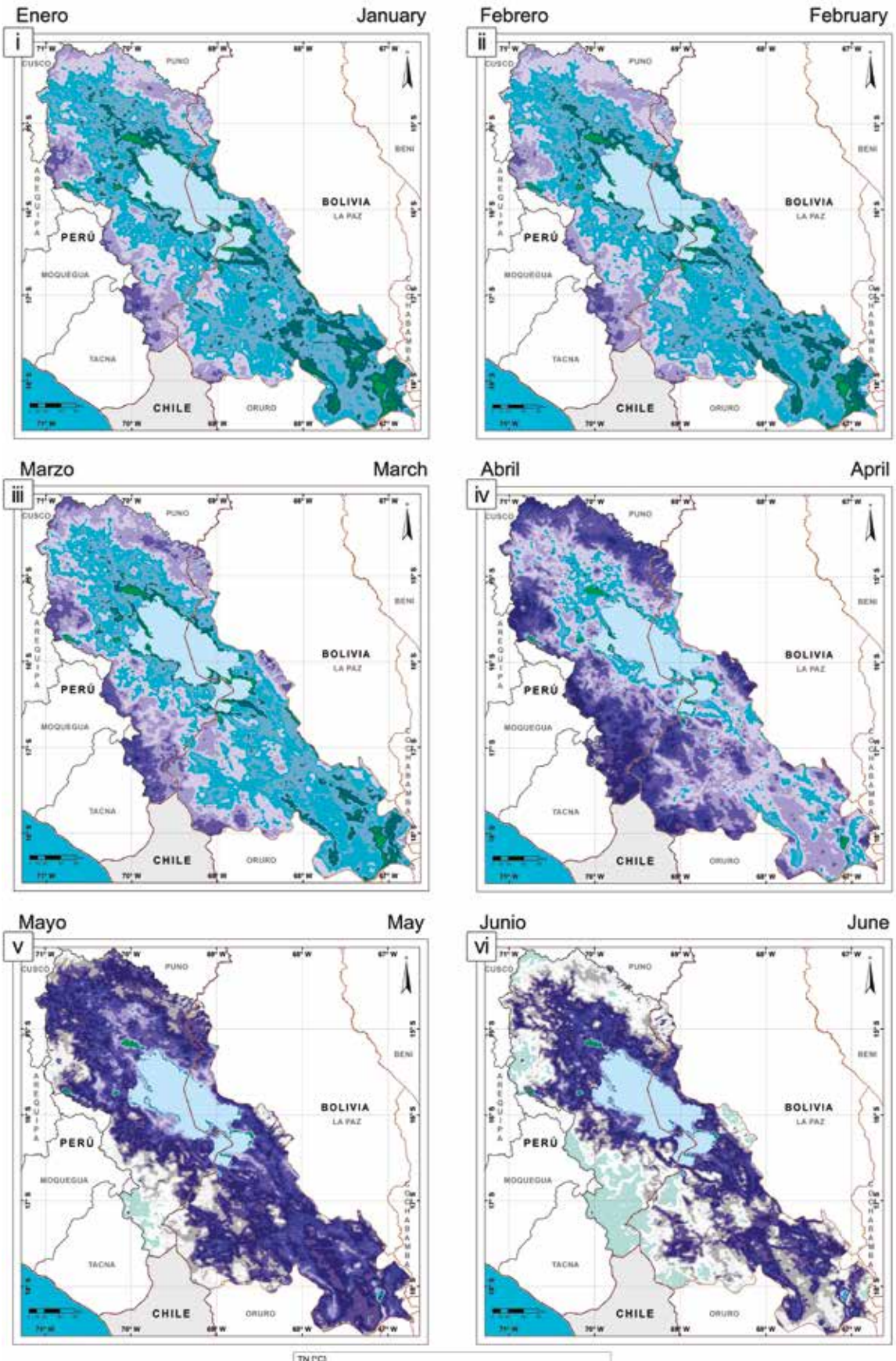
M-32 Como en M-29 pero para primavera (SON).
As in M-29 but for spring (SON).

Primavera - SON - Spring



M-32 Como en M-29 pero para primavera (SON).
As in M-29 but for spring (SON).

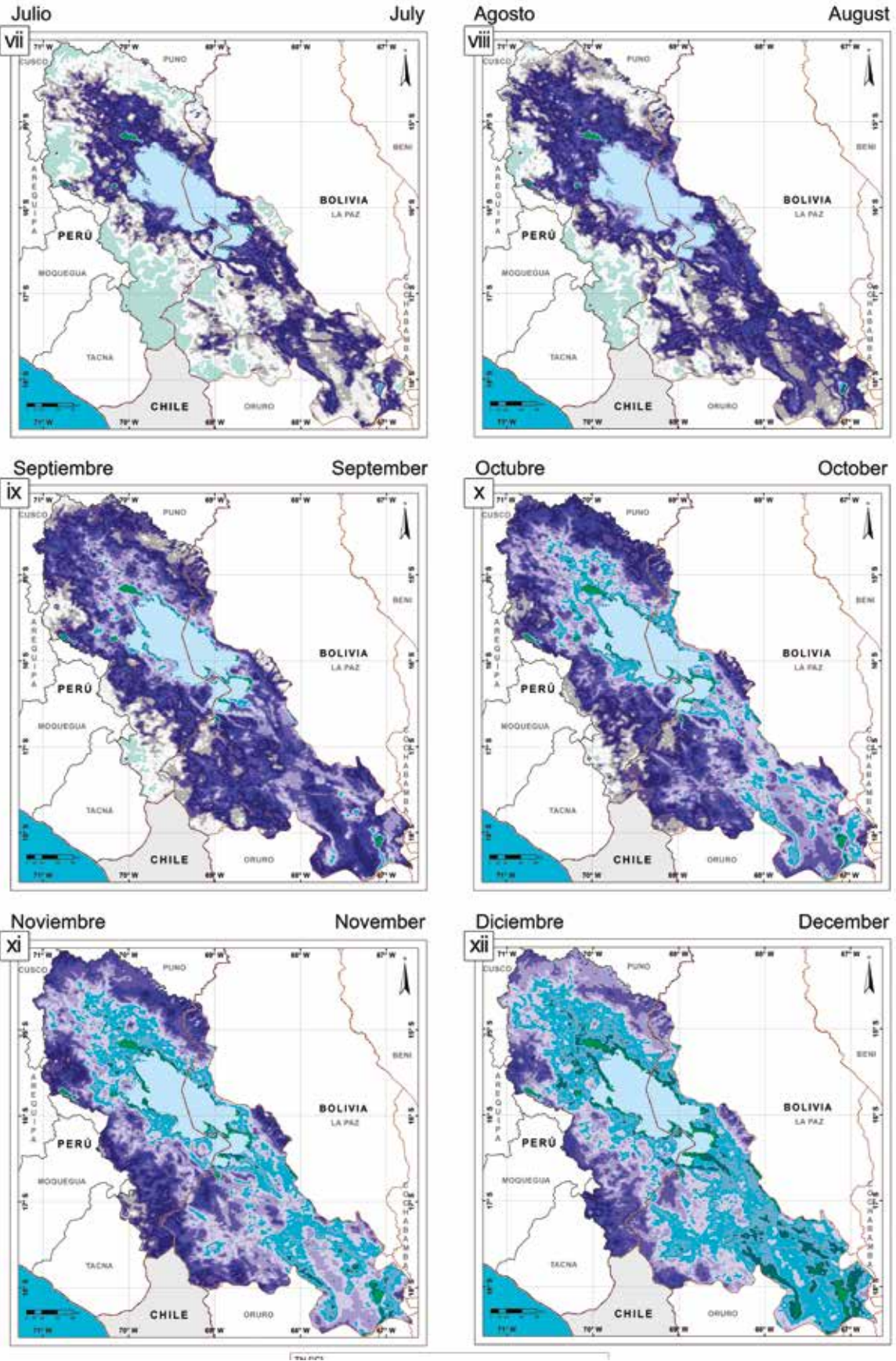
TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL / MONTHLY MINIMUM TEMPERATURE



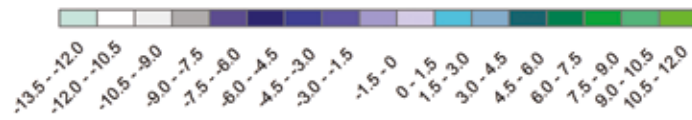
M-33 Temperatura mínima promedio mensual para el período 1981-2010.
 Monthly mean minimum temperature for the 1981-2010 period.



TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL / MONTHLY MINIMUM TEMPERATURE



TN [°C]

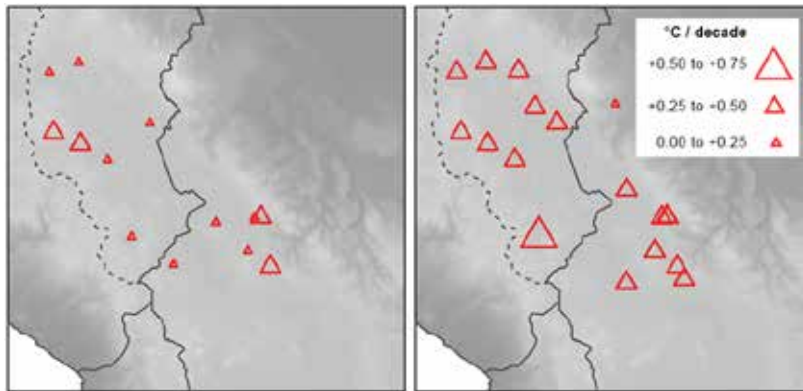


BOX N° 3:**Tendencias climáticas recientes en el Altiplano / Recent climatic trends in the Altiplano**

Stefan Hunziker

Se ha informado de cambios climáticos desde regiones de todo el mundo (*IPCC, 2013*). Debido a que el clima de año a año es modulado por varios ciclos climáticos, solo hablamos de tendencias si los cambios se pueden detectar en escalas de tiempo prolongadas, como varias décadas. En

escala donde el aire frío puede acumularse durante la noche. Debido a las diferencias en el número de días con heladas en diferentes sitios de observación en el Altiplano, las tendencias de la frecuencia de días con helada no son espacialmente consistentes (figura B-2). Sin embargo, una gran mayoría de los registros de estación muestran una disminución de la ocurrencia de días con heladas. Como resultado, se observa una señal de tendencia promedio clara de -6.5 días por década.



B-1 Tendencias de temperatura anual mínima (izquierda) y máxima (derecha), en °C por década, para el período 1981-2010. Se observan tendencias positivas para todos los sitios de observación analizados en el Altiplano.

Trends for annual means of minimum temperature (left) and maximum temperature (right) in °C per decade for the 1981-2010 period. Positive trends are observed for all stations analyzed in the Altiplano.

el Altiplano se observaron fuertes alteraciones climáticas particularmente entre 1981 y 2010. De hecho, los análisis de tendencias con datos de temperatura de estaciones con al menos 80% de mediciones válidas en este período indican un calentamiento (figura B-1). En promedio, se calcula una tendencia positiva estadísticamente significativa de $+0.22^{\circ}\text{C}$ (con una incertidumbre de 0.07°C) por década para la temperatura mínima, y para la temperatura máxima se observa un calentamiento aún más fuerte con una tendencia promedio estadísticamente significativa de $+0.40^{\circ}\text{C}$ (con una incertidumbre de 0.10°C) por década. Estas tendencias son claras, fuertes y se observan en toda la región de estudio.

La tendencia positiva observada en las temperaturas mínimas también afecta la ocurrencia de días con heladas (FD) cuando las temperaturas caen por debajo de 0°C . Estas bajas temperaturas dependen también de la topografía local. Por ejemplo, la ocurrencia de días con helada se ve favorecida por elevaciones más altas y por lugares específicos, como depresiones topográficas de pequeña

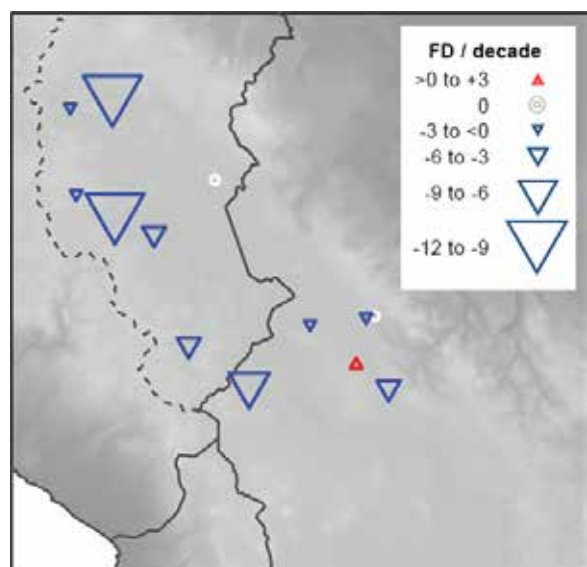
anualmente (figura B-3), lo que resulta en una tendencia promedio de -34 mm por década.

Tal vez la consecuencia más evidente de los cambios climáticos en la región del Altiplano es el fuerte retroceso observado de los glaciares. Mientras que las temperaturas más altas aumentan la fusión de los glaciares, una reducción de la precipitación (*i.e.*, nevada) disminuye la formación de hielo. Este proceso ya ha llevado a la desaparición de algunos glaciares como el emblemático Chacaltaya. Una disminución adicional de los glaciares andinos significa una reducción del reservorio natural que suministra agua al Altiplano, especialmente durante la estación seca (*Soruco et al., 2017*). Las proyecciones climáticas sugieren un mayor calentamiento en el Altiplano durante las próximas décadas (*Seth et al., 2010*). Este calentamiento, en conjunto con la disminución proyectada en la precipitación, podría producir un aumento en el estrés hídrico en la región. Este hecho, más un crecimiento de la población, podría llevar a un aumento en los problemas de suministro de agua, poniendo aún más presión sobre los habitantes de la región del Altiplano.



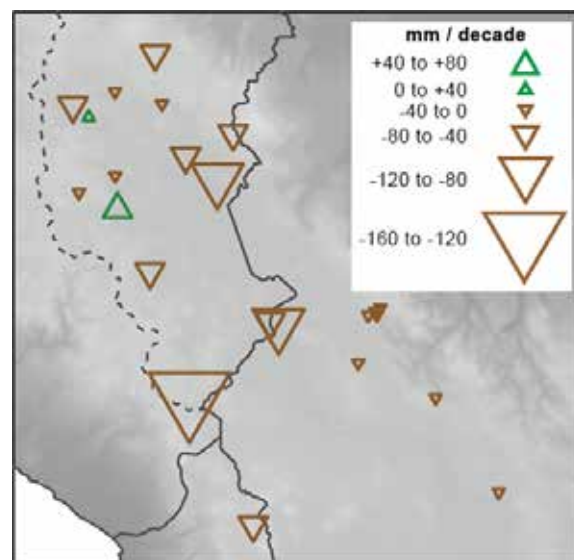
Climatic changes have been reported from regions all over the world (IPCC, 2013). Because the year-to-year climate is modulated by various climate cycles, we only speak about trends if changes can be detected on long time scales such as several decades. In the Altiplano, strong climate alterations were particularly observed between 1981 and 2010. In fact, trend analyses with temperature data from stations with at least 80% of valid measurements in this period indicate a warming (figure B-1). On average, a statistically significant positive trend of $+0.22^{\circ}\text{C}$ (with an uncertainty of 0.07°C) per decade is computed for minimum temperature, and for maximum temperature an even stronger warming is observed with a statistically significant average trend of $+0.40^{\circ}\text{C}$ (with an uncertainty of 0.10°C) per decade. These trends are clear, strong, and are observed in the entire region of study.

The positive trend observed in minimum temperatures also affects the occurrence of frost days (FD) when temperatures drop below 0°C . These low temperatures depend also on local topography. For instance, the occurrence of frost days is favored by higher elevations and by specific locations such as small-scale topographic depressions where cold air can accumulate at night. Because of the differences in the number of frost days at different observation sites in the Altiplano, trends of the frost day



B-2 Tendencias en el conteo anual de días con heladas (FD) por década para el período 1981-2010. Los triángulos rojos apuntando hacia arriba indican un incremento de días con heladas, mientras que los triángulos azules apuntando hacia abajo muestran una reducción de la ocurrencia de días con heladas.

Trends in the annual count of frost days (FD) per decade for the 1981-2010 period. Red triangles pointing upward indicate an increase of frost days, whereas blue triangles pointing downward show a decrease of frost days occurrence.



B-3 Tendencias de precipitación anual en milímetros por década para el período 1981-2010. Los triángulos hacia arriba indican un incremento de precipitación, mientras que los triángulos hacia abajo denotan una reducción de la precipitación.

Trends for annual precipitation in millimeter per decade for the 1981-2010 period. Green triangles pointing upward indicate a precipitation increase, whereas brown triangles pointing downward show a precipitation decrease.

frequency are not spatially consistent (figure B-2). Nevertheless, a great majority of station records shows a decrease of frost day occurrence. As a result, a clear average trend signal of -6.5 days per decade is observed.

Precipitation is more variable in space and time than temperature, and therefore trends observed in the Altiplano region vary considerably. Nevertheless, nearly all observational records indicate negative trends for annually accumulated precipitation amounts (figure B-3), resulting in an average trend of -34 mm per decade.

Perhaps the most evident consequence of climate changes in the Altiplano region is the currently observed strong glacier retreat. While higher temperatures increase glacier melting, reduced precipitation (*i.e.* snowfall) decreases ice formation. This process has already led to the disappearance of some glaciers like the emblematic Chacaltaya. A further decrease of the Andean glaciers means a reduction of the natural reservoir that provides water to the Altiplano especially during the dry season (Soruco *et al.*, 2017). Climate projections suggest further warming in the Altiplano during the decades to come (Seth *et al.*, 2010). This warming, in conjunction with the projected decrease in precipitation, could produce an increase in hydric stress on the region. This fact plus a population growth could lead to increased water supply problems putting even more pressure on the inhabitants of the Altiplano region.

Índices de eventos extremos

Indices of extreme events

5.2. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS PARA TEMPERATURA MÁXIMA

El número promedio de **días cálidos**, TX90p*, en la región es de 8 días. Los mapas estacionales de este índice (mapas M-34 al M-37) muestran que las estaciones localizadas al oeste del Lago Titicaca poseen menos días cálidos que aquellos localizados al este. Durante el otoño y el invierno el número promedio de días cálidos es un poco mayor que en las otras temporadas. Esto parece ser el resultado de ocurrir más días claros entre mayo y agosto que en otros períodos del año. Interesantemente, El Alto muestra un número promedio de días cálidos casi constante, aproximadamente 9, en todas las estaciones del año. Al graficar los **días cálidos consecutivos** promedio CTX90p* (mapas M-38 al M-41) se puede ver que típicamente el promedio de períodos cálidos dura 3 a 4 días. En verano y otoño el número promedio de días cálidos consecutivos es casi constante a lo largo de la región, mientras que en primavera se puede notar un número menor en las estaciones cerca al lago, consistente con la mayor nubosidad en esa región que en el resto de la región de estudio. En verano, que es la temporada con más nubosidad, se ven nubes casi cada día y en toda la región. Para el caso de **períodos extremadamente largos de días cálidos consecutivos** C(TX90p)95p (mapas M-42 al M-45), el valor del percentil

5.2. INDICES OF EXTREME EVENTS FOR MAXIMUM TEMPERATURE

The mean annual number of **warm days**, TX90p*, in the region is 8 days. Seasonal maps of this index (maps M-34 to M-37) show that the stations located to the west of Lake Titicaca have fewer warm days than those located to the east. In fall and winter the mean number of warm days is a little higher than in the other seasons. This seems to be the result of occurrence of many more clear days between May and August than in any other period of the year. Interestingly, El Alto shows almost a constant mean number, approximately 9, of warm days for all seasons. When mean **consecutive warm days**, CTX90p*, (maps M-38 to M-41) are plotted on maps it can be seen that typically the mean length of warm spells is 3 to 4 days. In summer and fall the mean number of consecutive warm days is almost constant throughout the region, whereas in spring it can be seen a smaller number at the stations near the lake, consistent with more cloudiness in this region than in the rest of the region of study. In summer, the cloudiest season, there are clouds almost every single day and in most of the region. For the case of **extremely long consecutive warm days** C(TX90p)95p (maps M-42 to M-45), the 95th-percentile value of the distribution occurs in summer with 6 to 8 days in average. In winter and



95 de la distribución ocurre en verano con 6 a 8 días en promedio. En invierno y primavera las estaciones cercanas al lago muestran los períodos de días consecutivos más cortos para este índice.

El percentil 10 de la distribución de temperaturas máximas, que corresponde con las temperaturas diurnas más bajas de la temporada o el número promedio de **días fríos**, TX10p*, (mapas M-46 al M-49), muestra un rango similar para todas las estaciones en la región durante primavera. No se observa un patrón claro para las otras temporadas. En verano el número promedio de **días fríos consecutivos**, CTX10p*, (mapas M-50 al M-53), es casi constante a lo largo de la región (2-3 días) pero en invierno las estaciones cerca al lago muestran un número menor de días fríos que las estaciones más lejanas (3-4 días) como era de esperarse. En primavera se puede observar un gradiente este-oeste. Además, los mapas de **períodos extremadamente largos de días fríos consecutivos**, C(TX10p)95p, (mapas M-54 al M-57), muestran los menores rangos alrededor del lago en todas las temporadas. En verano, se puede observar un gradiente norte a sur y en invierno el gradiente corre de oeste a este con los períodos más largos hacia el oeste, también como era de esperarse.

Cuando **TODOS** los **eventos extremadamente largos de días cálidos consecutivos** se grafican para cada estación y para cada año del período de estudio se observan cosas interesantes. La figura F-13 muestra el comportamiento de los eventos de períodos extremadamente largos de días cálidos consecutivos para las cuatro estaciones. Debido a que estos

spring the stations near the lake show the smallest periods of consecutive days for this index.

The 10th-percentile of the distribution of maximum temperatures, which correspond to the lowest daytime temperatures of the season or the number of **cold days**, TX10p*, (maps M-46 to M-49), shows a similar range for almost all stations in the region during spring. No clear pattern is observed for all other seasons. In summer the mean number of **consecutive cold days**, CTX10p*, (maps M-50 to M-53), is almost constant along the region (2-3 days) but in winter the stations near the lake show a smaller number of cold days than those located far away (3-4 days) as expected. In spring an east-to-west gradient can be observed. In addition, maps of **extremely long consecutive cold days**, C(TX10p)95p, (maps M-54 to M-57), show the smallest ranges around the lake in all seasons. In summer, a south-to-north gradient can be observed and in winter the gradient runs from west-to-east with the longest periods at the west as expected.

When **ALL events of extremely long consecutive warm days** are plotted for each station for every year of the period of study interesting things are evident. Figure F-13 shows the temporal behavior of events of extremely long consecutive warm days for all four seasons. Since these are events of consecutive warm days above the 95th-percentile in duration (in days) that have been chosen from all events above the 90th-percentile in temperature of all daily temperatures available, these can be considered as heat waves registered for each ground-based station. In summer (DJF), one

P-24 Escarcha en la orilla del Lago Titicaca causada por heladas que congelan la superficie de ríos y lagunas. Puno, Perú.

Frost on the shore of Lake Titicaca caused by frost that freezes the surface of rivers and lagoons. Puno, Peru.



RD



eventos de días cálidos consecutivos por encima del percentil 95 en duración (días) han sido elegidos de todos los eventos por encima del percentil 90 en temperatura de todas las temperaturas diarias disponibles, estas pueden considerarse como olas de calor registradas por cada estación de superficie. En verano (DJF), un evento

single event stands out clearly at the end of 1997 and/or beginning of 1998. During this period 10 stations (out of 24) registered at least one heat wave (for them temperature above 20°C). This period corresponds to the on set of the 1997-98 El Niño, one of the most intense on record, which generated widespread impacts around the globe. This



P-25 Fauna silvestre durante la helada causada por las bajas temperaturas. Puno, Perú.

Wildlife during freezing event caused by low temperatures. Puno, Peru.

resalta claramente al final de 1997 y/o el inicio de 1998. Durante este período 10 estaciones (de un total de 25) reportaron por lo menos una ola de calor (para éstas una temperatura por encima de 20°C). Este período corresponde al inicio del fenómeno de El Niño 1997-1998, uno de los más intensos registrados y que generó impactos alrededor del planeta. Este evento parece haber dejado su marca también en el Altiplano. Además, los años 2004 y 2005 muestran un número relativamente grande de estaciones (todas localizadas en la parte este del lago) con olas de calor (5 y 6 respectivamente) pero estos años no están catalogados como años El Niño³ (sin embargo 2005 es el 6^{to} año más cálido registrado⁴). En otoño (MAM) los años 1983, 1998 y 2010 sobresalen como los años con el mayor número de estaciones que registran olas de calor (11, 10 y 8 respectivamente). Estos tres años corresponden a El Niño. Adicionalmente, 2010 es el 4^{to} año más cálido en registro.

event seems to have had a fingerprint in the Altiplano as well. In addition, years 2004 and 2005 also show a relatively large number of stations (all located in the eastern part of the lake) with heat waves (5 and 6 respectively) but these years are not catalogued as El Niño years³ (However 2005 is the 6th warmest years on record⁴). In the fall (MAM) the years 1983, 1998 and 2010 stand out as the years with most stations registering heat waves (11, 10 and 8 respectively). All these three years correspond to El Niño years. In addition, 2010 is the 4th warmest year on record. Interestingly, this season shows very few other cases (5) besides the ones described before for the whole 30-year period considered for this Atlas. In contrast, the winter season (JJA) shows many cases of these extreme events with 1988, 1995 and 2010 having the largest number of cases (10, 14 and 12 events respectively). Years 1988 and 1995 have El Niño occurring at the beginning of the year. Since this season encompass June to August, months when

³ <http://www.bom.gov.au/climate/enso/enlist/index.shtml> (accessed on 2017/11/12)

⁴ <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613> (accessed on 2017/11/12).

³ <http://www.bom.gov.au/climate/enso/enlist/index.shtml> (accessed on 2017/11/12)

⁴ <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613> (accessed on 2017/11/12).



Interesantemente, esta temporada muestra muy pocos casos adicionales (5) además de los descritos anteriormente para todo el período de 30 años considerado para este atlas. En contraste, la temporada de invierno (JJA) muestra muchos casos de eventos extremos teniendo los años 1988, 1995 y 2010 el número más largo de casos (10, 14 y 12 eventos respectivamente). En los años 1988 y 1995 el fenómeno de El Niño se manifiesta a inicios de los mismos. Ya que esta temporada incluye junio a agosto, cuando típicamente las condiciones El Niño ya no existen, es difícil vincular la ocurrencia de estas olas de calor a este fenómeno. En todo caso, los datos muestran claramente que estos años, incluyendo el 2010, fueron los años más cálidos para el período 1981-2010. Finalmente, en primavera hay pocos casos extremos en las tres décadas analizadas. Los últimos tres años tienen el mayor número de eventos con 4, 7 y 8 para 2008, 2009 y 2010 respectivamente. Notablemente, en 2010 todas las estaciones que tuvieron eventos extremos estaban localizadas en la región norte (Puno y más al norte) de la región de estudio que corresponde con el lado peruano. Las localidades de Ayaviri, Arapa y Huancané muestran tres eventos consecutivos en este año. Hay solamente 16 eventos para todos los otros 27 años del período 1981-2010.

En el caso de TODOS los **eventos extremadamente largos de días fríos consecutivos** (figura F-14) o eventos con el mayor número promedio de días consecutivos (por encima del percentil 95) con las temperaturas más bajas (percentil 10 en temperatura) podemos ver que hay muy pocos casos extremos desde inicios de 2005, solamente cuatro en primavera (SON)

typically El Niño conditions do not exist anymore, it is difficult to link the occurrence of these heat waves to this phenomenon. In any case, data clearly indicate that these years, including 2010, were the warmest years for the 1981-2010 period. Finally, in spring there are few extreme cases in the three decades analyzed. The last three years have the largest number of events with 4, 7 and 8 for 2008, 2009 and 2010 respectively. Remarkably, in 2010 all stations where extreme events were registered were located in the northern part (Puno and northwards) of the region of study which corresponds to the Peruvian side. Ayaviri, Arapa and Huancané show three consecutive events in this year. There are only 16 events for all the other 27 years in the 1981-2010 period.

In the case of ALL **events of extremely long consecutive cold days** (figure F-14) or events with the largest mean number of consecutive days (above the 95th-percentile) with the lowest maximum temperatures (10th-percentile in temperature) we can see that there are very few extreme cases beginning in 2005, only four in spring (SON) and two in fall (MAM). In contrast, there are many more at the beginning of the period of study suggesting a general warming of the region of study. In summer (DJF) two years stand out with 7 cases each: 1984 and 2001. There are several years when three or four years have extreme cases in between but none of them happened in the most southern part (south of *Santiago de Machaca*). In fall (MAM), 1997 had 12 stations that registered extreme events and 1986 had 10. Both were El Niño years but in this trimester the phenomenon is typically in its beginning so

P-26 Elaboración de chuño a través de la exposición de papas a heladas intensas y asoleamiento. Puno, Perú.

Production of *chuño* through the exposure of potatoes to intense frost and sun. Puno, Peru.



RD



P-27 Noche de abril en la ciudad de La Paz.
April night in La Paz City.

y dos en otoño (MAM). En contraste, hay muchos más al inicio del período de estudio, esto sugiere un calentamiento general de la región de estudio. En verano dos años se destacan con 7 casos cada uno: 1984 y 2001. Hay varios años con casos extremos pero ninguno de ellos aconteció en la región sur (al sur de Santiago de Machaca). En otoño de 1997 hubieron 12 estaciones que registraron eventos extremos y en 1986 fueron 10. Ambos fueron años El Niño, pero en este trimestre el fenómeno está típicamente en sus inicios y relacionar los eventos extremos observados con El Niño no es evidente. En invierno, los años con la mayoría de eventos fueron 2002 (12 eventos), 1997 (8 eventos) y 1990 (7 eventos). El año 2002 fue un evento moderado de El Niño, 1997 uno fuerte y 1990 no fue año de El Niño. Finalmente, en primavera, se destaca un año muy claro: 1985 con 18 eventos. Este no fue año de El Niño. Hay otros años con 5 o 6 eventos pero ninguno de ellos se registró en toda la región como en 1985. En resumen, parece que hay alguna coincidencia entre los años de El Niño y los eventos con días fríos consecutivos extremadamente largos, pero la comprensión de los mecanismos detrás de este comportamiento requiere más investigación.

5.3. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS PARA TEMPERATURA MÍNIMA

El promedio de **número de días con helada**, FD^* , (mapas M-58 al M-61) suceden con mayor frecuencia en invierno, como era de esperarse, con 79 días en

to relate the observed extreme events with El Niño is not straight forward. In winter (JJA), the years with most events were 2002 (12 events), 1997 (8 events) and 1990 (7 events). The year 2002 saw a moderate El Niño event, 1997 a strong one and 1990 was not an El Niño year. Finally, in spring, a year stands out very clearly: 1985 with 18 events. This was not an El Niño year. There are other years with 5 or 6 events but none of them was registered in the whole region as in 1985. In summary, it seems there is some coincidence among El Niño years and extremely long consecutive cold days but understanding the mechanisms behind this behavior will require more research.

5.3. INDICES OF EXTREME EVENTS FOR MINIMUM TEMPERATURE

The mean **number of frost days**, FD^* , (maps M-58 to M-61), occur more often in winter, as expected, with 79 days on average. Stations at higher altitudes show larger values (Mazo Cruz and Pampahuta with approximately 91 and 92 days respectively). Interestingly, frost days also occur in summer although at a much lower frequency, with most values during this season occurring between 0 and 7 days. During this season Mazo Cruz has 42 and Pampahuta around 50 frost days on average. This could be explained by the fact that both stations are above 3980 masl. In fall and spring there is a NW-SE gradient with the lowest mean number of FD at the NW and the highest at the SE. The minimum number of FD in winter occur around the



promedio. Las estaciones a altitudes mayores muestran valores mayores (Mazo Cruz y Pampahuta aproximadamente con 91 y 92 días respectivamente). Interesantemente, en verano también se tienen días con heladas, aunque con una frecuencia mucho menor. La mayoría de los valores durante esta temporada están entre 0 y 7 días. Durante esta temporada Mazo Cruz tiene 42 y Pampahuta alrededor de 50 días con helada en promedio. Esto puede explicarse por el hecho que ambas estaciones están localizadas por encima los 3980 msnm. Durante otoño y primavera se puede apreciar un gradiente noroeste-sudeste con el menor número promedio de FD* al noroeste y el mayor al sudeste. El menor número de FD* en invierno ocurre alrededor del lago (25-55 en promedio) confirmando una vez más que este gran cuerpo de agua mantiene sus alrededores a una temperatura más alta, especialmente en invierno.

El número promedio anual de **noches frías**, TN10p* (mapas M-62 al M-65), se encuentra entre 8 y 10 para las cuatro estaciones. Este número es más o menos constante, tanto a lo largo del año como a lo largo de la región de estudio con un número de días relativamente pequeño en verano. El número promedio de **noches frías consecutivas**, CTN10p* (mapas M-66 al M-69), ocurre entre 3 y 5 noches distribuidas homogéneamente alrededor de la región. En primavera el número de noches frías consecutivas es más o menos constante a lo largo de toda la región (3-4). Los períodos más largos con noches frías consecutivas

lake (25-55 in average) confirming once more that this large body of water keeps its surroundings at a higher temperature, especially in winter.

The mean annual number of **cold nights**, TN10p* (maps M-62 to M-65), lies between 8 and 10 for the four seasons. This number is more or less constant during the year and spatially throughout the region with smaller numbers in summer. The mean number of **consecutive cold nights**, CTN10p* (maps M-66 to M-69), occurs between 3 and 5 nights distributed almost homogeneously around the region. In spring the number of consecutive cold nights is almost constant over the whole region (3-4). The largest periods with consecutive cold nights (map M-67) occur in fall with 4 to 5 nights for almost all stations. In winter the stations on the western side of the lake have on average 2-3 consecutive cold nights whereas those located at the southern part show values between 3 and 4. In summer, by contrast, stations situated at the west and southern part of the lake, and near to it, have fewer consecutive cold nights (2-3) than those far away (3-4). The thermal effect of the lake seems to play a role in this behavior. For the case of the **extremely long consecutive cold nights**, C(TN10p)95p (maps M-70 to M-73), the values in the region of study vary between 5 and 8 nights.

The mean number of **warm nights**, TN90p*, (maps M-74 to M-77), corresponding to minimum temperature values above the 90th-

P-28 Formación de escarcha y cristales de hielo durante la helada afectan las labores de trabajo en campo de los técnicos del SENAMHI-Puno.

Formation of frost and ice crystals from a recent frost event during the fieldwork of SENAMHI-Puno technicians.





(mapa M-67) ocurre en otoño con 4 a 5 noches casi en todas las estaciones. Durante invierno las estaciones localizadas en la región oeste del lago tienen en promedio 2 a 3 noches frías consecutivas, mientras que en aquellas localizadas en la región sur del lago muestran valores entre 3 y 4. En verano,

percentile threshold, lies between 7 and 9, and is relatively homogeneously distributed, especially in spring and summer. In winter some stations close to the Western Cordillera and some located at the southern part of the lake, including *Aeropuerto de Oruro* (which is situated far away from the lake) show the



P-29 Nevada en la región de Puno.
Snowfall in the Puno region.

en contraste, las estaciones localizadas al oeste y en la región sur del lago, o cerca a él, tienen pocas noches frías consecutivas (2-3) que aquellas que se encuentran más lejos (3-4). El efecto térmico del lago parece jugar un rol en este comportamiento. Para el caso de los **períodos extremadamente largos de noches frías consecutivas**, C(TN10p)95p (mapas M-70 al M-73), los valores en la región de estudio varían entre 5 y 8 noches.

El número promedio de **noches cálidas**, TN90p* (mapas M-74 al M-77), correspondientes a la temperatura mínima por encima del umbral del percentil 90 se encuentra entre 7 y 9, y está distribuida de forma relativamente homogénea, especialmente en primavera y verano. En invierno algunas estaciones cerca la Cordillera Occidental y algunas localizadas en la región sur del lago, incluyendo el Aeropuerto de Oruro (que está muy lejos del lago), muestran el mayor número de noches cálidas (7-9 noches). No hay una explicación clara del porqué, pero debemos recordar que los umbrales para definir el percentil 90 (noches cálidas) es diferente para cada estación y, de hecho, dependen de su propia distribución de probabilidades. Esto podría explicar también el hecho que

highest number of warm nights (7-9 days). There is no clear explanation why, but we should recall that the thresholds used for defining the 90th-percentile (warm nights) are different for each station and, in fact, depend on their own probability distributions. This could also explain the fact that the minimum number (2-3) of **consecutive warm nights**, CTN90p* (maps M-78 to M-81), is observed in summer followed by winter, in this order. In any case, it should be noted that in winter the four stations with the highest number of consecutive warm nights (3-4) are located in the southern part of the lake, in Bolivia. In the case of the **extremely long consecutive warm nights**, C(TN90p)95p (maps M-82 to M-85), the most remarkable feature seen throughout all seasons is that some of the smallest values are associated with stations around the lake. In this case, the thermal influence of the lake seems to be the key factor to explain this behavior.

When ALL **events of extremely long consecutive cold nights** (figure F-15) events are plotted for each station for every year of the period of study interesting things are evident. For summer (DJF) the year 1992 shows that several stations (12 out of 27) reported at least an extreme case. The



el número mínimo (2-3) de **noches cálidas consecutivas**, CTN90p* (mapas M-78 al M-81), se observa en verano seguido por el invierno, en ese orden. En cualquier caso, debería notarse que en invierno las cuatro estaciones con el mayor de noches cálidas consecutivas (3-4) están localizadas en la región sur del lago, en Bolivia. En el caso de los **períodos extremadamente largos de noches cálidas**, C(TN90p)95p (mapas M-82 al M-85), la característica más notable a lo largo de todas las temporadas es que los valores más pequeños están asociados con estaciones alrededor del lago. En este caso, la influencia térmica del lago parece ser el factor clave para explicar este comportamiento.

Cuando **TODOS** los **eventos extremadamente largos de noches frías consecutivas** (figura F-15) se grafican para cada estación para cada año del período de estudio se pueden notar cosas interesantes. Para verano (DJF) el año 1992 muestra que varias estaciones (12 de 27) reportaron por lo menos un caso extremo. La erupción del Pinatubo ocurrió en junio de 1991 y podría estar relacionado al verano de 1992 en la región del Altiplano. Se requiere más investigación para confirmar o descartar esta hipótesis. En todo caso, es evidente una caída de estos eventos luego de 1992. En otoño (MAM) tres años sobresalen en la figura: el 2008 (16 estaciones), 2006 (15 estaciones) y 1982 (10 estaciones). En marzo de 1982 aconteció la erupción de El Chichón en México y podría haber influenciado el tiempo de otoño sobre el Altiplano. Además, en ese momento, El Niño 1982-83 se encontraba en su fase inicial y la combinación de ambos efectos podría haber jugado un rol también. Es claro que más investigación se requiere para determinar si existe este vínculo entre estos eventos climáticos y el incremento de períodos extremadamente largos de noches frías consecutivas ese año en la región de estudio. En todo caso, los eventos de 2006 y 2008 no estuvieron relacionados a ninguna erupción volcánica ni a El Niño (o La Niña) y la explicación más probable es el calentamiento global. En este caso también se requiere más investigación. La figura sugiere que hay una tendencia positiva de períodos extremadamente largos de noches frías consecutivas. Interesantemente, para invierno (JJA) no hay un año que se

Pinatubo eruption occurred in June of 1991 and could be related to the summer of 1992 in the Altiplano region. More research is needed to confirm or discard this hypothesis. In any case, a clear drop in extreme event cases is evident from this figure after 1992. In the case of fall (MAM) three years stand out in the figure: 2008 (16 stations), 2006 (15 stations) and 1982 (10 stations). In March 1982 the eruption of *El Chichón* happened in Mexico and could have influenced the fall weather over the Altiplano. In addition, at that time, El Niño 1982-83 was in its initial phase and the combination of both effects could have played a role as well. Clearly more research is needed to determine if there is a link among these two climatic events and the increase of extremely long cold nights that year in the region of study. In any case, the events of 2006 and 2008 were not related to any volcanic eruption or to El Niño (or La Niña) and the most likely explanation is global warming. In this case as well more research is needed. A positive trend of extremely long consecutive cold nights is suggested by this figure. Interestingly, for winter (JJA) there is no year that clearly stands out and trends are not evident either. For spring (SON), 1996 shows the maximum number of stations with one extreme event (16) but also 1999 has a relatively large number of events (10). Nothing special, in terms of El Niño or La Niña, happened in 1996 whereas in spring of 1999 La Niña was in place. The number of extreme events decreased after year 2000 but the existence of a trend is not clear.

In the case of **ALL events of extremely long consecutive warm nights**, figure F-16 shows the number of extreme cases for each station for every year of the period of study. Summer (DJF) shows a clear case when several stations (11) have at least one extreme case in a single year: 1998. Once again, this can be related to El Niño that was present that year and December and January are typically the months when their effects are the most intense. This figure also suggests an increase of extreme events in the last decade. For fall (MAM), the year with the most cases (10) corresponds to 1988. This year a severe drought occurred in



destaque y tampoco se han encontrado tendencias. Para primavera (SON) el año 1996 muestra el número de estaciones con un evento extremo (16) pero también 1999 posee un número relativamente grande de eventos (10). Nada en particular, en términos de El Niño o La Niña, aconteció en 1996 mientras que en la primavera de 1999 La Niña estaba presente. El número de eventos extremos disminuyó luego del año 2000 pero no es clara la existencia de una tendencia.

En el caso de **TODOS los eventos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas**, la figura F-16 muestra el número de casos extremos para cada estación y para cada año del período de estudio. En verano (DJF) se observa un caso claro cuando varias estaciones (11) tienen por lo menos un caso extremo el año 1998. Una vez más, esto puede estar relacionado a El Niño que estaba presente ese año y diciembre y enero son típicamente los meses en los que sus efectos son más intensos. Esta figura también sugiere un incremento de eventos extremos en la última década. Para otoño (MAM), el año con más casos (10) corresponde a 1988. Este año una intensa sequía aconteció en América del Norte, así como en la región sur de América del Sur (*Bellprat et al., 2015*). Además, este era un año La Niña, pero no es claro si alguno de estos dos eventos estaba directamente relacionado a las condiciones del Altiplano. En esta temporada se nota una aparente tendencia positiva en los períodos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas. En invierno (JJA) el año con el mayor número de períodos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas ocurrió es 2004 (11) a pesar que 1990 registró la ocurrencia de casos extremos en un gran número de estaciones también (10). Las razones para este comportamiento en esos años no están claras. Finalmente, para primavera (SON) 16 estaciones registraron por lo menos una noche extremadamente cálida consecutiva el año 2010. Aunque en 2009-10 ocurrió un Niño moderado, en primavera del año 2010 el fenómeno había concluido. Nuevamente el calentamiento global es un posible candidato para explicar este comportamiento anómalo.

North America as well as in Southern South America (*Bellprat et al., 2015*). In addition, this was a La Niña year but it is not clear if any of these two events was directly related to the conditions in the Altiplano. In this season a positive trend in extremely long consecutive warm nights is also apparent. In winter (JJA) the year with the largest number of stations where extremely long warm nights occurred is 2004 (11) although 1990 registered occurrence of extreme cases in a large number of stations (10) as well. The reasons for this behavior on those years are not clear. Finally, for spring 16 stations registered at least one extreme consecutive warm night in 2010. Although in 2009-10 a moderate El Niño occurred, by spring (SON) of 2010 the phenomenon was over. Again global warming is a possible candidate to explain this anomalous behavior.



RC



RC

P-30 Paisajes del Altiplano.
Landscapes from the Altiplano.

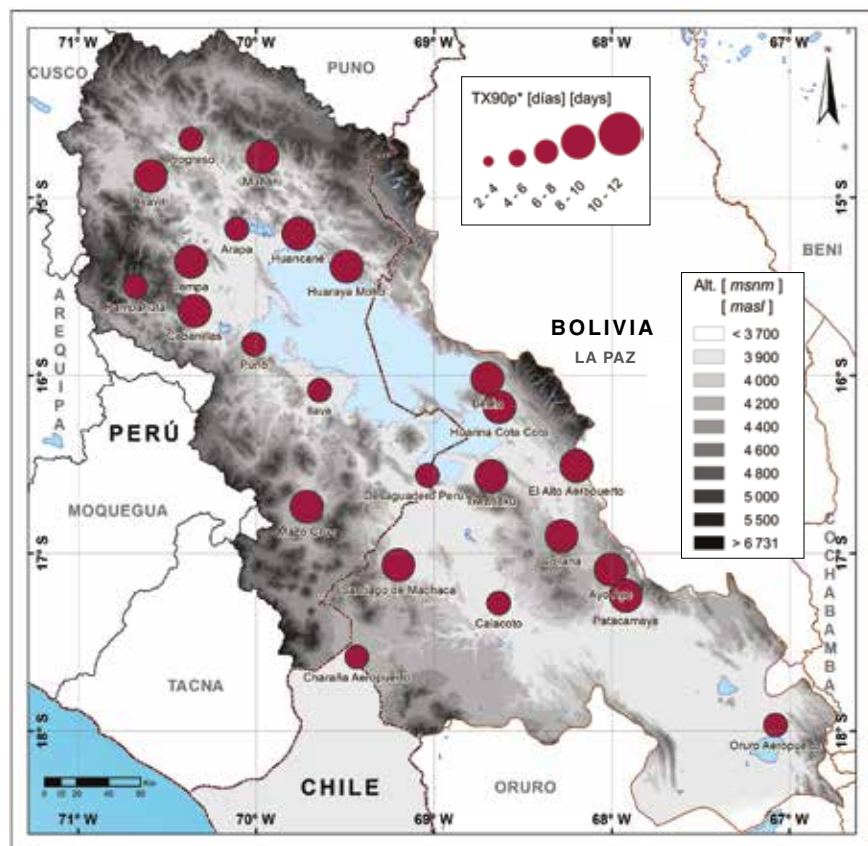


NÚMERO DE DÍAS CÁLIDOS / NUMBER OF WARM DAYS

Verano

- DJF -

Summer



M-34 Número promedio de días cálidos (TX90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

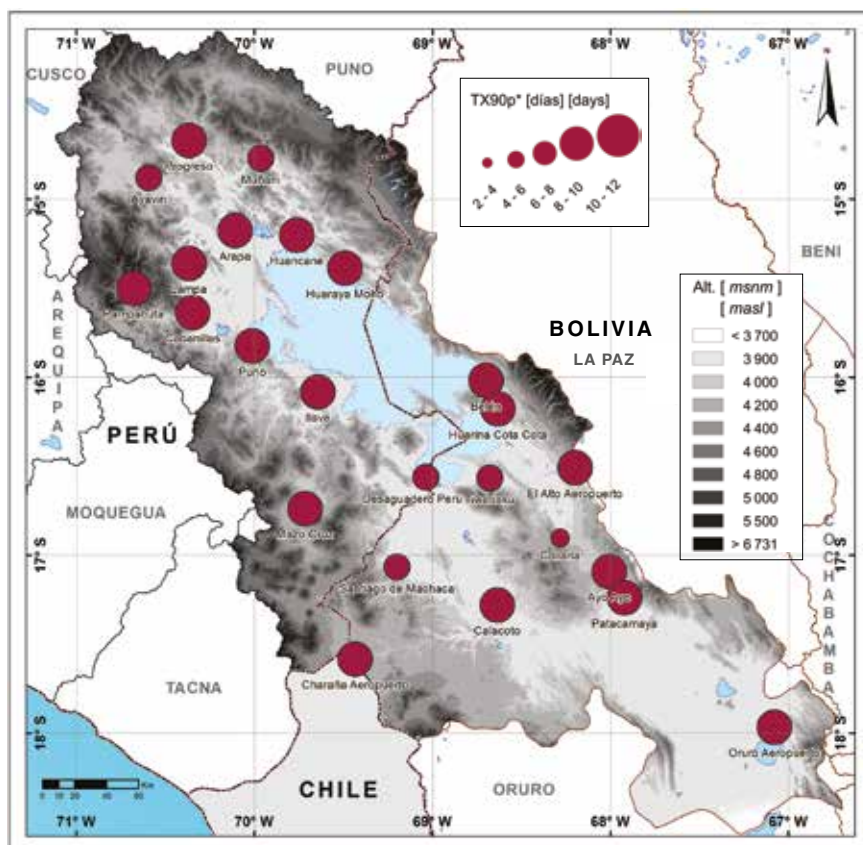
Average number of warm days (TX90p*) defined by the 90th-percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-35 Como en M-34 pero para otoño (MAM).
As in M-34 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall





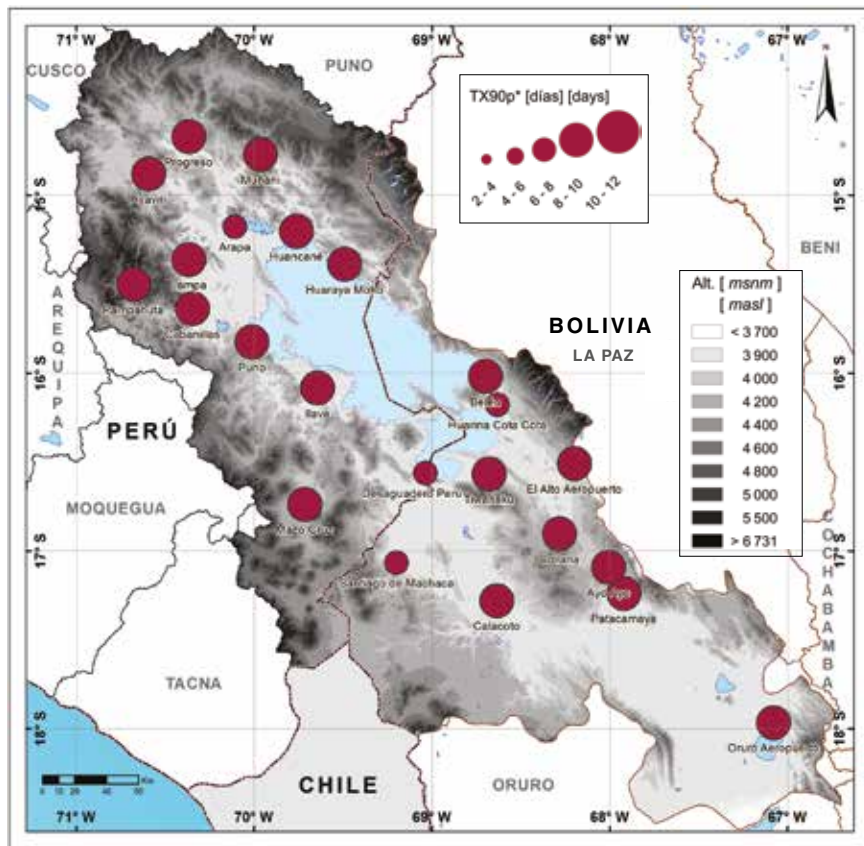
NÚMERO DE DÍAS CÁLIDOS / NUMBER OF WARM DAYS

Invierno

- JJA -

Winter

M-36 Como en M-34 pero para invierno (JJA).
As in M-34 but for winter (JJA).

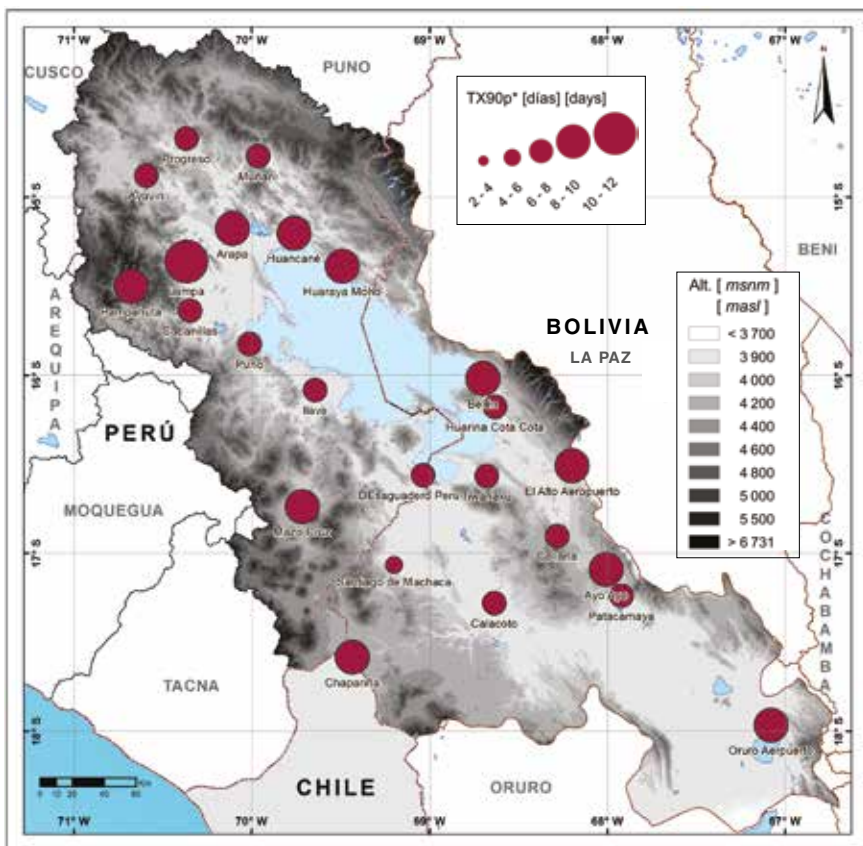


Primavera

- SON -

Spring

M-37 Como en M-34 pero para primavera (SON).
As in M-34 but for spring (SON).



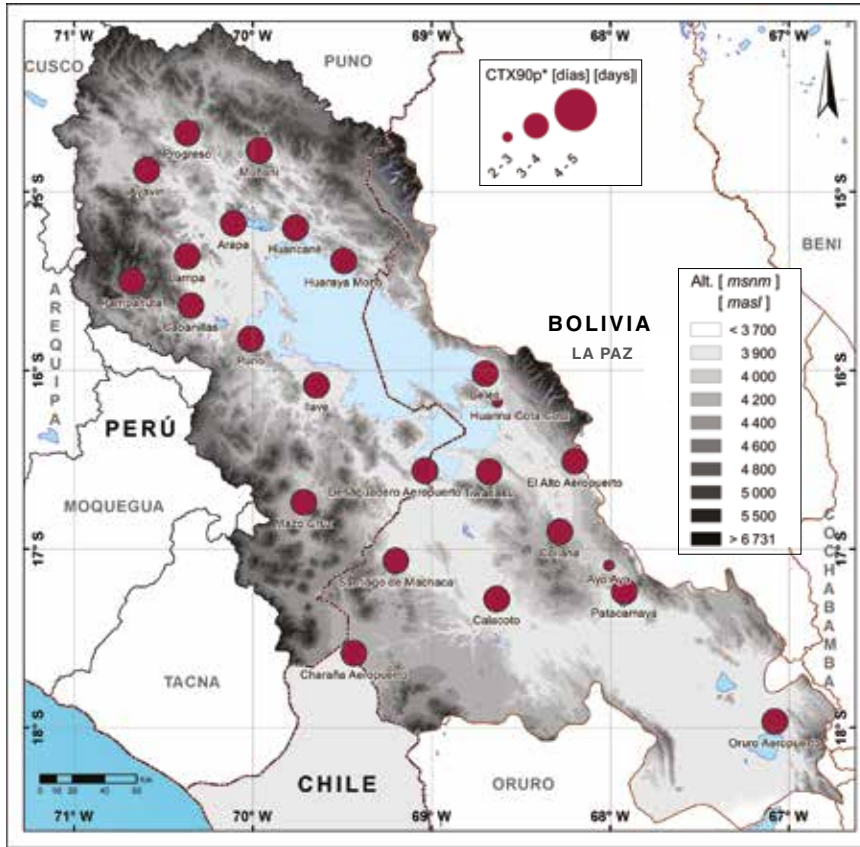


DÍAS CÁLIDOS CONSECUTIVOS / CONSECUTIVE WARM DAYS

Verano

- DJF -

Summer



M-38 Número promedio de días cálidos consecutivos (CTX90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

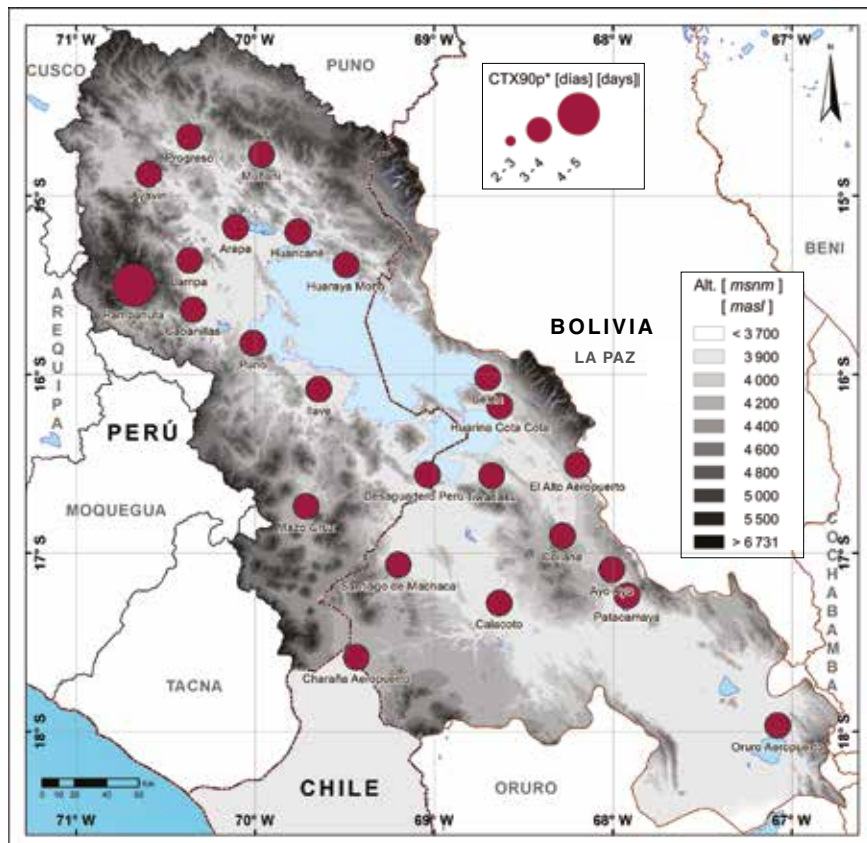
Average number of consecutive warm days (CTX90p*) defined by the 90th-percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-39 Como en M-38 pero para otoño (MAM).
As in M-38 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

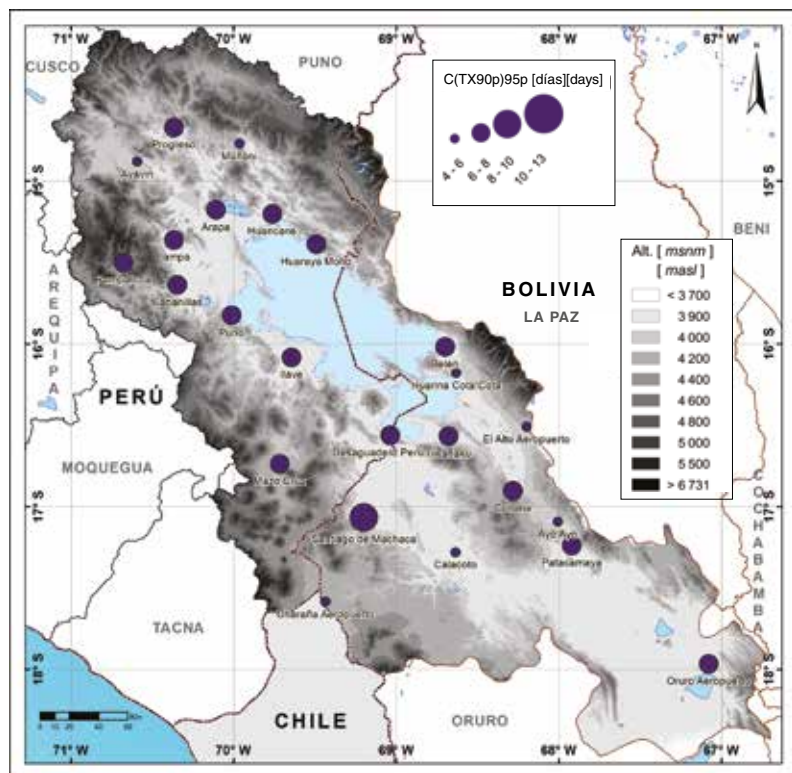
Fall





PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE DÍAS CÁLIDOS CONSECUTIVOS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE WARM DAYS

Verano - DJF - Summer

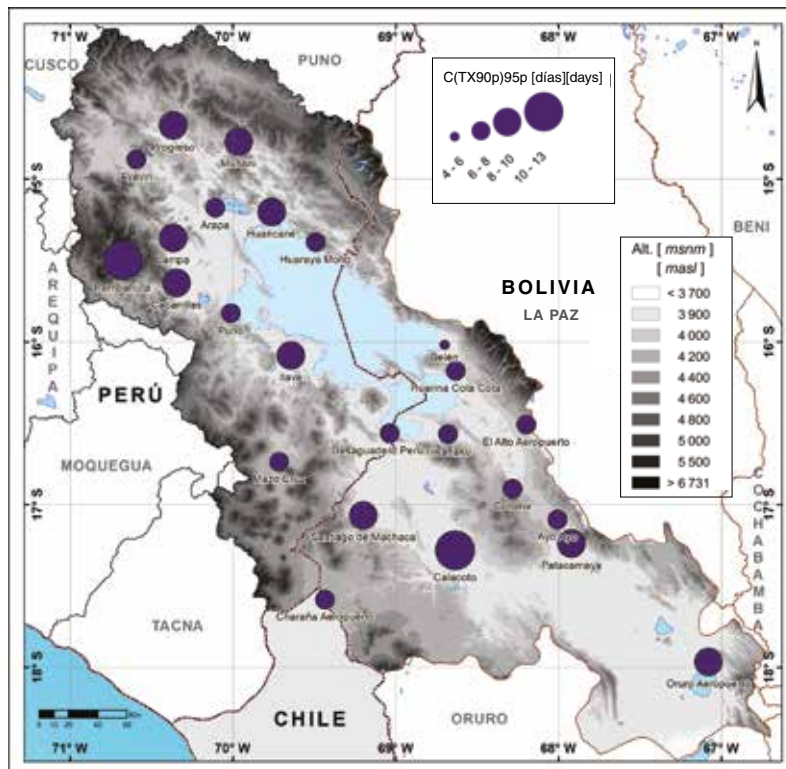


M-42 Período extremadamente largo de días cálidos consecutivos C(TX90p)95p definido por el percentil 95 de la distribución de días cálidos, TX > TX90p, consecutivos en verano (DJF). Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

Extremely long consecutive warm days C(TX90p)95p defined by the 95th-percentile of the distribution of consecutive warm, TX > TX90p, days in summer (DJF). Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-43 Como en M-42 pero para otoño (MAM).
As in M-42 but for fall (MAM).

Otoño - MAM - Fall



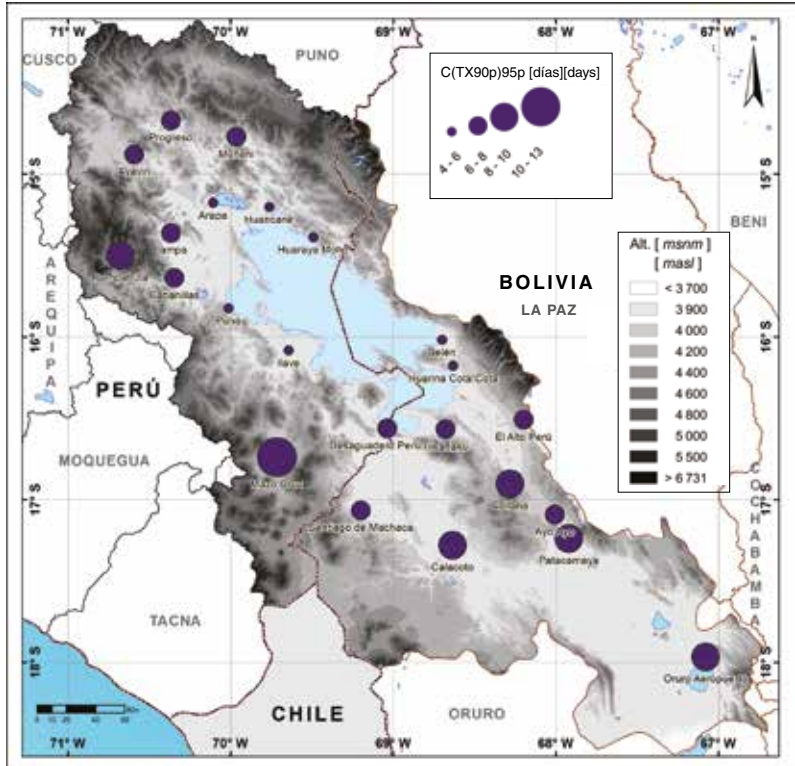


PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE DÍAS CÁLIDOS CONSECUTIVOS

EXTREMELY LONG CONSECUTIVE WARM DAYS

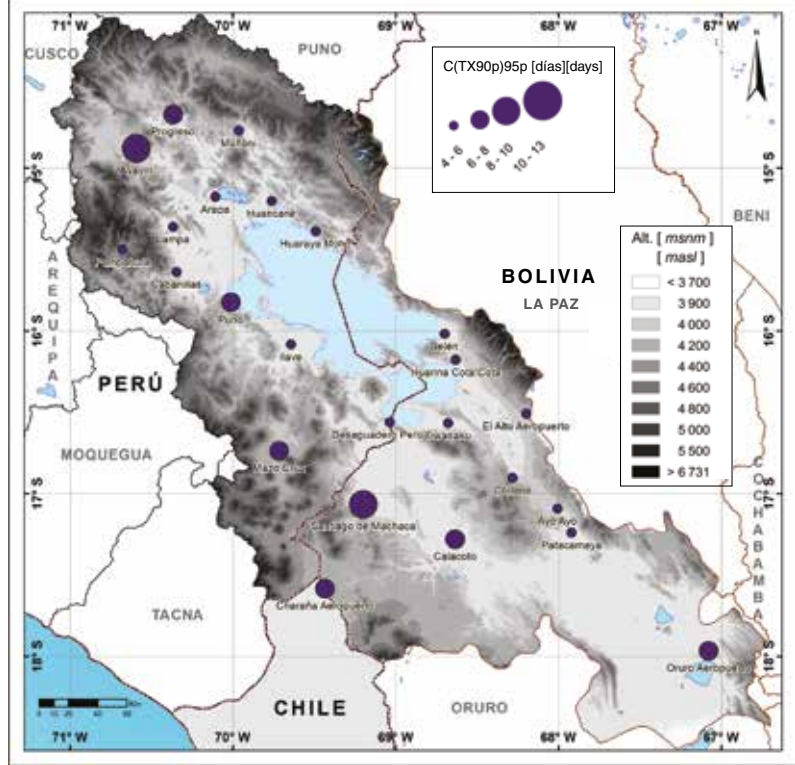
M-44 Como en M-42 pero para invierno (JJA).
As in M-42 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



Primavera - SON -

Spring

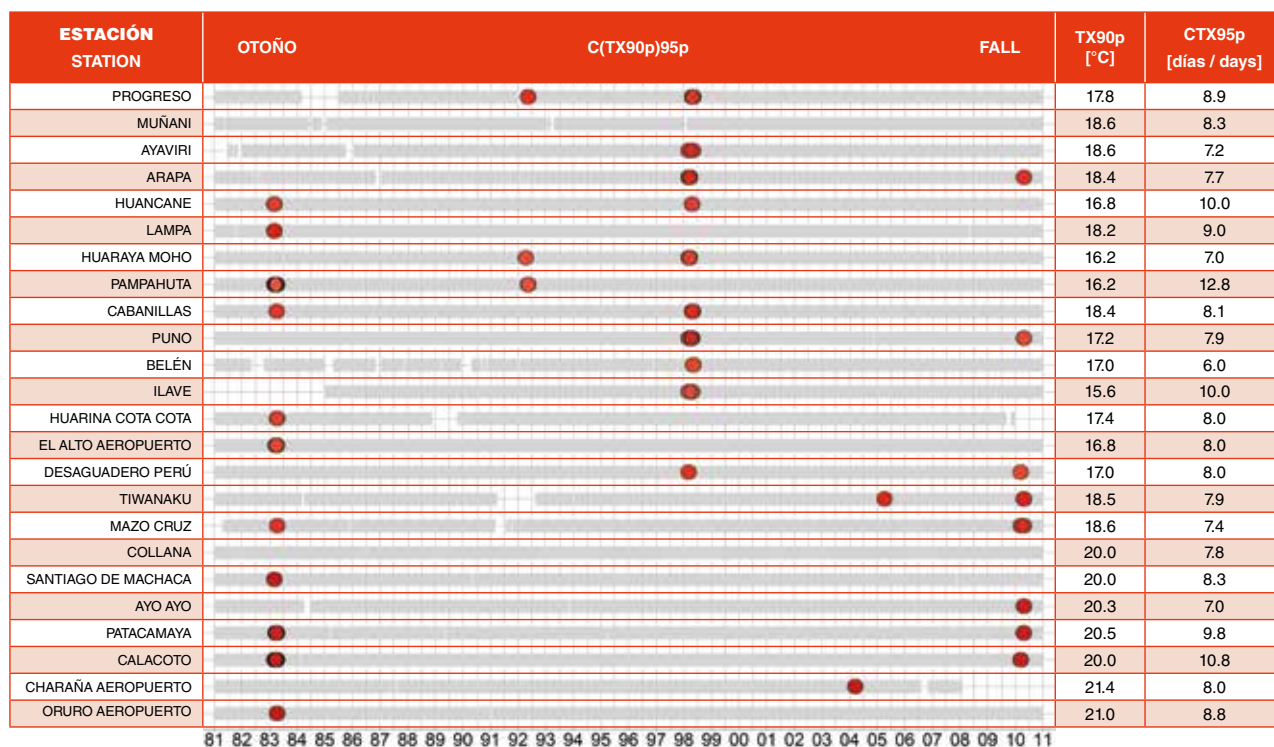
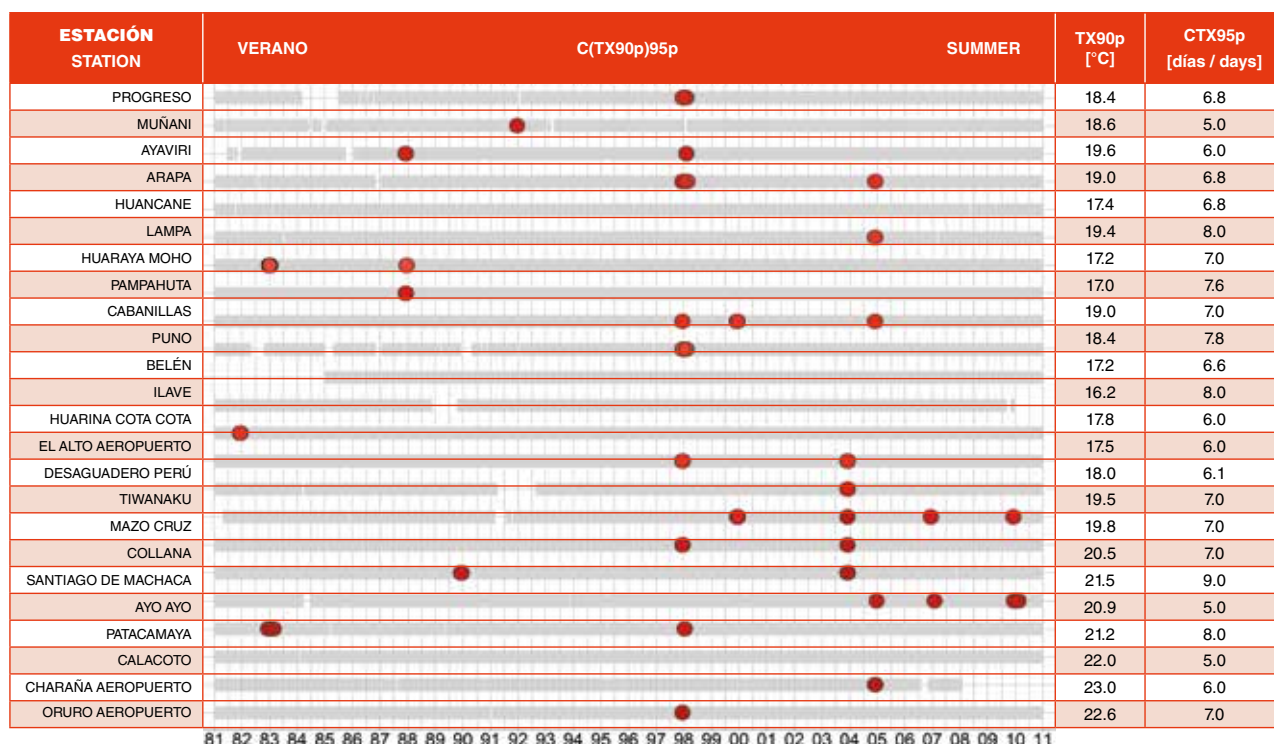


M-45 Como en M-42 pero para primavera (SON).
As in M-42 but for spring (SON).



Eventos extremadamente largos de días cálidos consecutivos

Events of extremely long consecutive warm days

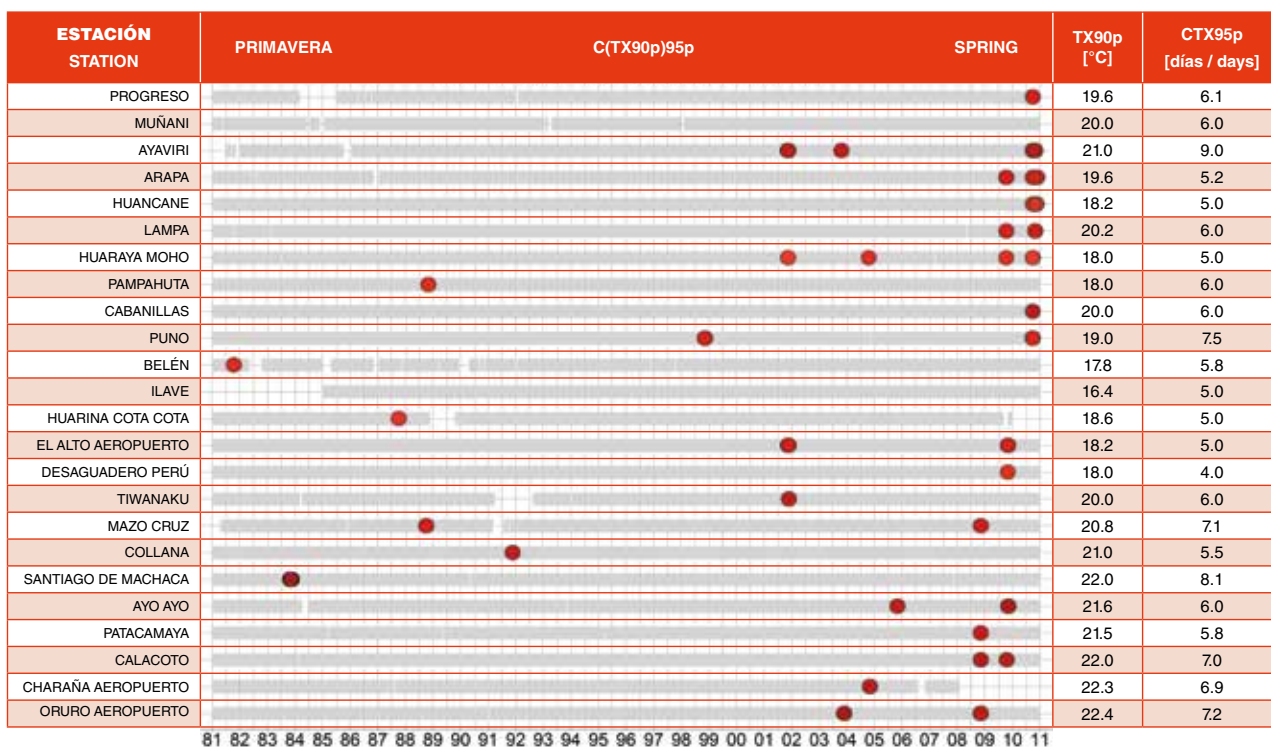


F-13 Eventos extremadamente largos de días cálidos consecutivos para verano, invierno, otoño y primavera. Se muestran todos los eventos que cumplen la definición de la tabla T-7 en el período de estudio. Las barras indican la existencia de datos (plomo) o la falta de los mismos (blanco) en una fecha dada entre enero 1 de 1981 y diciembre 31 de 2010. Los círculos muestran cuando ocurrieron estos eventos y los colores indican cuál la temperatura máxima promedio alcanzada en los mismos. Se muestran también, a la derecha del gráfico, valores de los umbrales por sitio de observación, para considerar al evento como uno cálido y el número mínimo de días consecutivos en los que se mantiene está temperatura para que el evento sea considerado extremo.



Eventos extremadamente largos de días cálidos consecutivos

Events of extremely long consecutive warm days



F-13 Events of extremely long consecutive warm days for summer, fall, winter and spring. All events that follow the definition given in table T-7 are shown in the figure. The bars indicate the existence (gray) or the lack (white) of data at a given date between January 1, 1981 and December 31, 2010. Circles show when these events occurred and colors indicate the average maximum temperature reached at that time. In addition, on the right hand side of the figure, are shown values of the thresholds of maximum temperature by observation site, for the event to be considered as warm and the minimum number of consecutive days on which such temperature holds for the event to be considered as extreme.

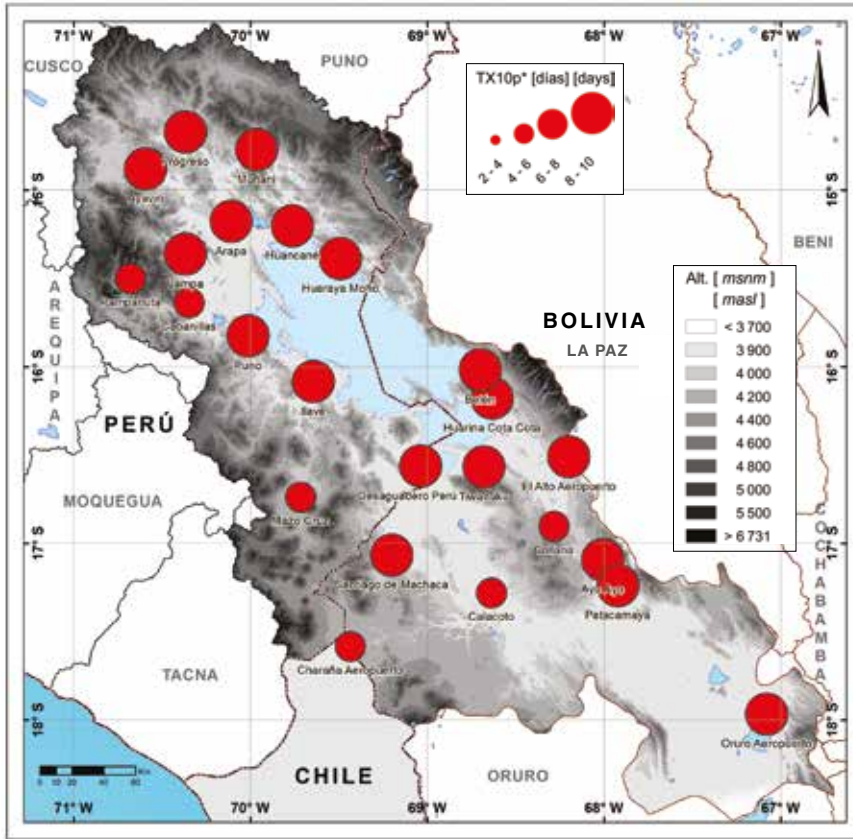


NÚMERO DE DÍAS FRÍOS / NUMBER OF COLD DAYS

Verano

- DJF -

Summer



M-46 Número promedio de días fríos (TX10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

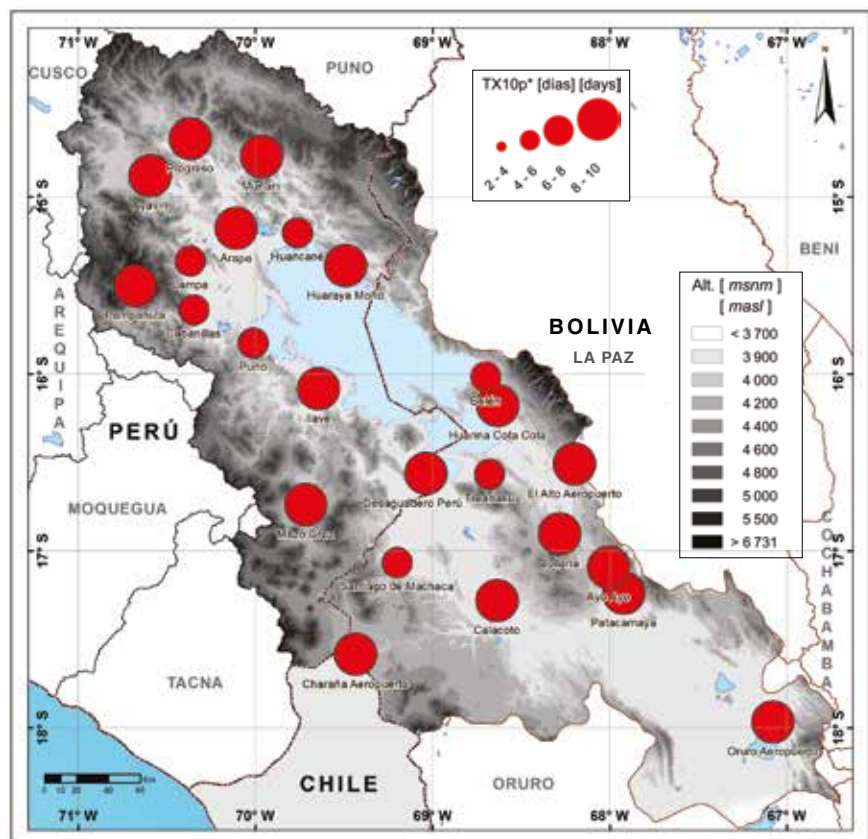
Average number of cold days (TX10p*) defined by the 10th-percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-47 Como en M-46 pero para otoño (MAM).
As in M-46 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall





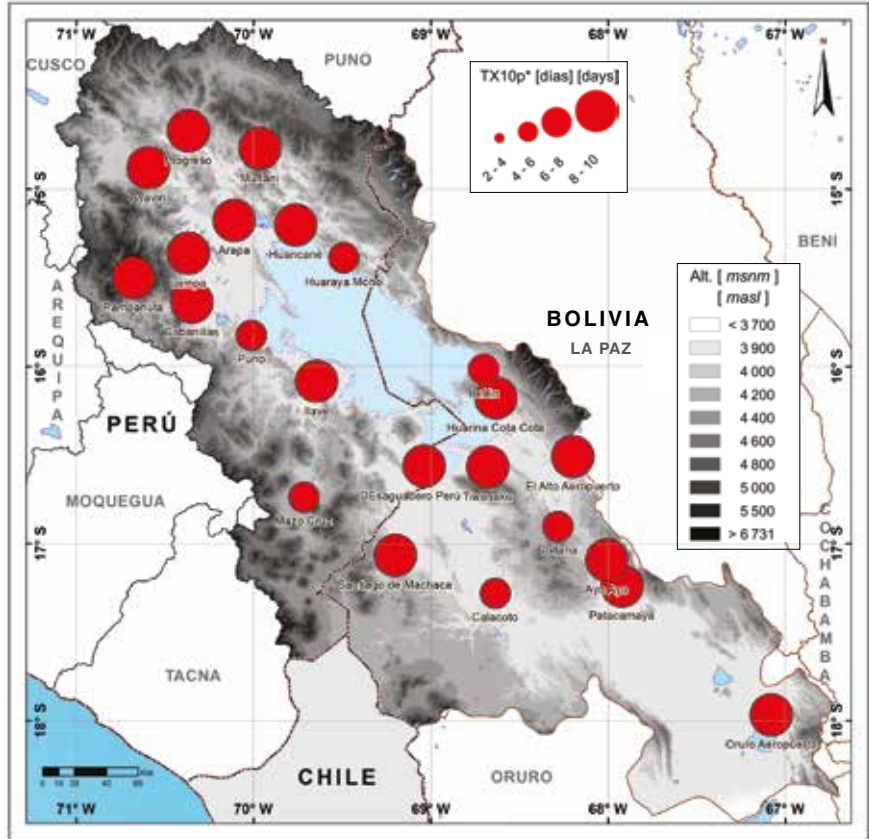
NÚMERO DE DÍAS FRÍOS / NUMBER OF COLD DAYS

M-48 Como en M-46 pero para invierno (JJA).
As in M-46 but for winter (JJA).

Invierno

- JJA -

Winter

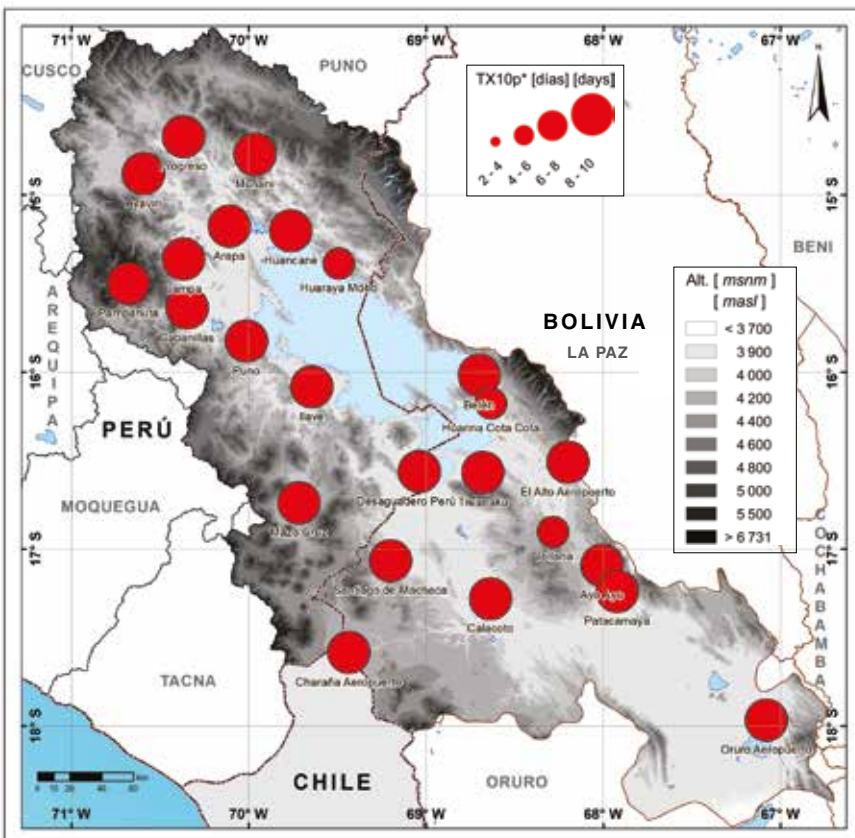


Primavera

- SON -

Spring

M-49 Como en M-46 pero para primavera (SON).
As in M-46 but for spring (SON).



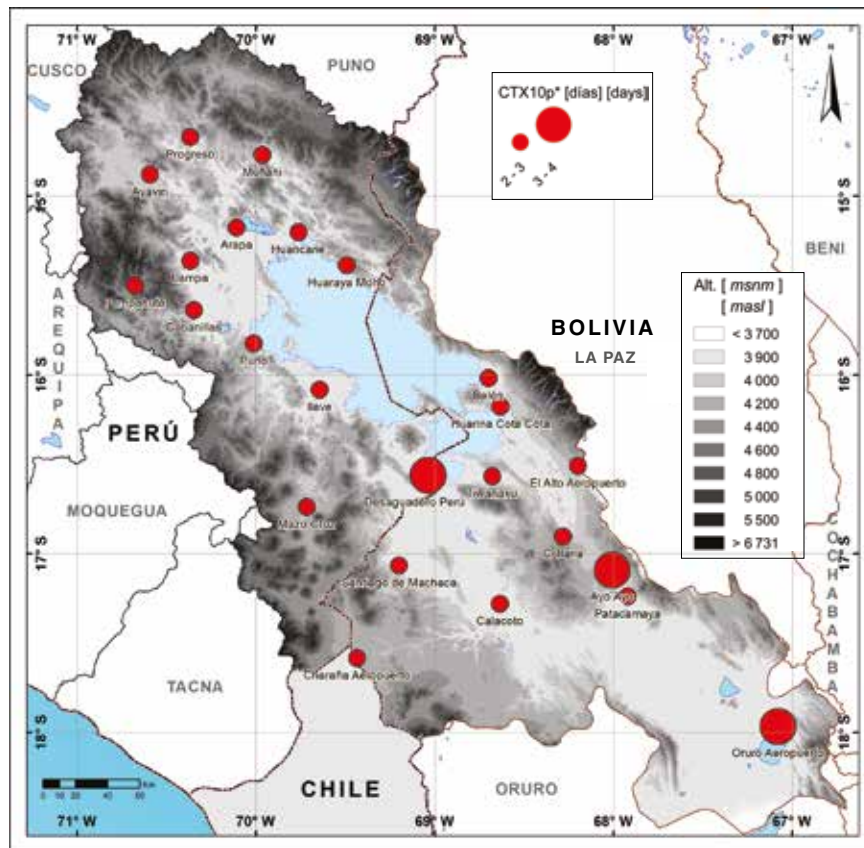


DÍAS FRÍOS CONSECUTIVOS / CONSECUTIVE COLD DAYS

Verano

- DJF -

Summer



M-50 Número promedio de días fríos consecutivos (CTX10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

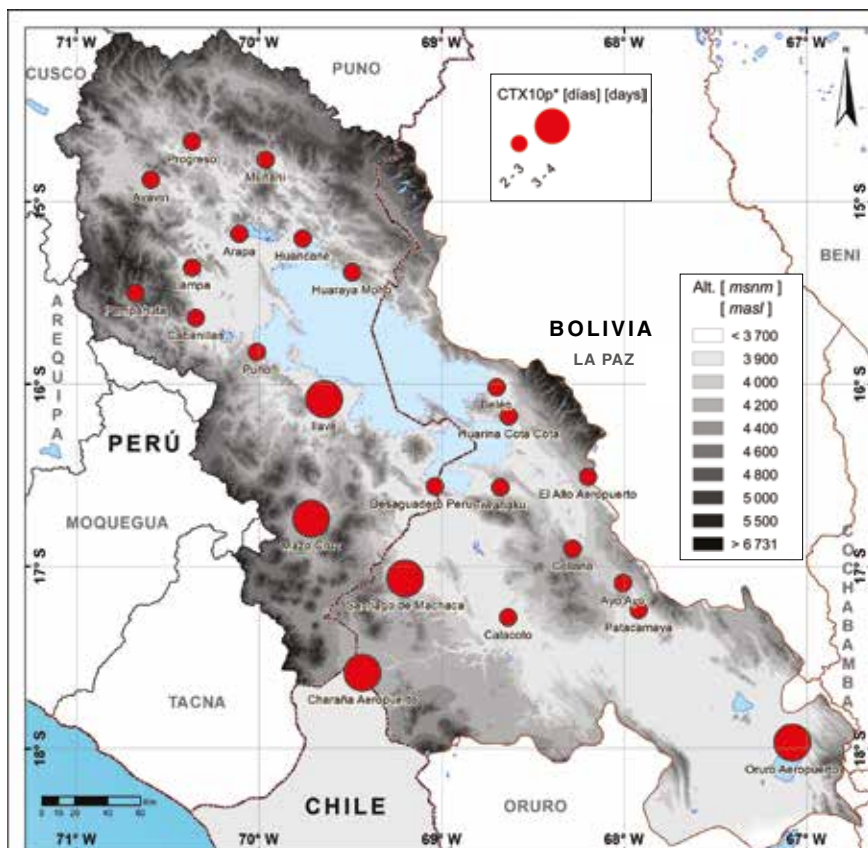
Average number of consecutive cold days (CTX10p*) defined by the 10th-percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-51 Como en M-50 pero para otoño (MAM).
As in M-50 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall

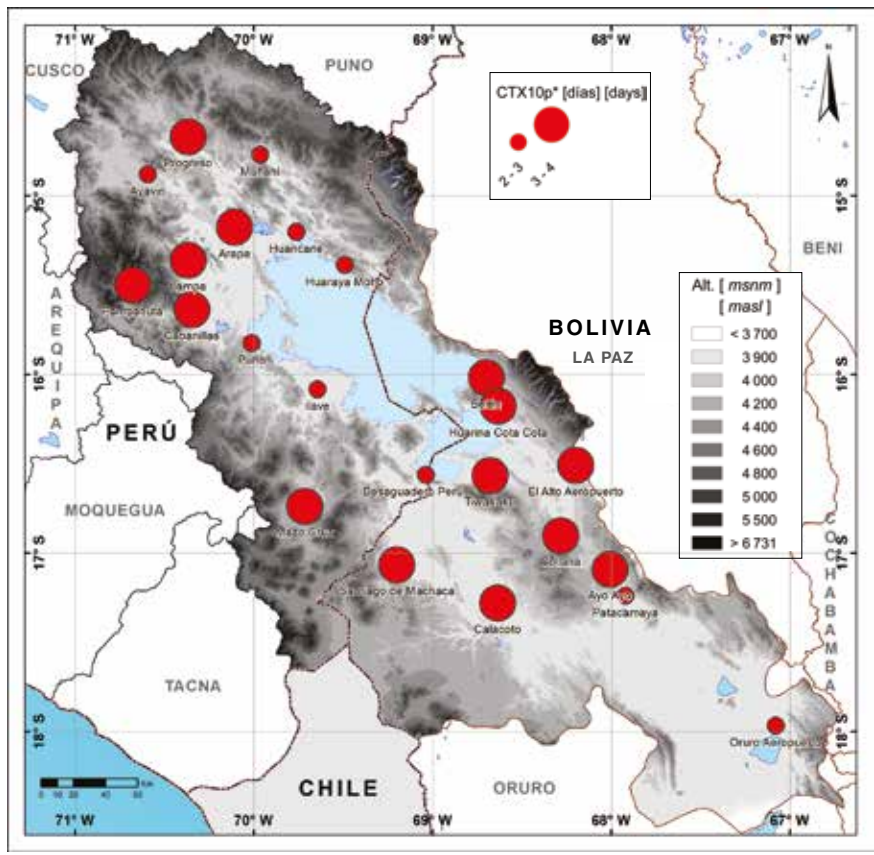




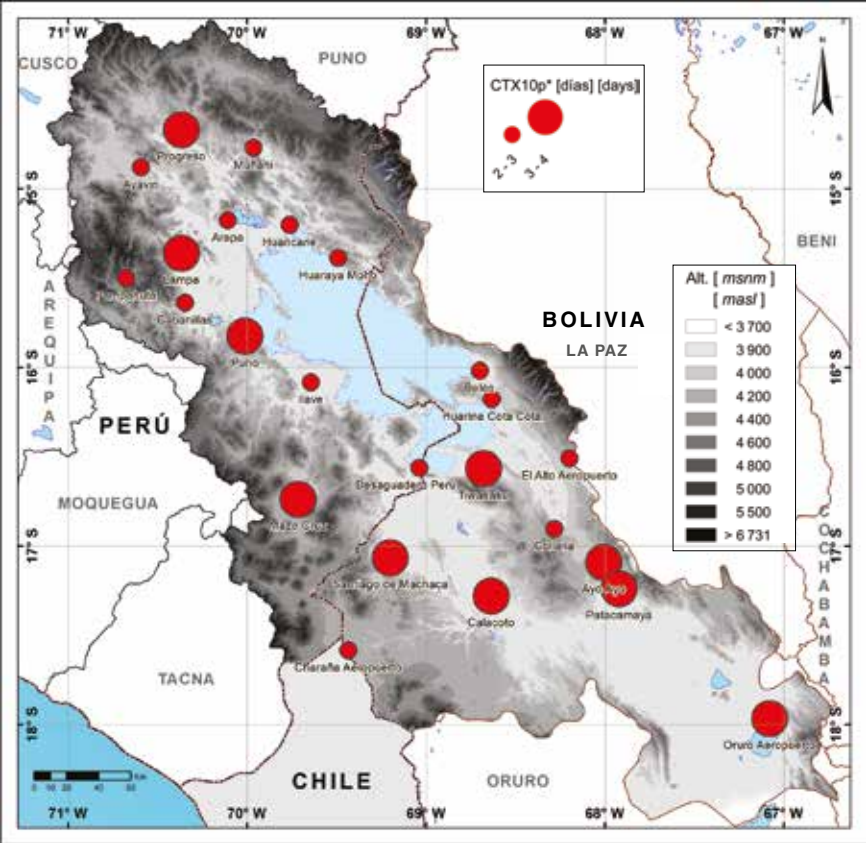
DÍAS FRÍOS CONSECUTIVOS / CONSECUTIVE COLD DAYS

M-52 Como en M-50 pero para invierno (JJA).
As in M-50 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



Primavera - SON - Spring

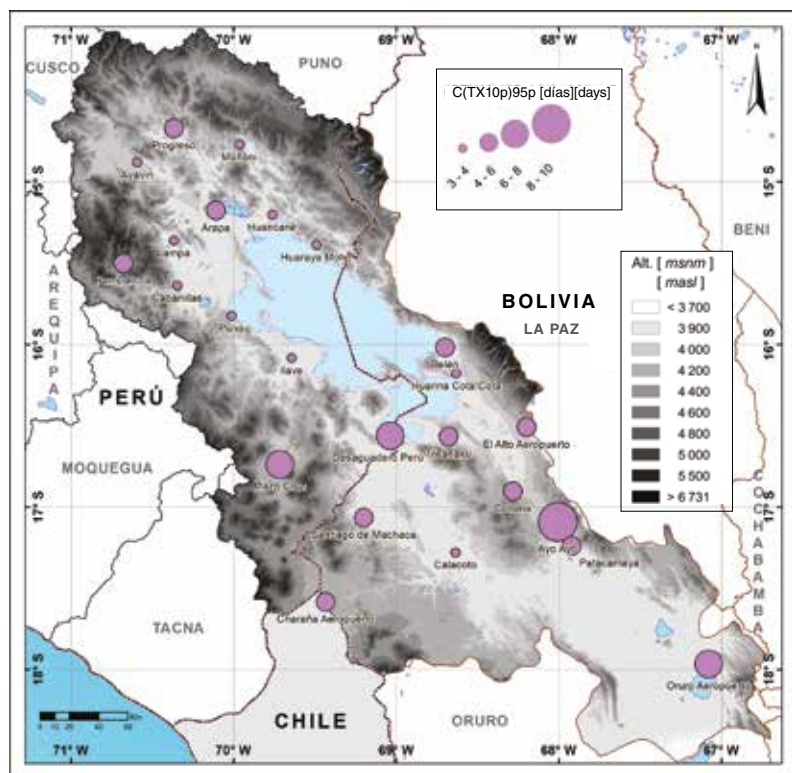


M-53 Como en M-50 pero para primavera (SON).
As in M-50 but for spring (SON).



PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE DÍAS FRÍOS CONSECUTIVOS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE COLD DAYS

Verano - DJF - Summer

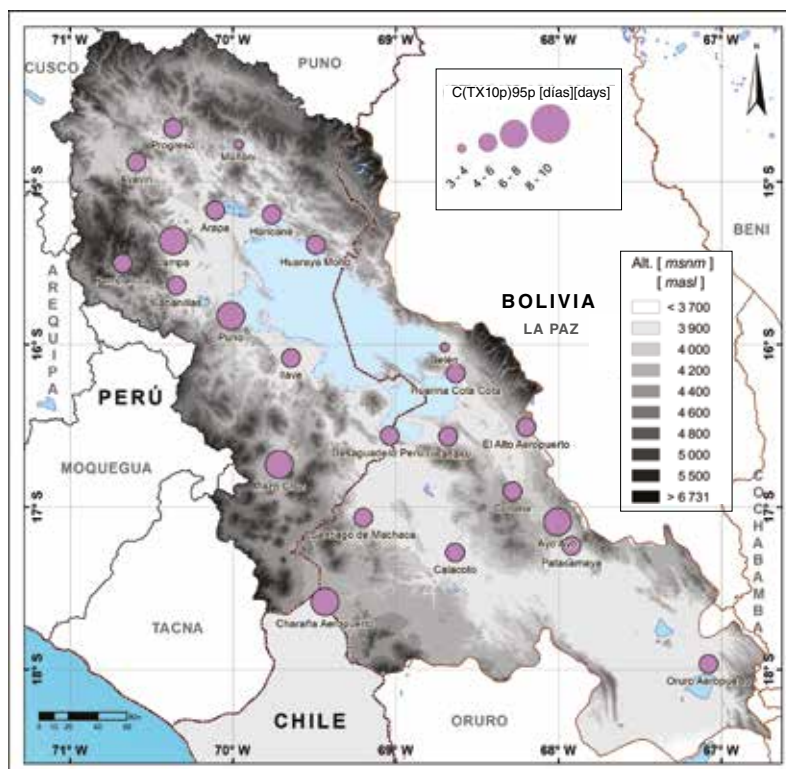


M-54 Período extremadamente largo de días fríos consecutivos $C(TX10p)95p$ definido por el percentil 95 de la distribución de días fríos, $TX < TX10p$, consecutivos en verano (DJF). Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

Extremely long consecutive cold days $C(TX10p)95p$ defined by the 95th-percentile of the distribution of consecutive warm days, $TX < TX10p$, in summer (DJF). Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-55 Como en M-54 pero para otoño (MAM).
As in M-54 but for fall (MAM).

Otoño - MAM - Fall

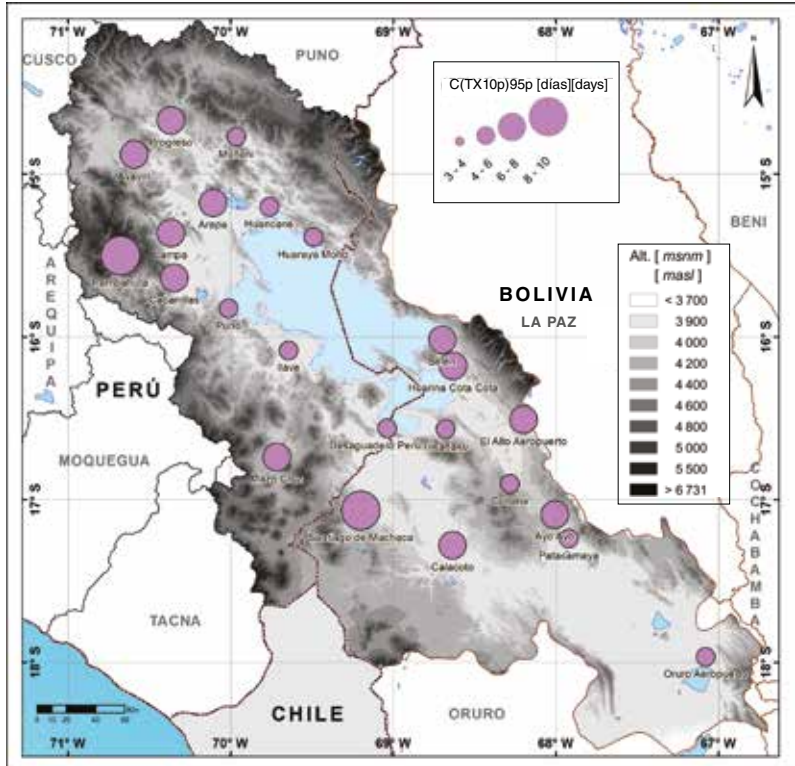




PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE DÍAS FRÍOS CONSECUTIVOS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE COLD DAYS

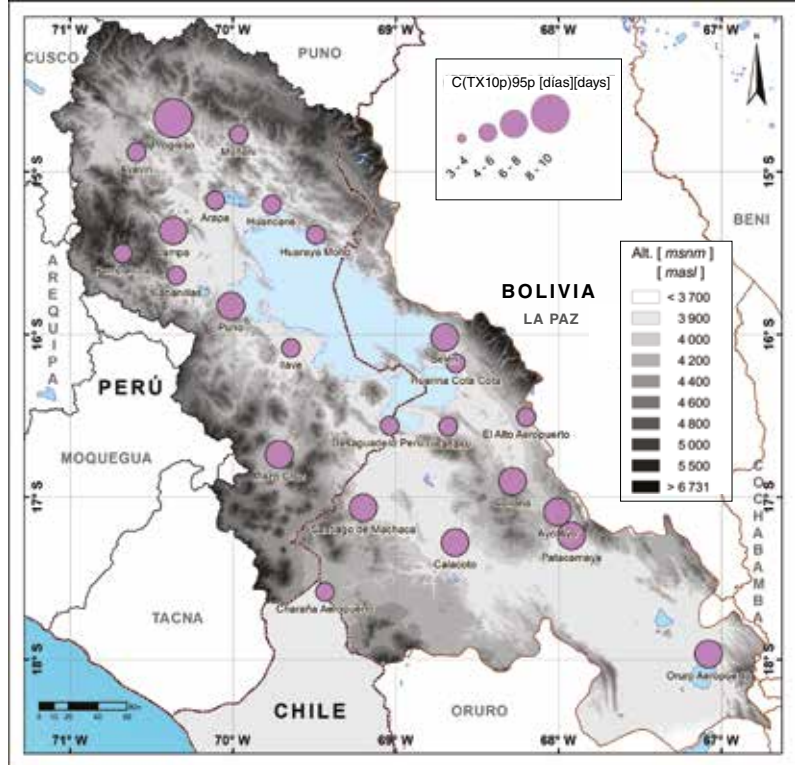
M-56 Como en M-54 pero para invierno (JJA).
As in M-54 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



Primavera - SON -

Spring

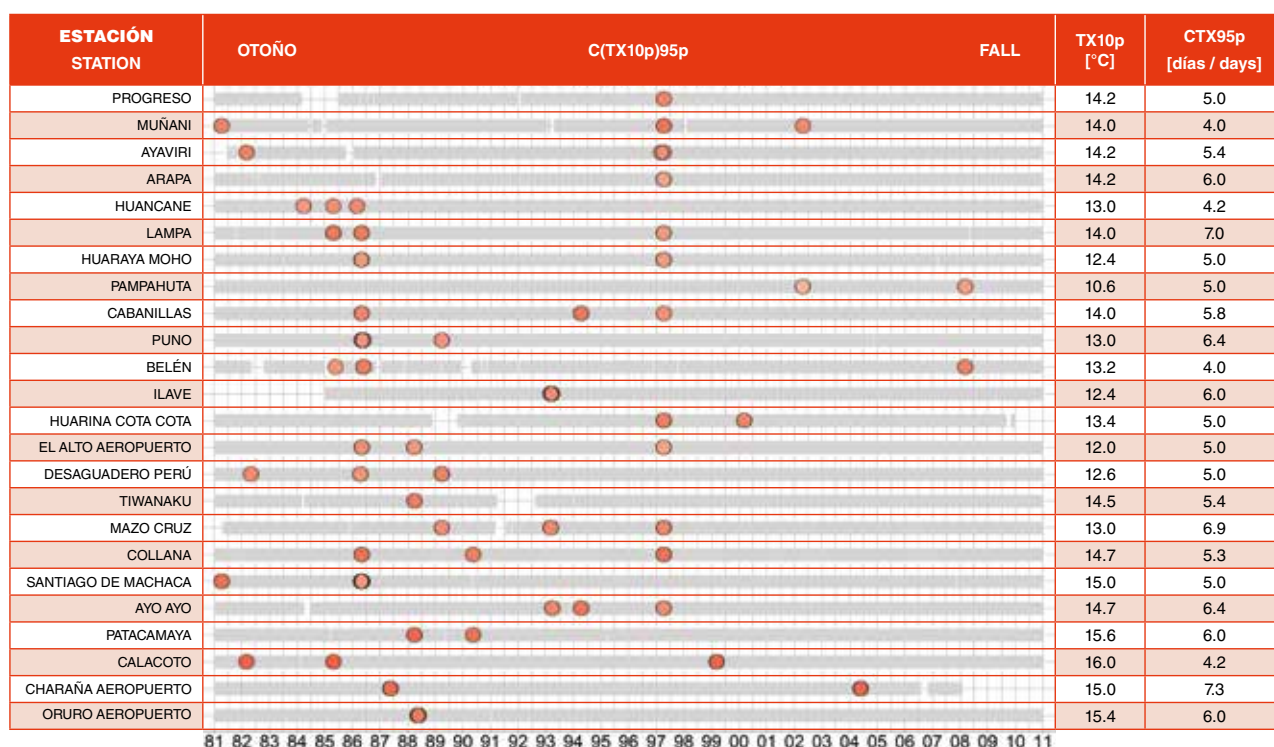
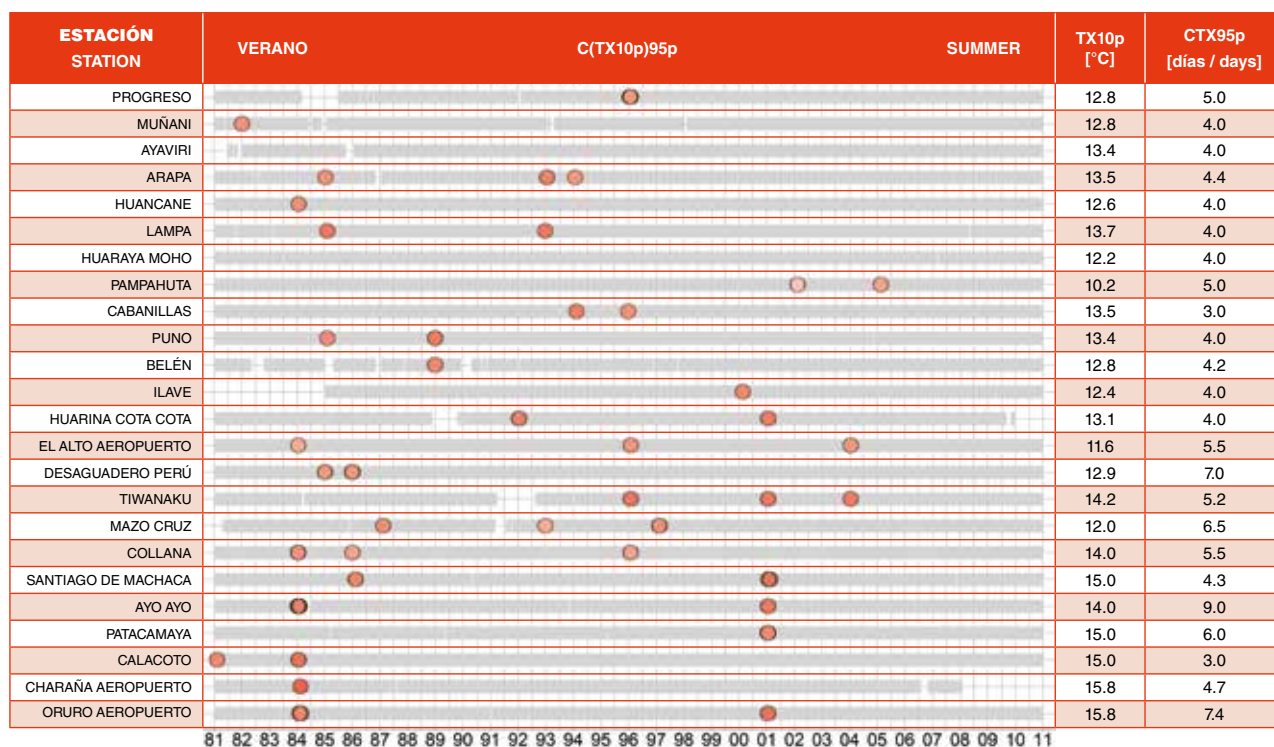


M-57 Como en M-54 pero para primavera (SON).
As in M-54 but for spring (SON).



Eventos extremadamente largos de días fríos consecutivos

Events of extremely long consecutive cold days



F-14 Eventos extremadamente largos de días fríos consecutivos para verano, invierno, otoño y primavera. Se muestran todos los eventos que cumplen la definición de la tabla T-7 en el período de estudio. Las barras indican la existencia de datos (plomo) o la falta de los mismos (blanco) en una fecha dada entre enero 1 de 1981 y diciembre 31 de 2010. Los círculos muestran cuando ocurrieron estos eventos y los colores indican cuál la temperatura máxima promedio alcanzada en los mismos. Se muestran también, a la derecha del gráfico, los valores de los umbrales por sitio de observación, para considerar al evento como uno frío y el número mínimo de días consecutivos en los que se mantiene está temperatura para que el evento sea considerado extremo.

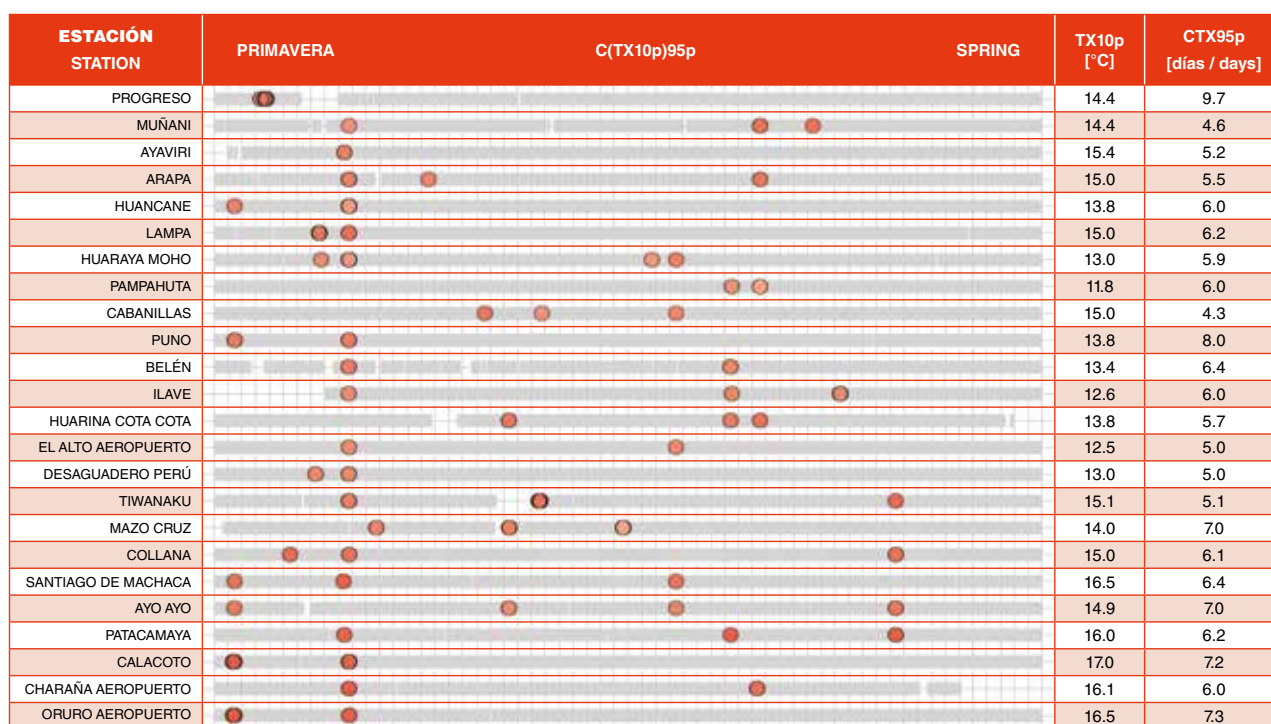


Eventos extremadamente largos de días fríos consecutivos

Events of extremely long consecutive cold days



81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11



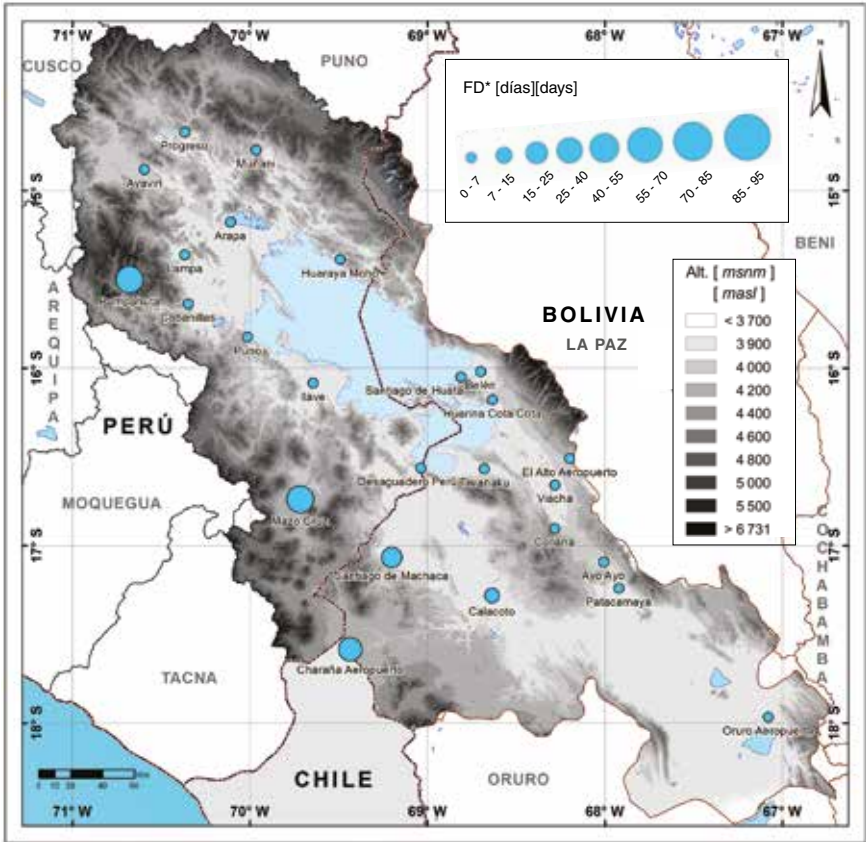
81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11

F-14 Events of extremely long consecutive cold days for summer, fall, winter and spring. All events that follow the definition given in table T-7 are shown in the figure. The bars indicate the existence (gray) or the lack (white) of data at a given date between January 1, 1981 and December 31, 2010. Circles show when these events occurred and colors indicate the average maximum temperature reached at that time. In addition, on the right hand side of the figure, are shown values of the thresholds of maximum temperature by observation site, for the event to be considered as cold and the minimum number of consecutive days on which such temperature holds for the event to be considered as extreme.



NÚMERO DE DÍAS CON HELADA / NUMBER OF FROST DAYS

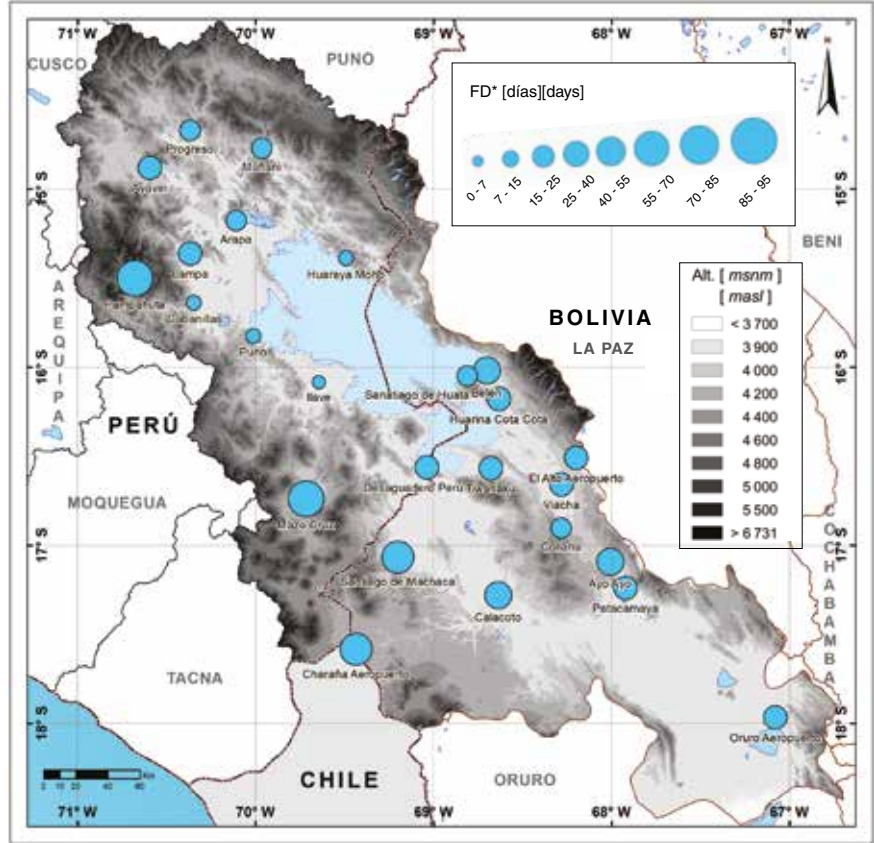
Verano - DJF - Summer



M-58 Número promedio de días con helada (TN<0°C) para verano (DJF) en el período 1981-2010.
Summer (DJF) mean number of frost days (TN<0°C) for the 1981-2010 period.

M-59 Como en M-58 pero para otoño (MAM).
As in M-58 but for fall (MAM).

Otoño - MAM - Fall

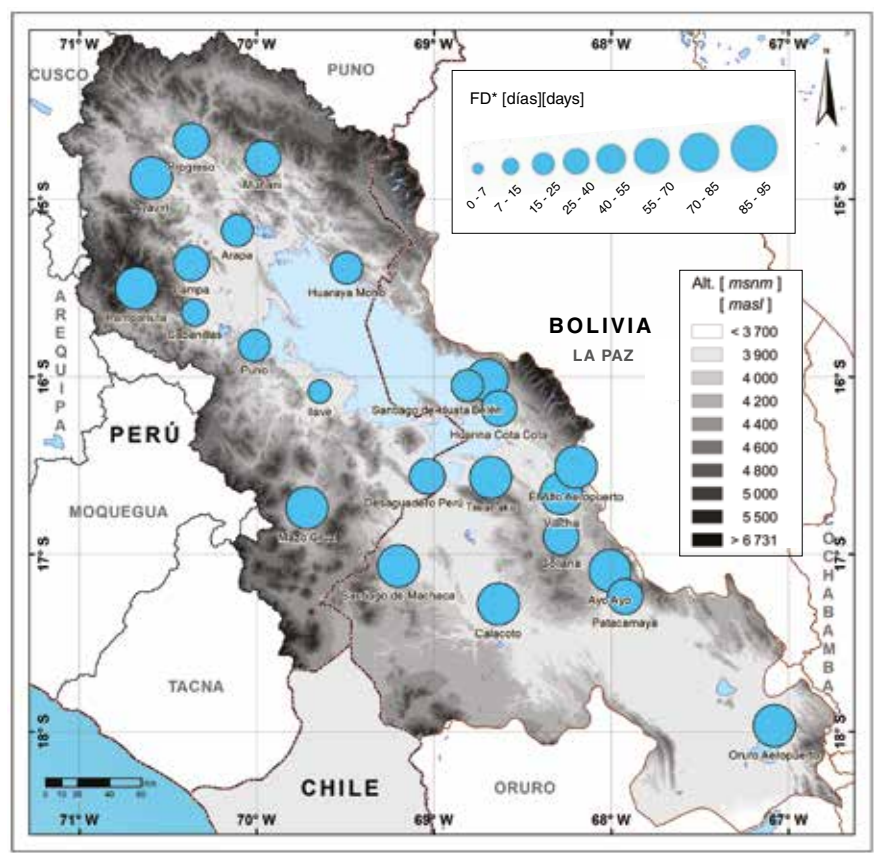




NÚMERO DE DÍAS CON HELADA / NUMBER OF FROST DAYS

M-60 Como en M-58 pero para invierno (JJA).
As in M-58 but for winter (JJA).

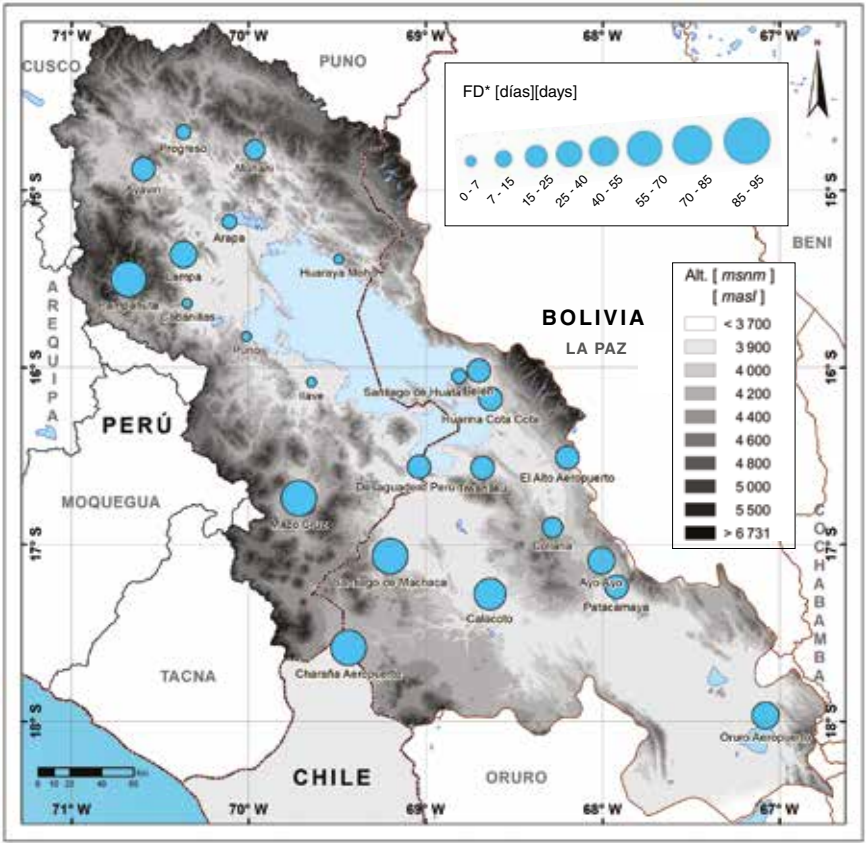
Invierno - JJA - Winter



Primavera

- SON -

Spring



M-61 Como en M-58 pero para primavera (SON).
As in M-58 but for spring (SON).

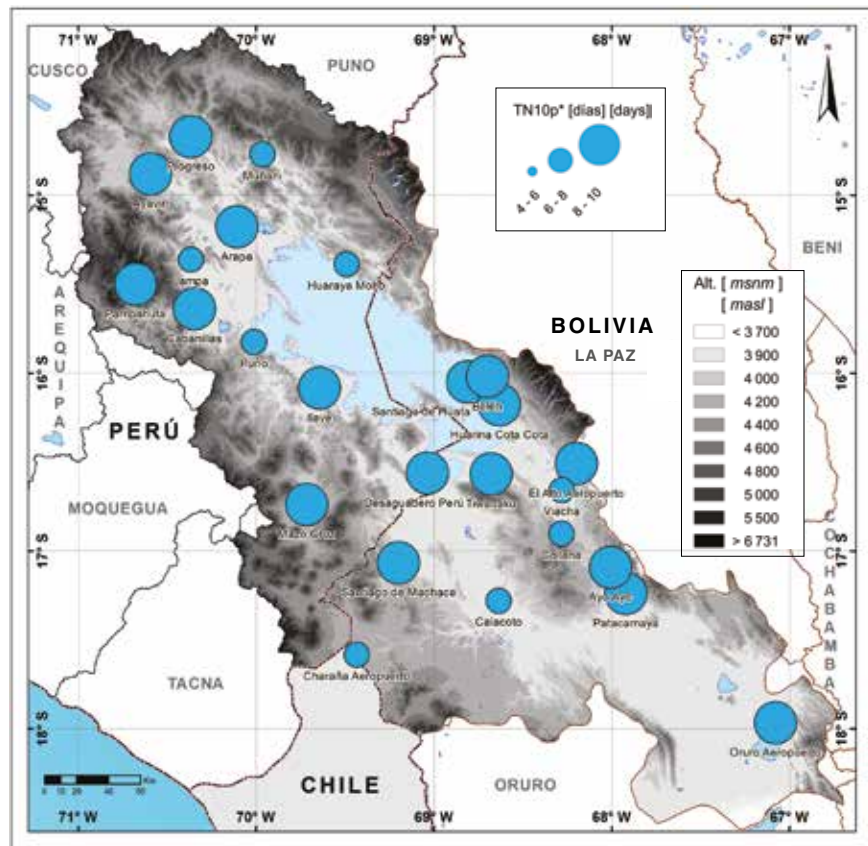


NÚMERO DE NOCHES FRÍAS / NUMBER OF COLD NIGHTS

Verano

- DJF -

Summer



M-62 Número promedio de noches frías (TN10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

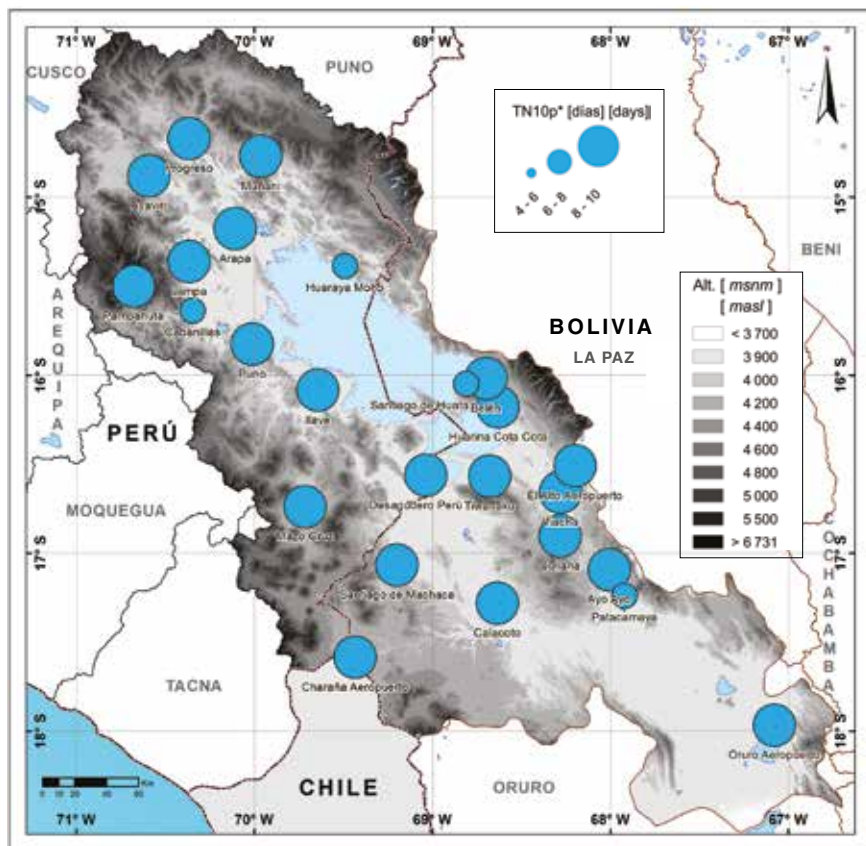
Average number of cold nights (TN10p*) defined by the 10th-percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-63 Como en M-62 pero para otoño (MAM).
As in M-62 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall





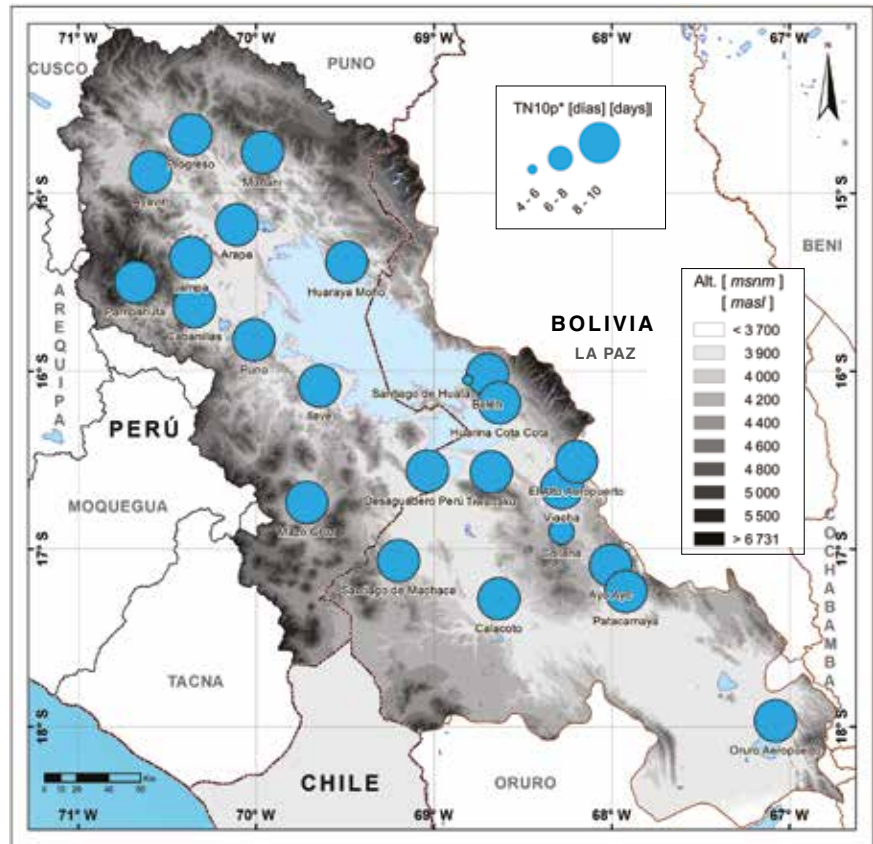
NÚMERO DE NOCHES FRÍAS / NUMBER OF COLD NIGHTS

M-64 Como en M-62 pero para invierno (JJA).
As in M-62 but for winter (JJA).

Invierno

- JJA -

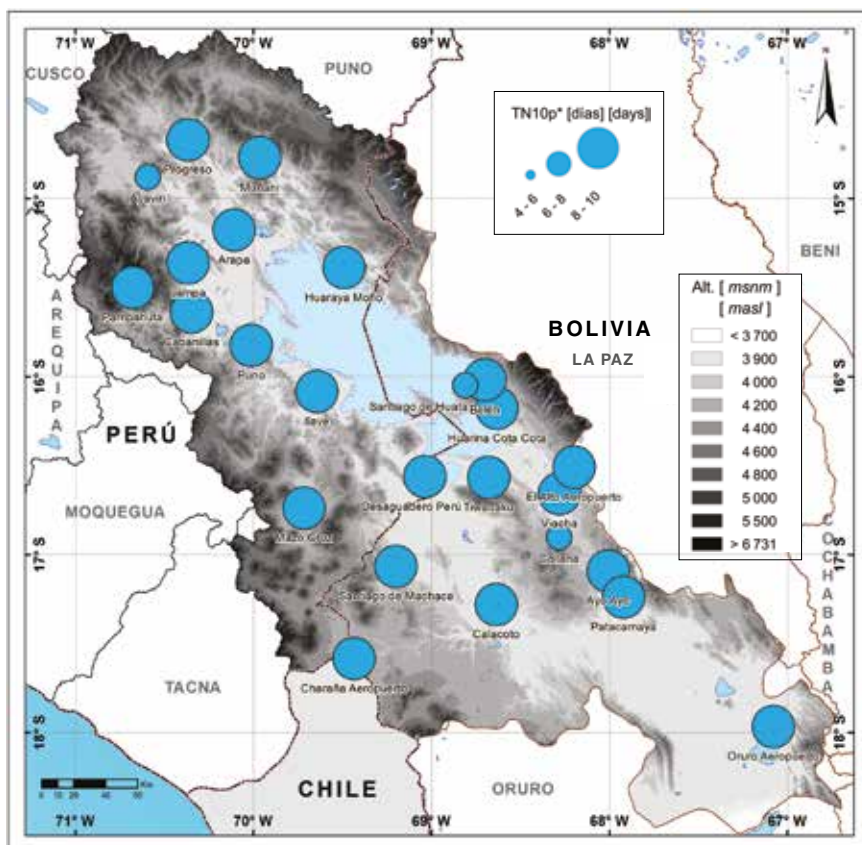
Winter



Primavera

- SON -

Spring



M-65 Como en M-62 pero para primavera (SON).
As in M-62 but for spring (SON).

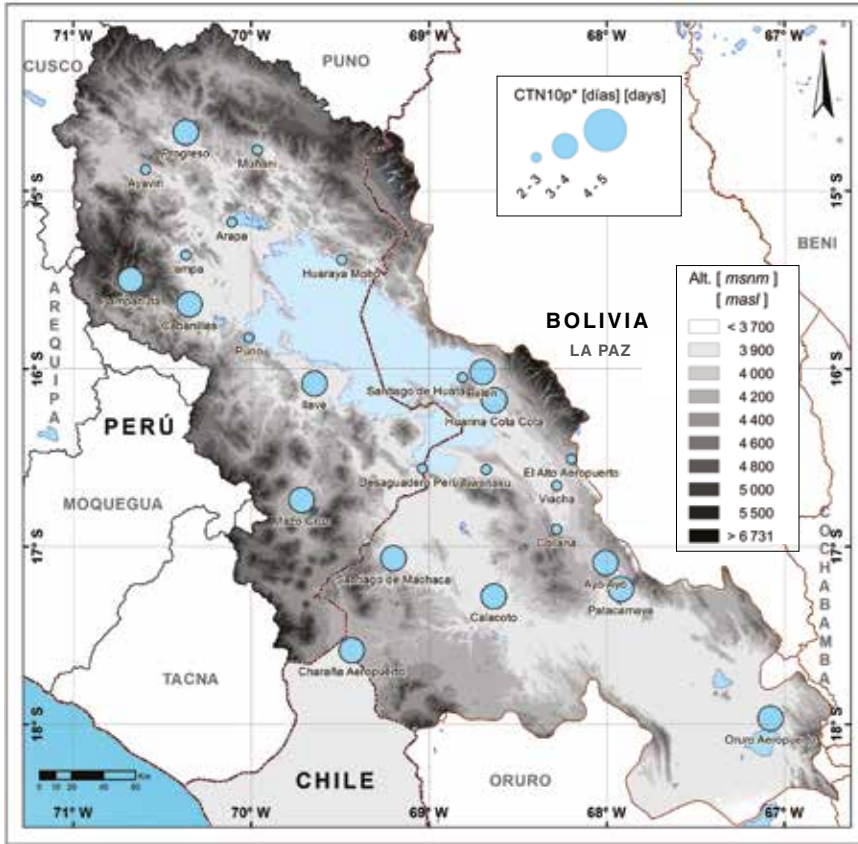


NOCHES FRÍAS CONSECUTIVAS / CONSECUTIVE COLD NIGHTS

Verano

- DJF -

Summer



M-66 Número promedio de noches frías consecutivas (CTN10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en días, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

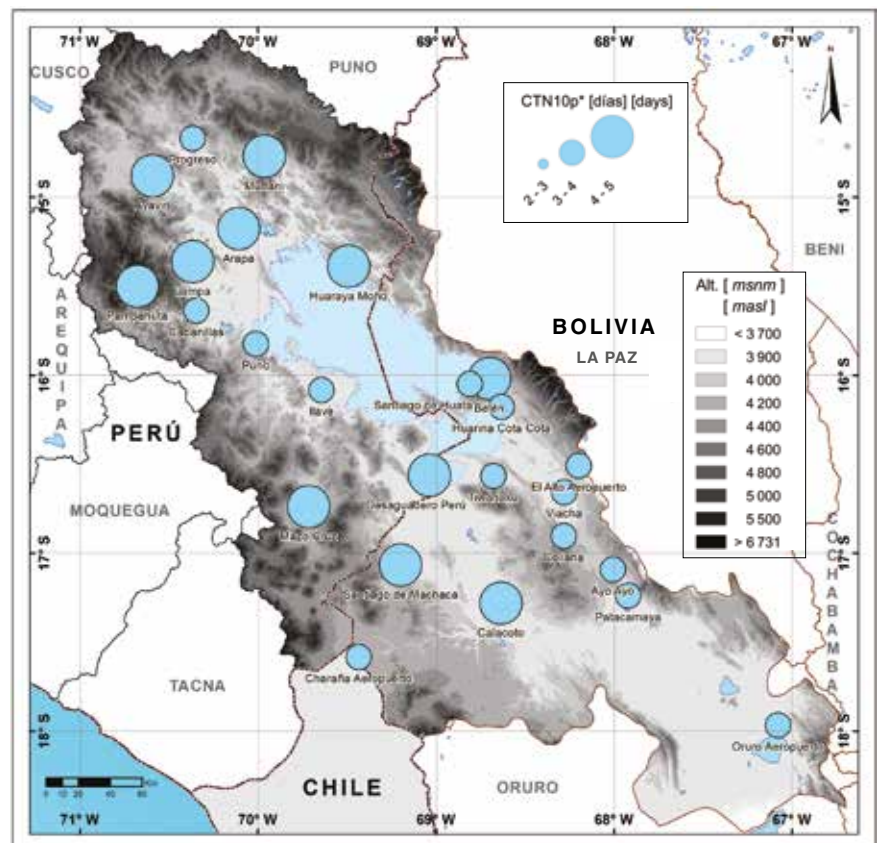
Average number of consecutive cold nights (CTN10p*) defined by the 10th-percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-67 Como en M-66 pero para otoño (MAM).
As in M-66 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall





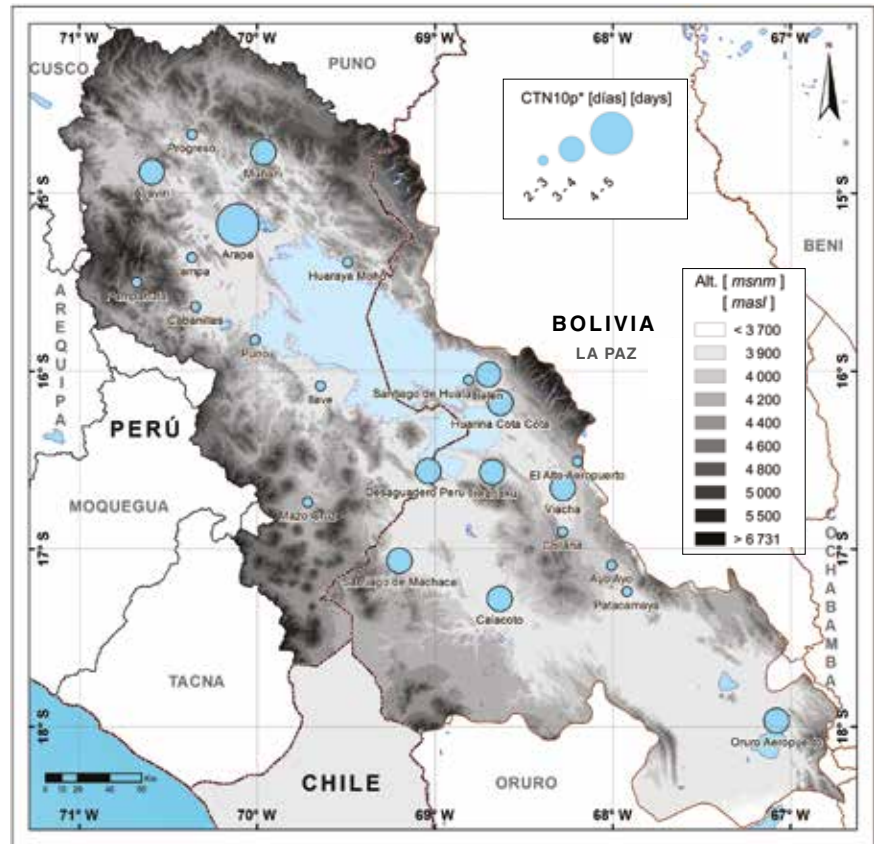
NOCHES FRÍAS CONSECUTIVAS / CONSECUTIVE COLD NIGHTS

Invierno

- JJA -

Winter

M-68 Como en M-66 pero para invierno (JJA).
As in M-66 but for winter (JJA).

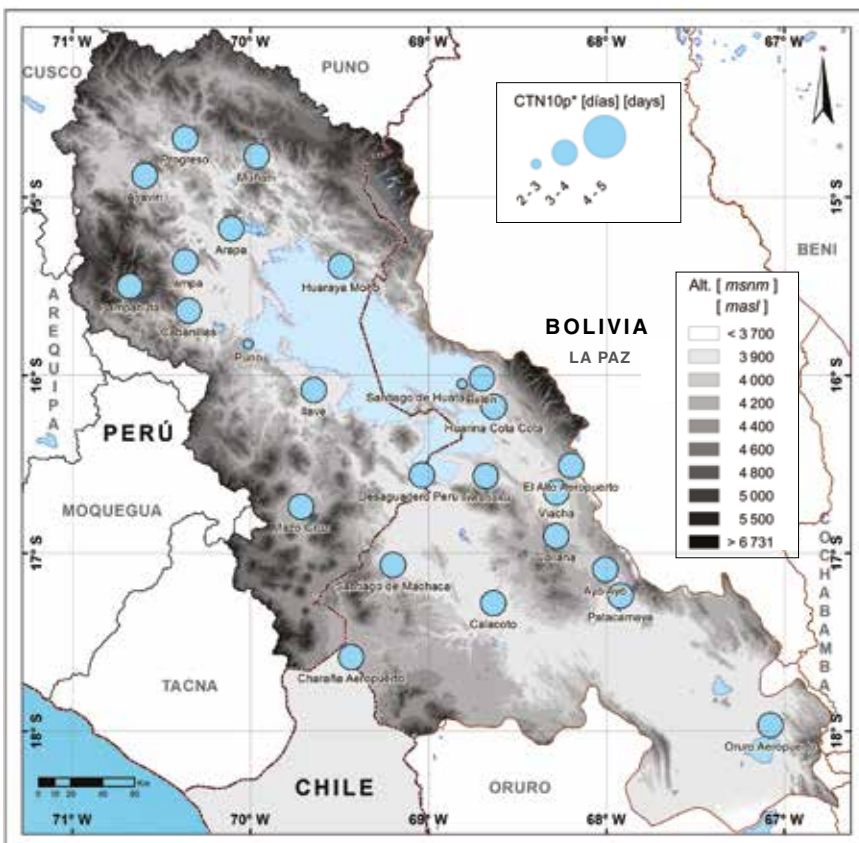


Primavera

- SON -

Spring

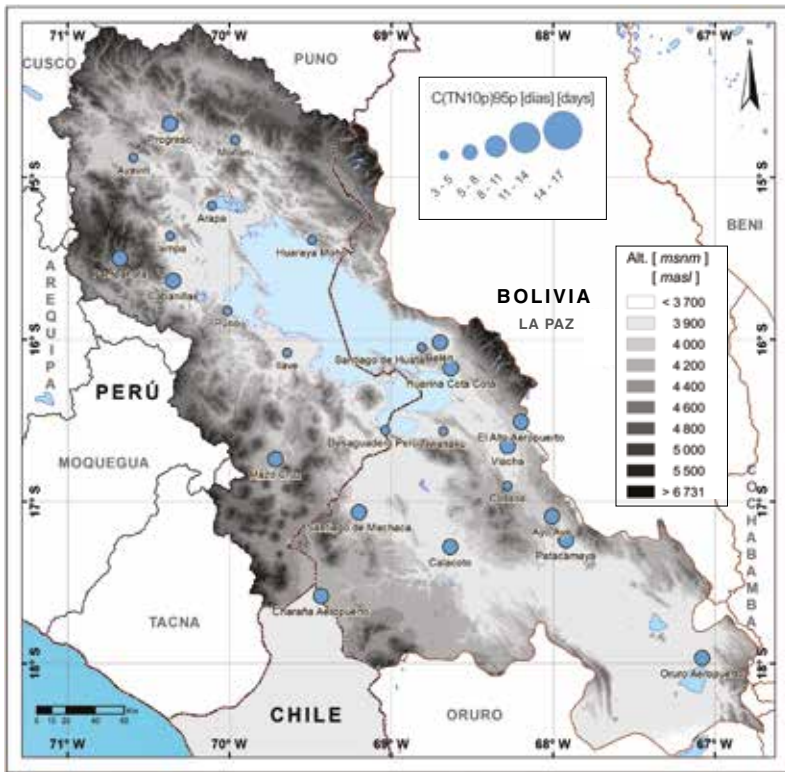
M-69 Como en M-66 pero para primavera (SON).
As in M-66 but for spring (SON).





PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE NOCHES FRÍAS CONSECUTIVAS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE COLD NIGHTS

Verano - DJF - Summer

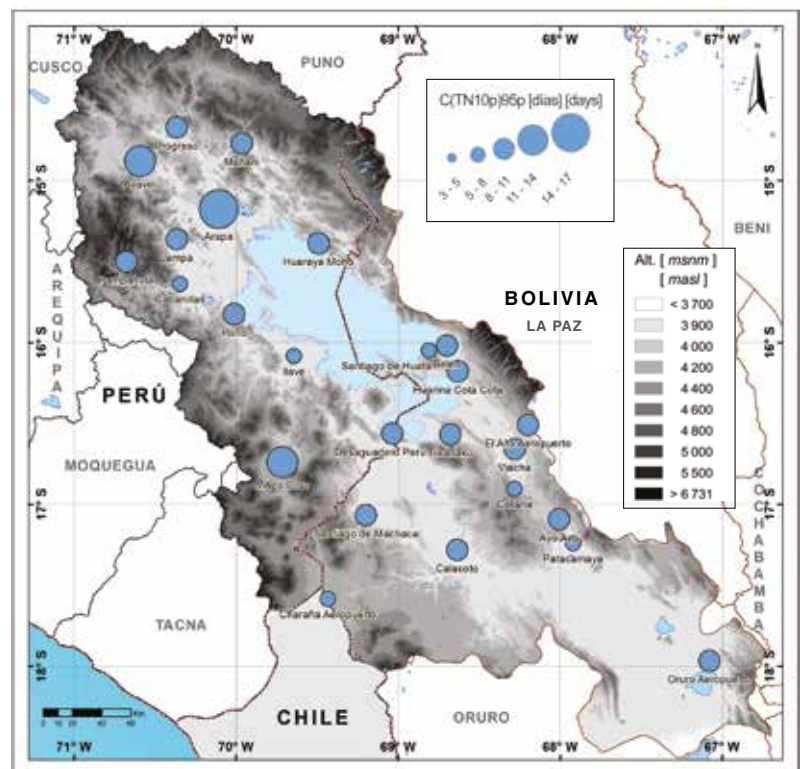


M-70 Período extremadamente largo de noches frías consecutivas C(TN10p)95p definido por el percentil 95 de la distribución de noches frías, $TN < TN_{10p}$, consecutivas en verano (DJF). Los círculos representan el rango, en noches, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

Extremely long consecutive cold nights C(TN10p)95p defined by the 95th-percentile of the distribution of consecutive cold, $TN < TN_{10p}$, nights in summer (DJF). Circles represent the range, in days, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-71 Como en M-70 pero para otoño (MAM).
As in M-70 but for fall (MAM).

Otoño - MAM - Fall

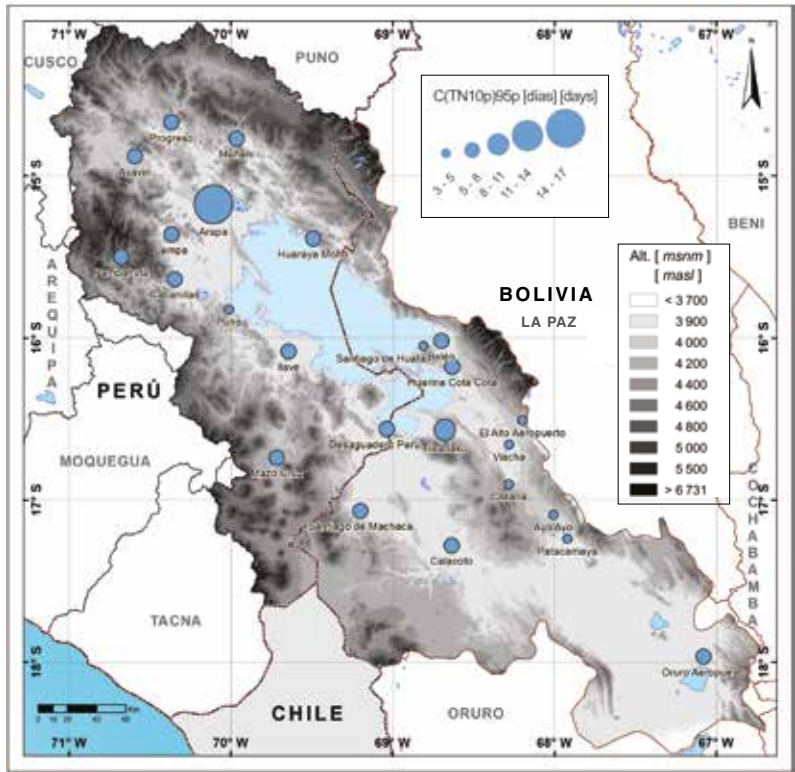




PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE NOCHES FRÍAS CONSECUTIVAS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE COLD NIGHTS

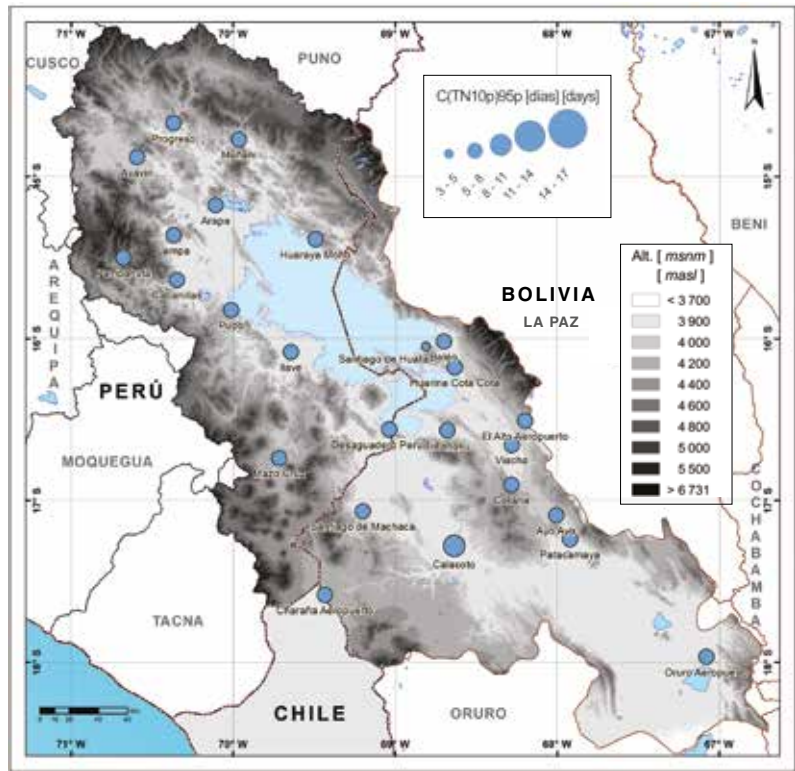
M-72 Como en M-70 pero para invierno (JJA).
As in M-70 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



Primavera - SON -

Spring



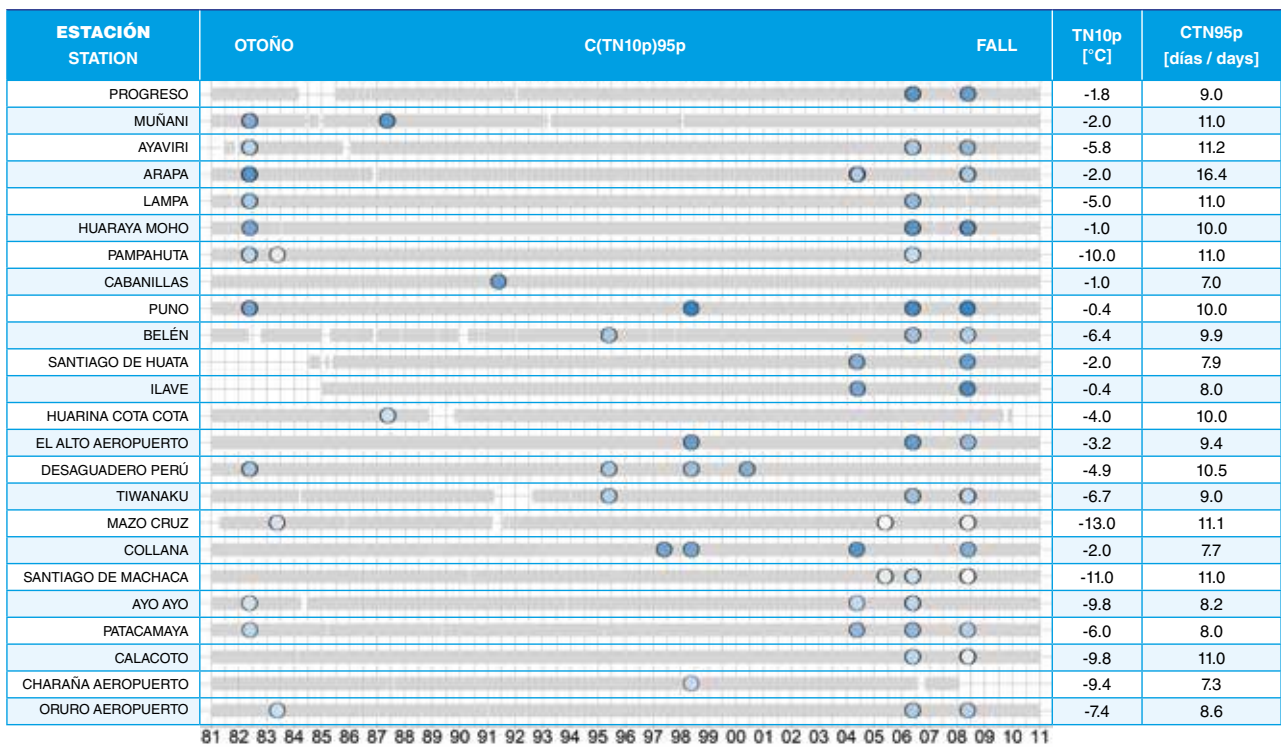
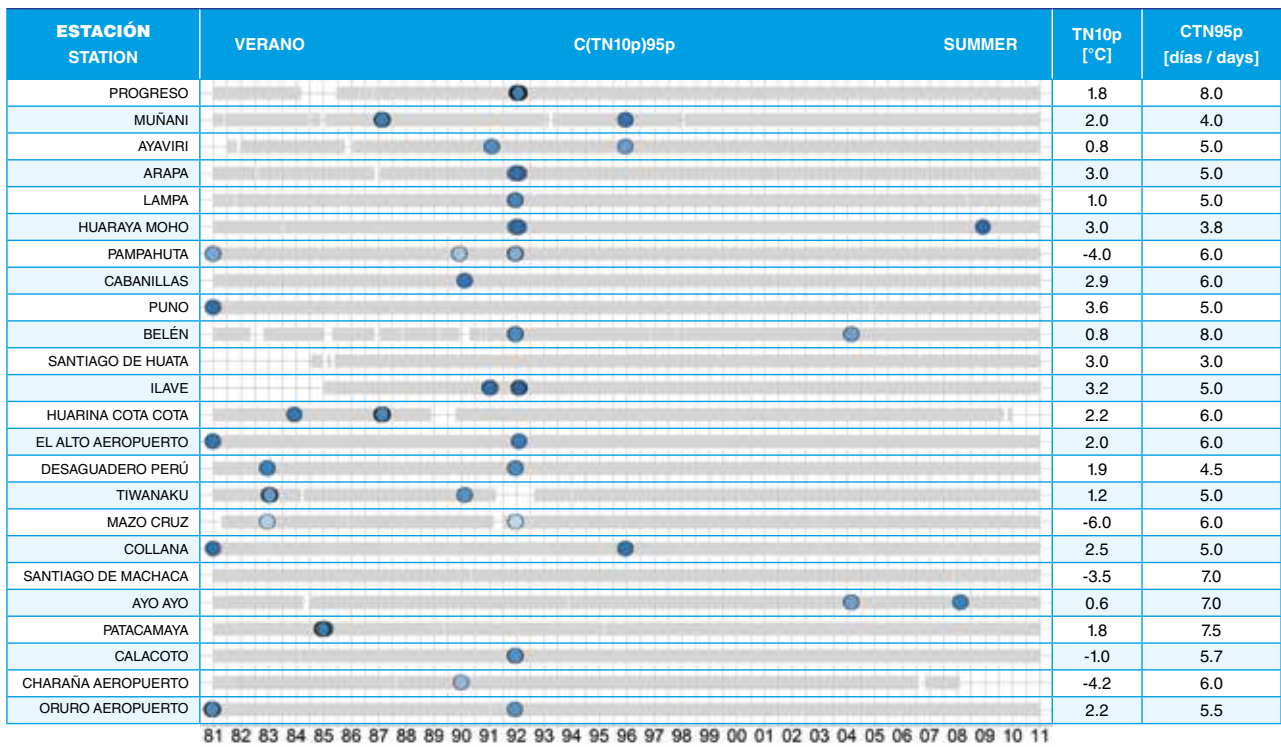
M-73 Como en M-70 pero para primavera (SON).
As in M-70 but for spring (SON).



Eventos extremadamente largos de noches frías consecutivas

Events of extremely long consecutive cold nights

TMP - Climatología e índices de eventos extremos

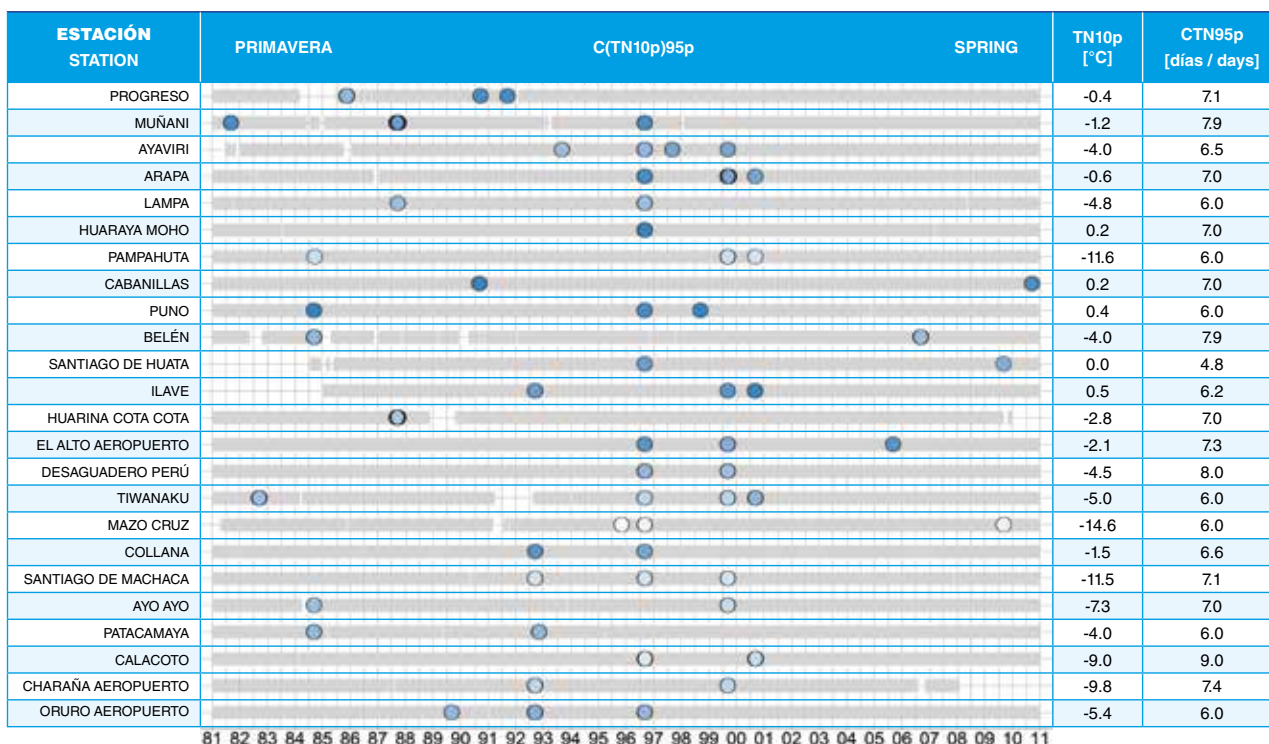
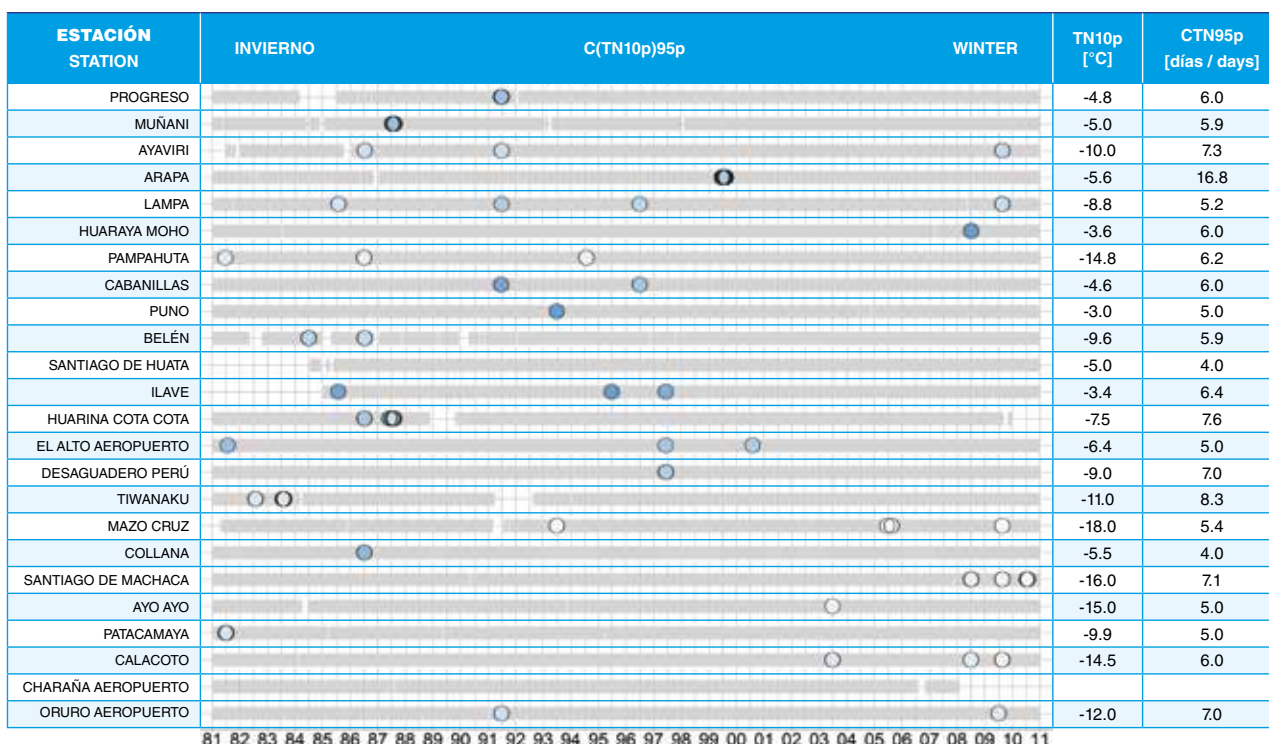


F-15 Eventos extremadamente largos de noches frías consecutivas para verano, invierno, otoño y primavera. Se muestran todos los eventos que cumplen la definición de la tabla T-7 en el período de estudio. Las barras indican la existencia de datos (plomo) o la falta de los mismos (blanco) en una fecha dada entre enero 1 de 1981 y diciembre 31 de 2010. Los círculos muestran cuando ocurrieron estos eventos y los colores indican cuál la temperatura mínima promedio alcanzada en los mismos. Se muestran también, a la derecha del gráfico, los valores de los umbrales por sitio de observación, para considerar al evento como uno frío y el número mínimo de días consecutivos en los que se mantiene está temperatura para que el evento sea considerado extremo.



Eventos extremadamente largos de noches frías consecutivas

Events of extremely long consecutive cold nights



F-15 Events of extremely long consecutive cold nights for summer, fall, winter and spring. All events that follow the definition given in table T-7 are shown in the figure. The bars indicate the existence (gray) or the lack (white) of data at a given date between January 1, 1981 and December 31, 2010. Circles show when these events occurred and colors indicate the average minimum temperature reached at that time. In addition, on the right hand side of the figure, are shown values of the thresholds of minimum temperature by observation site, for the event to be considered as cold and the number of consecutive days on which such temperature holds for the event to be considered as extreme.

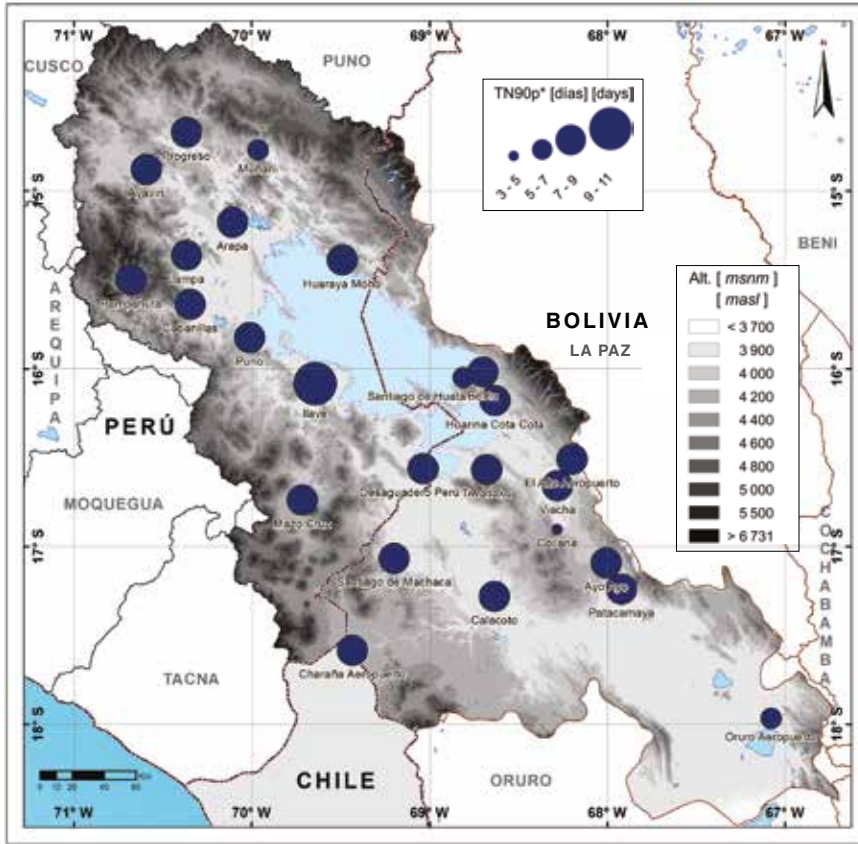


NÚMERO DE NOCHES CÁLIDAS / NUMBER OF WARM NIGHTS

Verano

- DJF -

Summer



M-74 Número promedio de noches cálidas (TN90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en noches, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

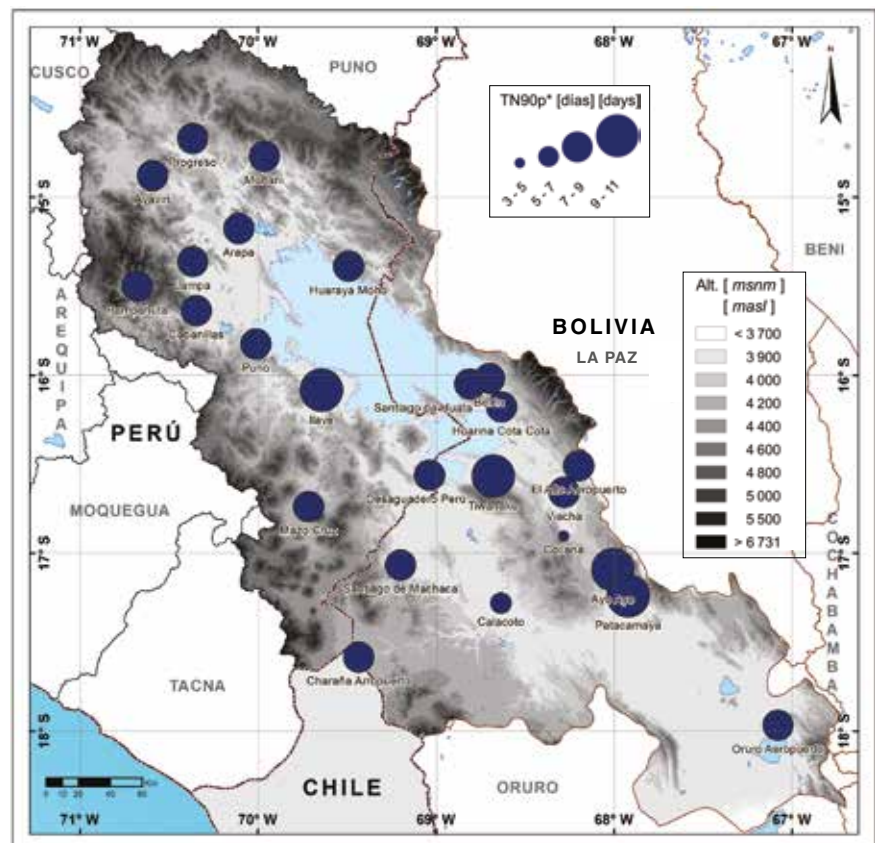
Average number of cold nights (TN90p*) defined by the 90th-percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in nights, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

Otoño

- MAM -

Fall

M-75 Como en M-74 pero para otoño (MAM).
As in M-74 but for fall (MAM).

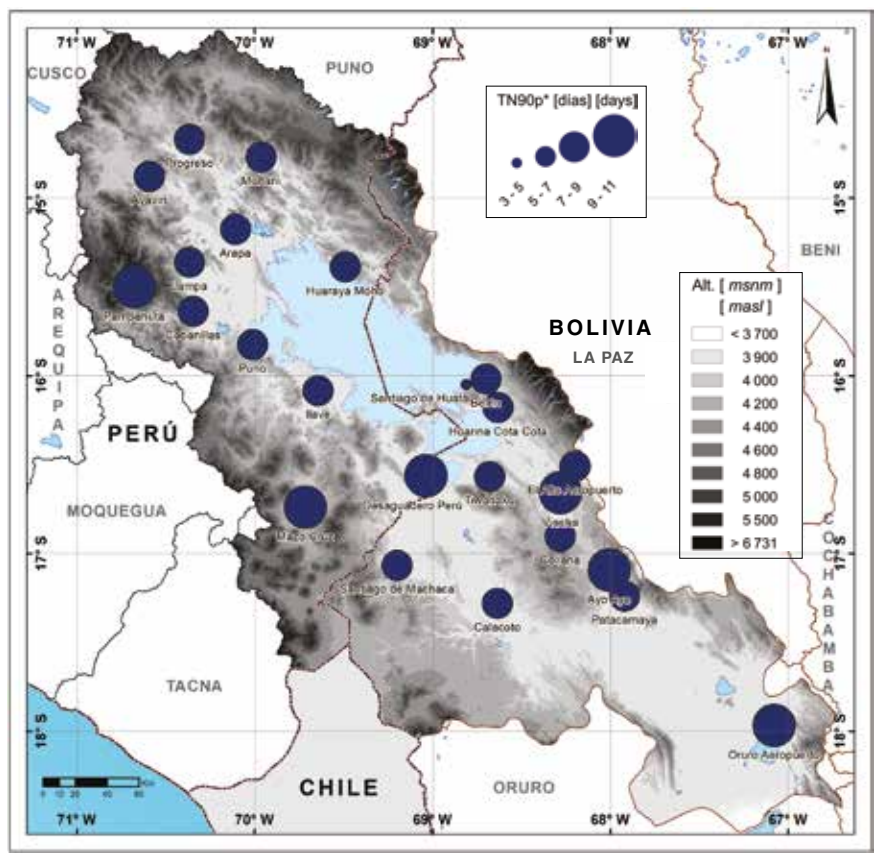




NÚMERO DE NOCHES CÁLIDAS / NUMBER OF WARM NIGHTS

M-76 Como en M-74 pero para invierno (JJA).
As in M-74 but for winter (JJA).

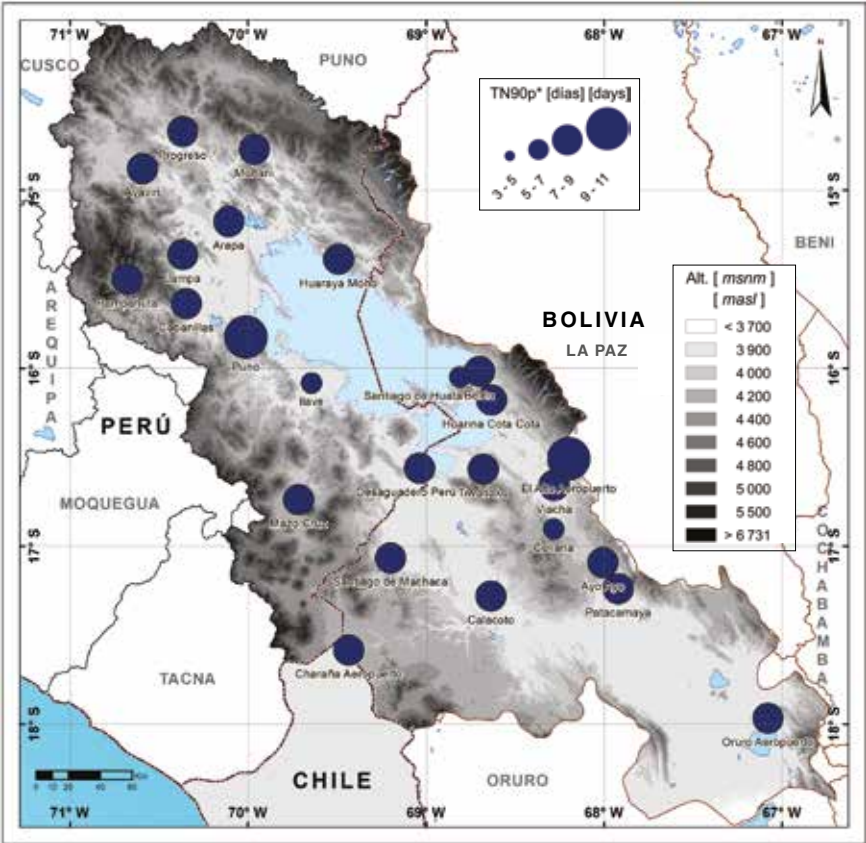
Invierno - JJA - Winter



Primavera

- SON -

Spring



M-77 Como en M-74 pero para primavera (SON).
As in M-74 but for spring (SON).

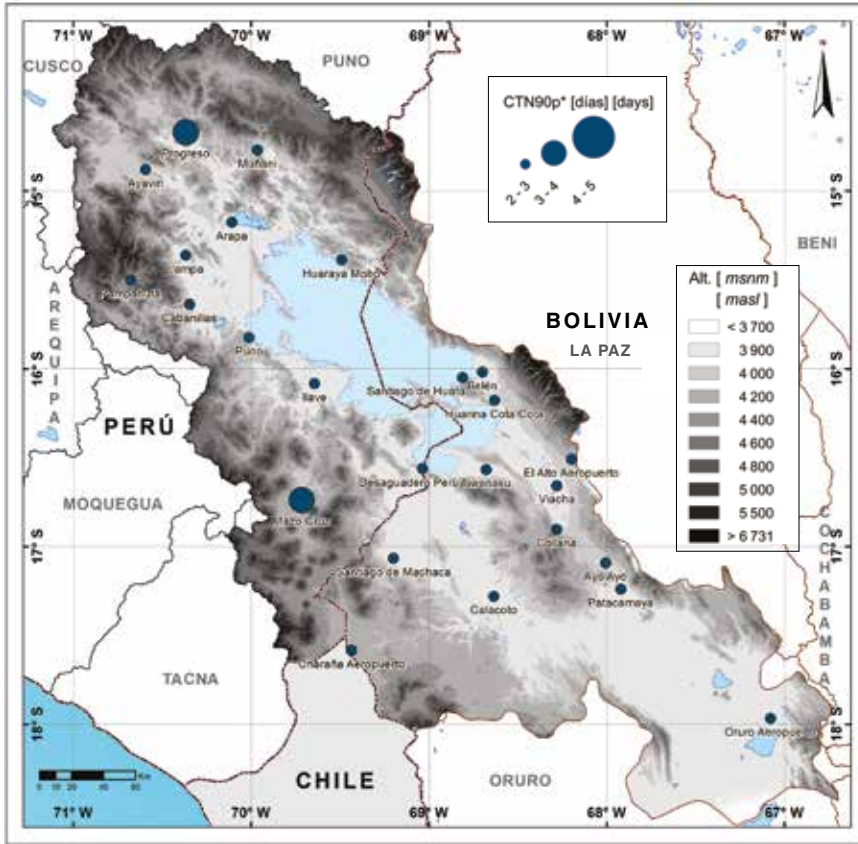


NOCHES CÁLIDAS CONSECUTIVAS / CONSECUTIVE WARM NIGHTS

Verano

- DJF -

Summer



M-78 Número promedio de noches cálidas consecutivas (CTN90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Los círculos representan el rango, en noches, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

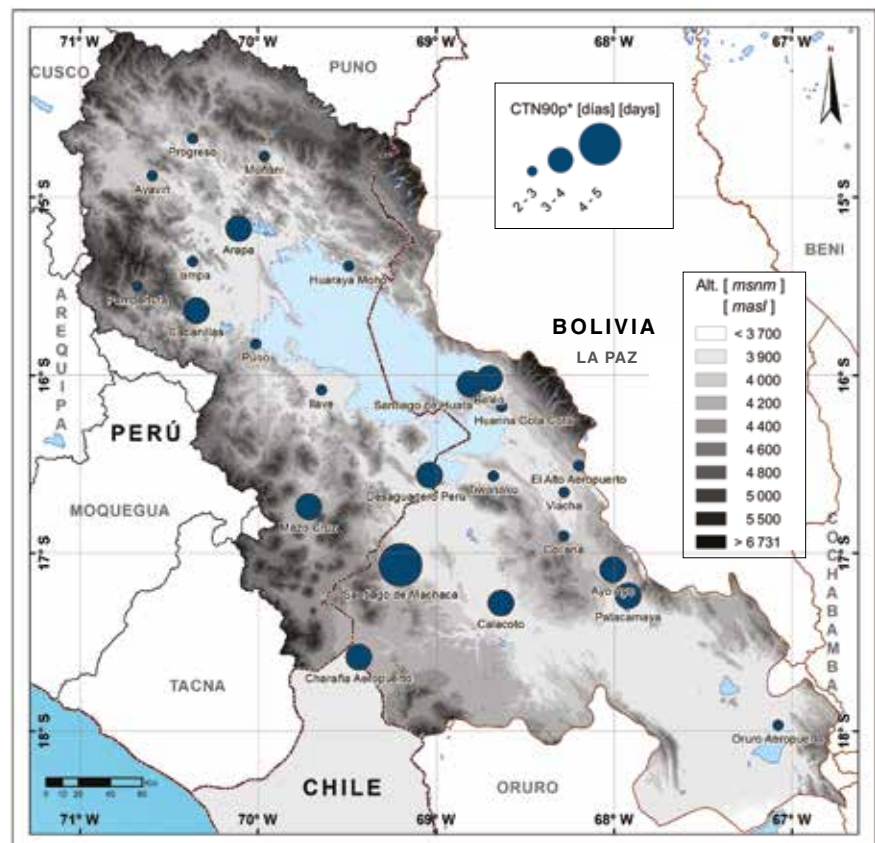
Average number of cold consecutive nights (CTN90p*) defined by the 90th-percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period. Circles represent the range, in nights, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-79 Como en M-78 pero para otoño (MAM).
As in M-78 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

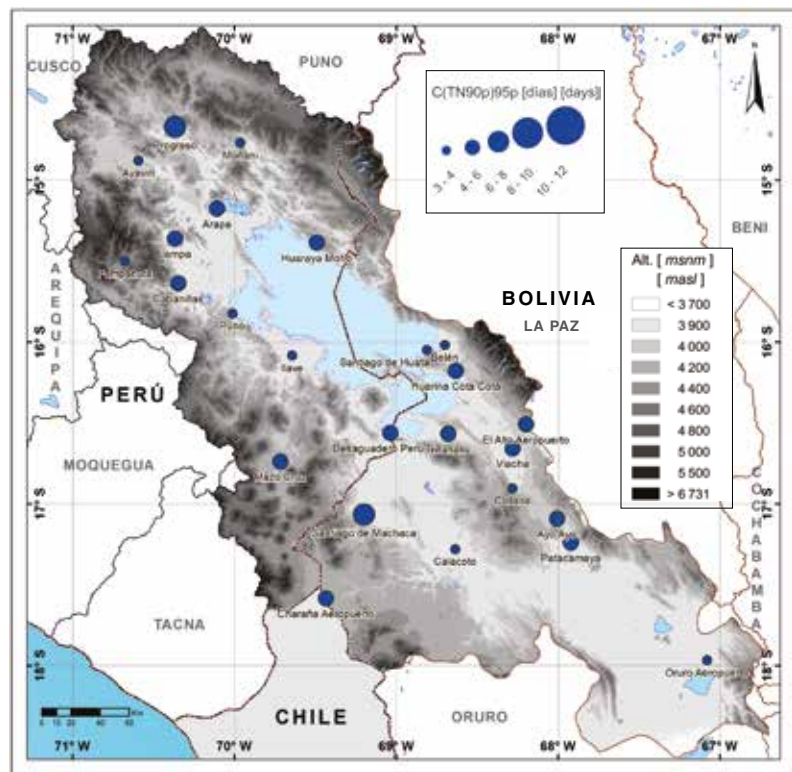
Fall





PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE NOCHES CÁLIDAS CONSECUTIVAS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE WARM NIGHTS

Verano - DJF - Summer

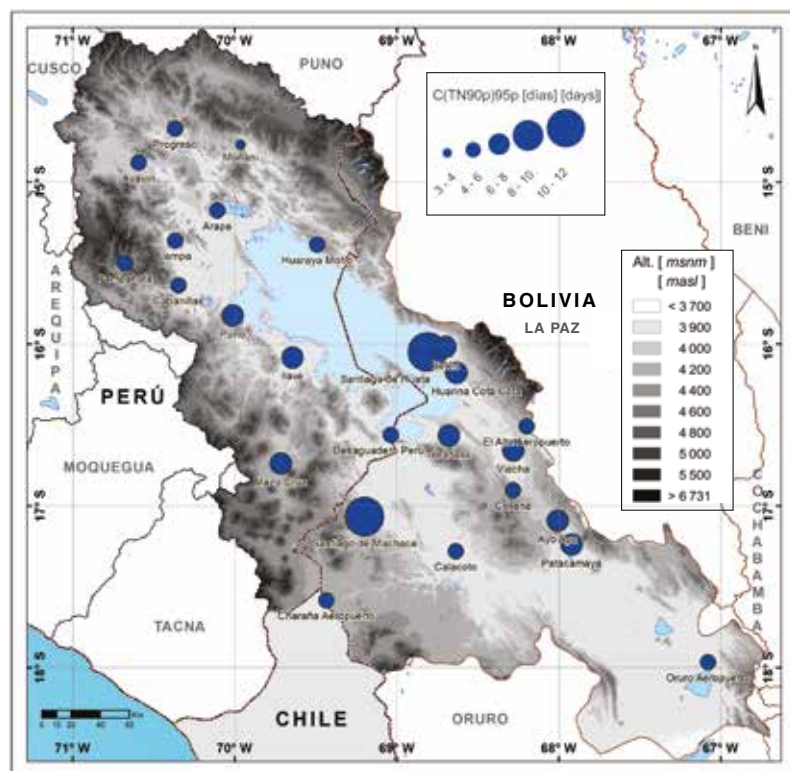


M-82 Período extremadamente largo de noches cálidas consecutivas C(TN90p)95p definidas por el percentil 95 de la distribución de noches cálidas, $TN > TN_{90p}$, consecutivos en verano (DJF). Los círculos representan el rango, en noches, para cada sitio de medida. La altura de la superficie del terreno se muestra en tonos de gris.

Extremely long consecutive cold nights C(TN90p)95p defined by the 95th-percentile of the distribution of consecutive cold nights, $TN > TN_{90p}$, in summer (DJF). Circles represent the range, in nights, of each observation site. Surface altitude is shown in shades of gray.

M-83 Como en M-82 pero para otoño (MAM).
As in M-82 but for fall (MMA).

Otoño - MAM - Fall

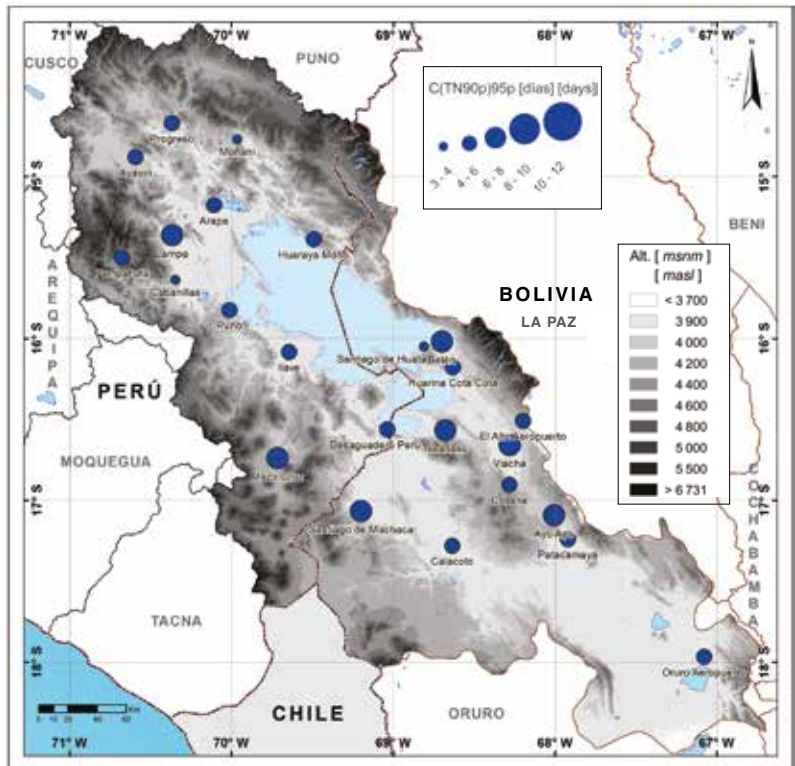




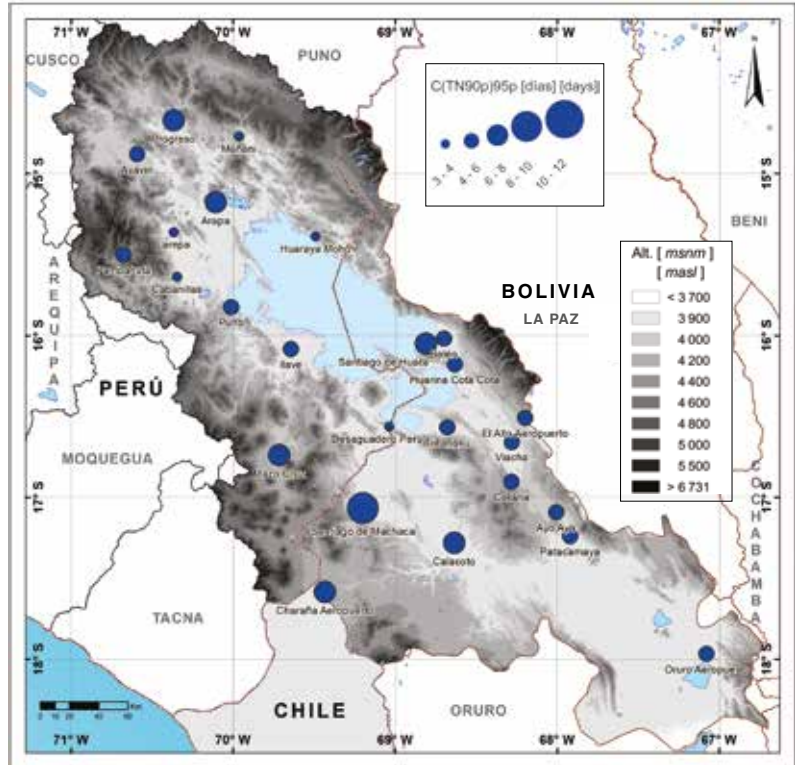
PERÍODO EXTREMADAMENTE LARGO DE NOCHES CÁLIDAS CONSECUTIVAS / EXTREMELY LONG CONSECUTIVE WARM NIGHTS

M-84 Como en M-82 pero para invierno (JJA).
As in M-82 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



Primavera - SON - Spring

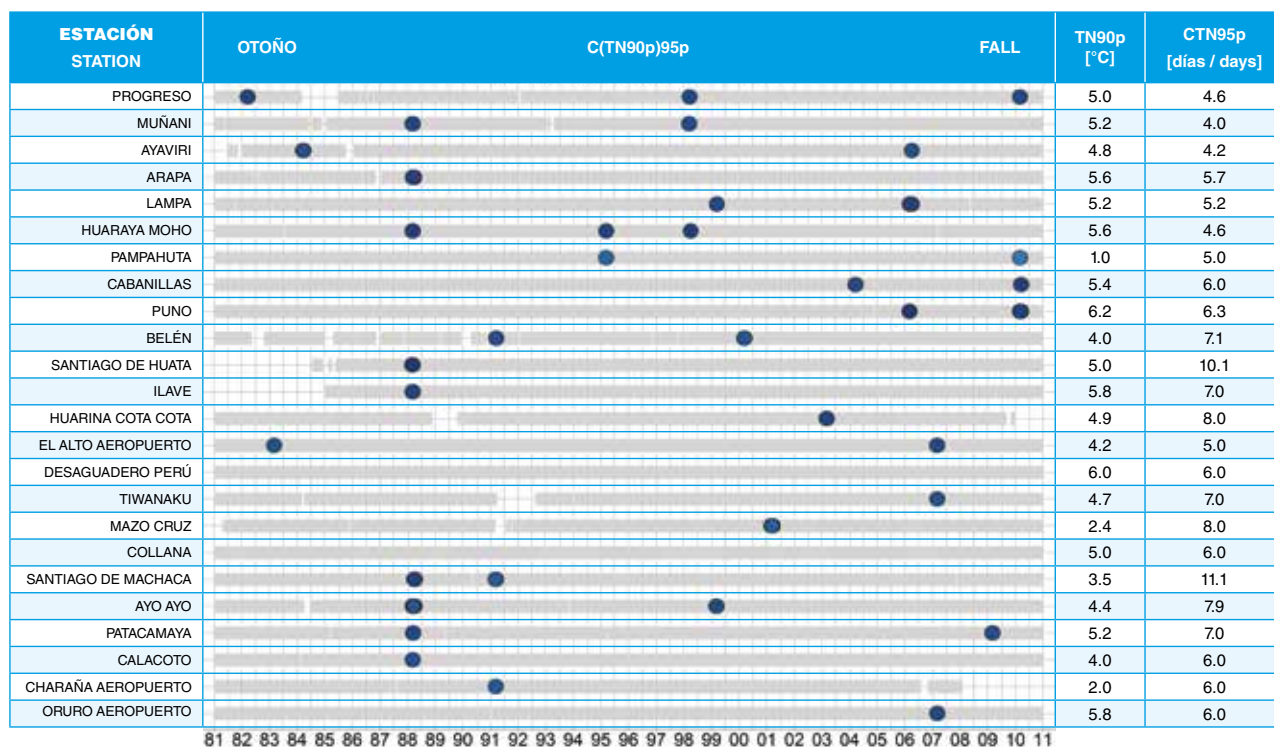
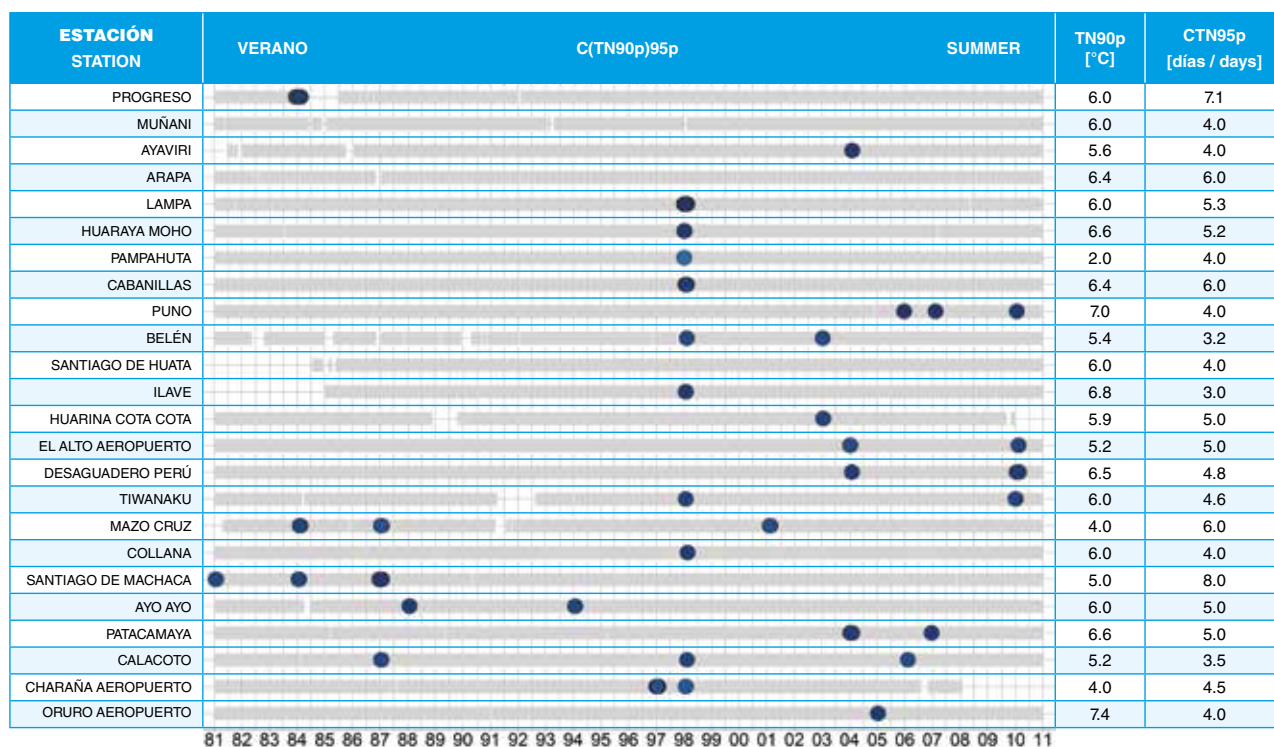


M-85 Como en M-82 pero para primavera (SON).
As in M-82 but for spring (SON).



Eventos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas

Events of extremely long consecutive warm nights

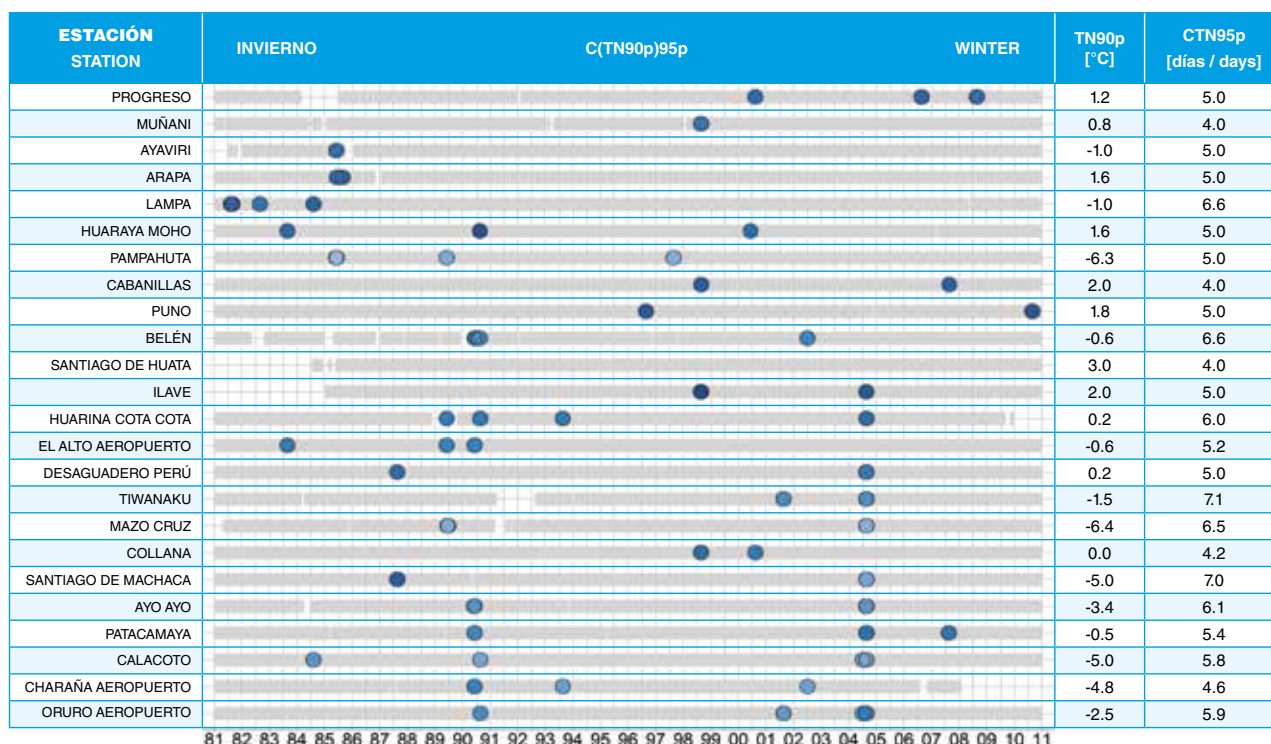


F-16 Eventos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas para verano, invierno, otoño y primavera. Se muestran todos los eventos que cumplen la definición de la tabla T-7 en el período de estudio. Las barras indican la existencia de datos (plomo) o la falta de los mismos (blanco) en una fecha dada entre enero 1 de 1981 y diciembre 31 de 2010. Los círculos muestran cuando ocurrieron estos eventos y los colores indican cuál la temperatura mínima promedio alcanzada en los mismos. Se muestran también, a la derecha del gráfico, los valores de los umbrales temperatura mínima por sitio de observación, para considerar al evento como uno cálido y el número mínimo de días consecutivos en los que se mantiene está temperatura para que el evento sea considerado extremo.

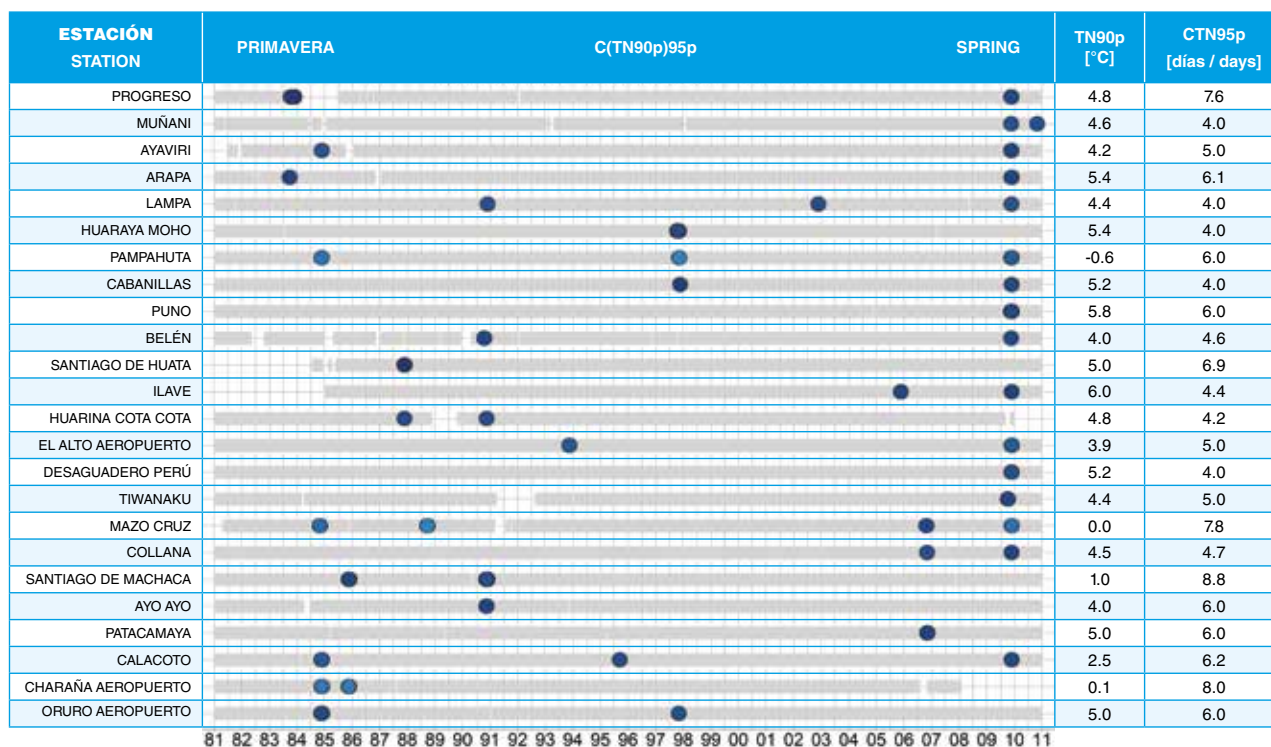


Eventos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas

Events of extremely long consecutive warm nights



81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11



81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11

F-16 Events of extremely long consecutive warm nights for summer, fall, winter and spring. All events that follow the definition given in table T-7 are shown in the figure. The bars indicate the existence (gray) or the lack (white) of data at a given date between January 1, 1981 and December 31, 2010. Circles show when these events occurred and colors indicate the average maximum temperature reached at that time. In addition, on the right hand side of the figure, are shown values of the thresholds of minimum temperature by observation site, for the event to be considered as warm and the minimum number of consecutive days on which such temperature holds for the event to be considered as extreme.

Rango de temperatura diurna

Diurnal temperature range



5.4. RANGO DE TEMPERATURA DIURNA

El **rango de temperatura diurna** (DTR por su sigla en inglés) o *amplitud térmica*, definido como la diferencia entre las temperaturas máxima y mínimas diarias, se calculó para todos los días cuando estos datos estaban disponibles. Los correspondientes mapas climatológicos anual (mapa M-86) y estacionales (mapas M-87 a M-90) se calcularon para la región de estudio. Como en otros casos, el lago fue enmascarado en estos mapas. El **mapa anuales** del promedio de **DTR** muestra que los valores más altos (22°C - 24°C) ocurren en el lado suroeste cerca de las montañas de la Cordillera y el rango más pequeño (10°C - 12°C) se encuentra alrededor del lago, especialmente a lo largo de la parte norte. El efecto del lago, por tanto, es claramente visible en DTR. Los rangos más pequeños de DTR ocurren en estaciones alrededor del lago. Esto es coherente con el hecho que típicamente las regiones más secas tienen un DTR más grande, mientras que las regiones más húmedas tienen valores de DTR más pequeños.

Cuando se analizan los **mapas estacionales de DTR**, se puede ver que los valores más altos siempre ocurren en el suroeste, que corresponde a la parte más seca de la región. En verano (temporada húmeda) la mayoría de las estaciones tienen un DTR de (12°C - 16°C) excepto alrededor del lago donde el DTR es de 8°C - 12°C y en la parte suroeste donde los valores están entre 16°C

5.4. DIURNAL TEMPERATURE RANGE

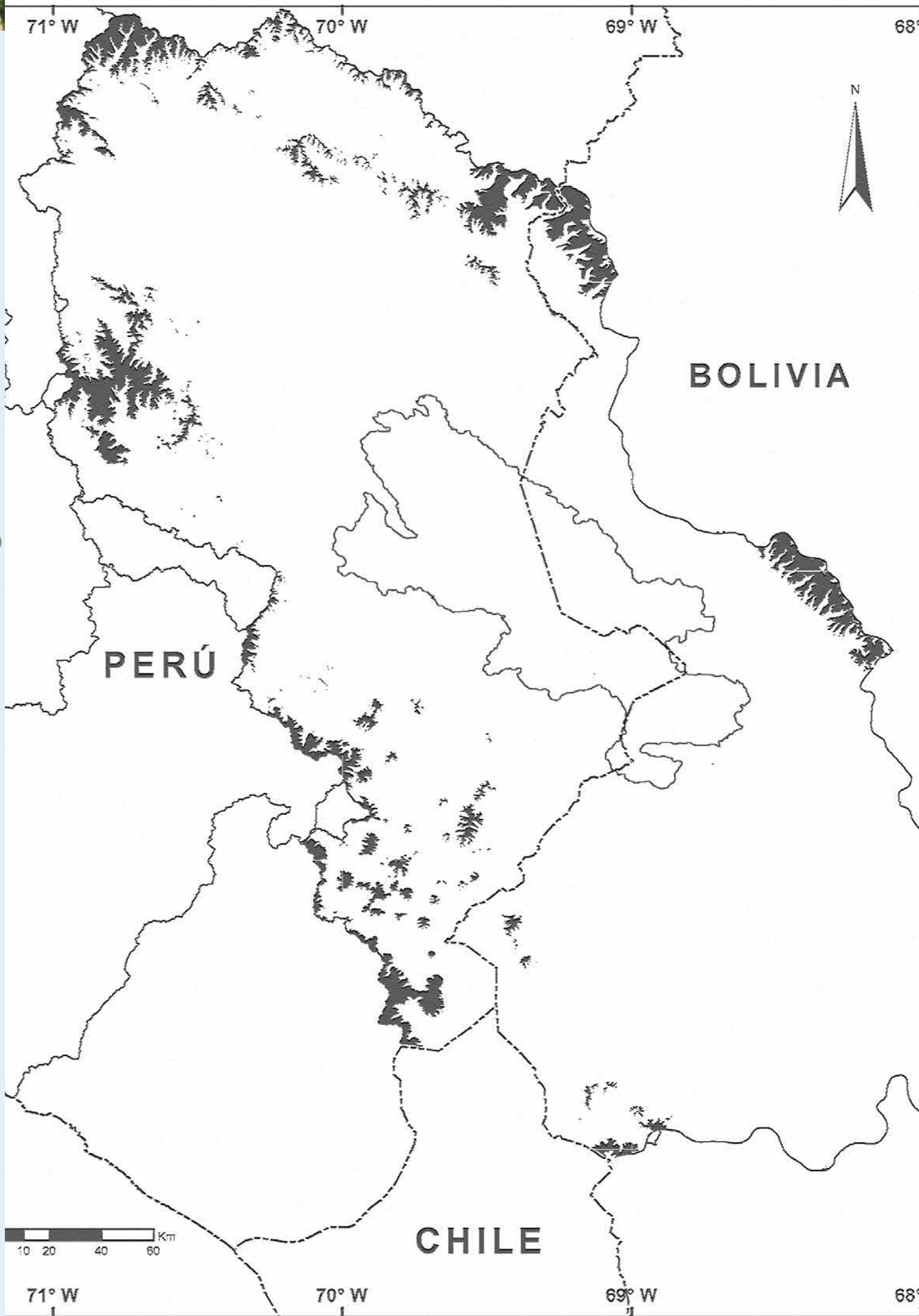
Diurnal Temperature Range (DTR) or *thermal amplitude*, defined as the difference between the daily maximum and the minimum temperatures, was computed for every day when these data were available. The corresponding climatological annual (map M-86) and seasonal (maps M-87 to M-90) maps were computed for the region of study. As in other cases, the lake was masked on these maps. The mean **annual DTR** map shows that the highest values (22°C - 24°C) occur in the south western side close to the Cordillera mountains and the smallest range (10°C - 12°C) is found around the lake, especially along the northern part. The effect of the lake, hence, is clearly visible on DTR. The smallest ranges of DTR occur in stations around the lake. This is coherent with the fact that typically the driest regions have the largest DTR while more humid regions have smaller DTR values.

When **seasonal DTR maps** are analyzed it can be seen that the highest values always occur in the south west, which corresponds to the driest part of the region. In summer (wet season) most stations have a DTR of (12°C - 16°C) except around the lake where the DTR is 8°C - 12°C and at the south western part where the values lie between 16°C and 20°C . In winter (dry season)



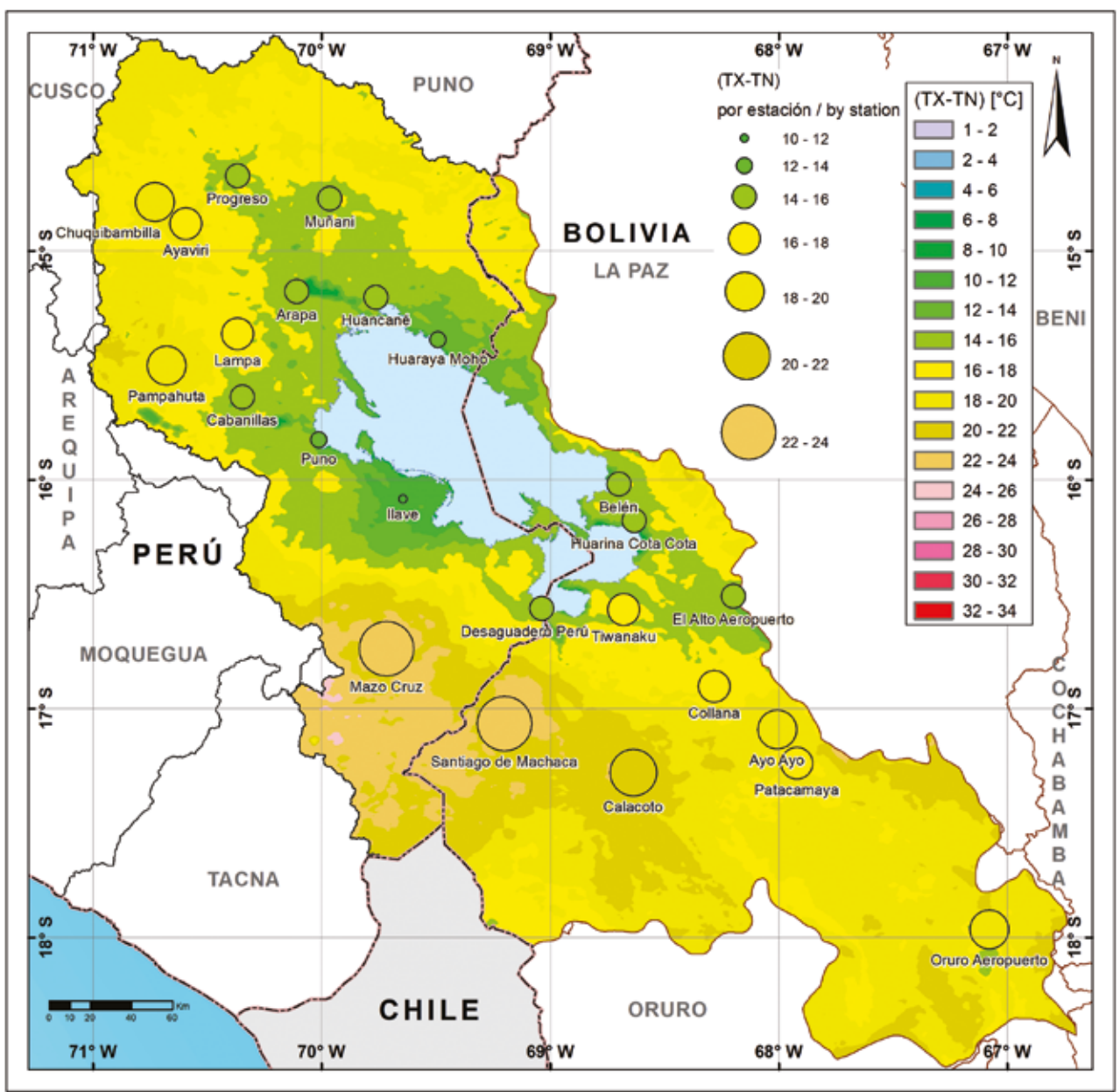
y 20°C. En invierno (temporada seca) el DTR más bajo está nuevamente alrededor del lago (12°C-16°C) y (16°C-20°C), el DTR es particularmente bajo en la parte central, por ejemplo, el valor más bajo de todo se encuentra en llave, con un rango entre 9°C y 12°C. En el lado norte de la región de estudio, los valores para DTR varían de 20°C a 24°C, que es similar al rango encontrado en la parte más meridional. Para esta temporada, los valores más altos para DTR se encuentran en el lado sudeste con valores entre 22°C-24°C. Durante las temporadas de transición (otoño y primavera), los valores de DTR son muy similares para la mayoría de las estaciones, excepto las ubicadas en el flanco occidental de la región de estudio y dos estaciones alrededor del lago. Estas estaciones muestran valores de DTR más altos durante la temporada de transición de seco a húmedo (primavera) que durante la estación húmeda a seca (otoño). Esto es consistente con el hecho que la primera temporada es más seca que la segunda. En todo caso, en estas dos estaciones se puede observar el mismo patrón que en otros mapas DTR: valores más altos en el lado sud occidental, más bajos alrededor del lago, principalmente en la parte norte y valores intermedios en la mayoría de las regiones norte y sur de la región de estudio.

the lowest DTR is again around the lake (12°C-16°C) and (16°C-20°C), the DTR is particularly low in the central part, for instance, the lowest value of all is found in llave, with only a range between 9°C and 12°C. In the northern side of the region of study values for DTR range from 20°C to 24°C which is a similar to the range found at the most southern part. For this season the largest values for DTR occur at the south eastern side with values between 22°C-24°C. During the transition seasons (fall and spring) the DTR values are very similar for most stations except for those located at the western flank of the study region and two stations around the lake. These stations show higher DTR values during the dry-to-wet (spring) transition season than during the wet-to-dry (fall) season. This is consistent with the fact that the former season is drier than the latter. In any case, in these two seasons, the same pattern than in other DTR maps can be observed: highest values in the south western side, lowest around the lake, mainly in the northern part of it, and intermediate values in most northern and southern parts of the region of study.





Rango de temperatura diurna promedio anual Mean annual diurnal temperature range (1981 - 2010)



M-86 Promedio anual del rango de temperatura diurna (1981-2010).
Mean annual diurnal temperature range (1981-2010).



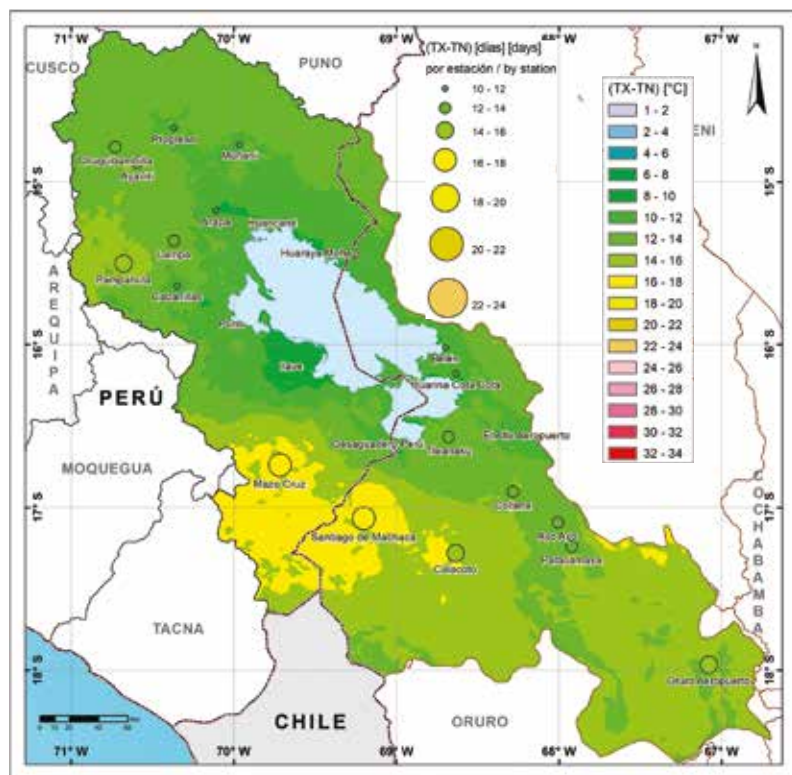
RANGO DE TEMPERATURA DIURNA ESTACIONAL

SEASONAL DIURNAL TEMPERATURE RANGE

Verano

- DJF -

Summer



M-87 Rango de temperatura diurna promedio para verano (DJF) en el período 1981-2010.

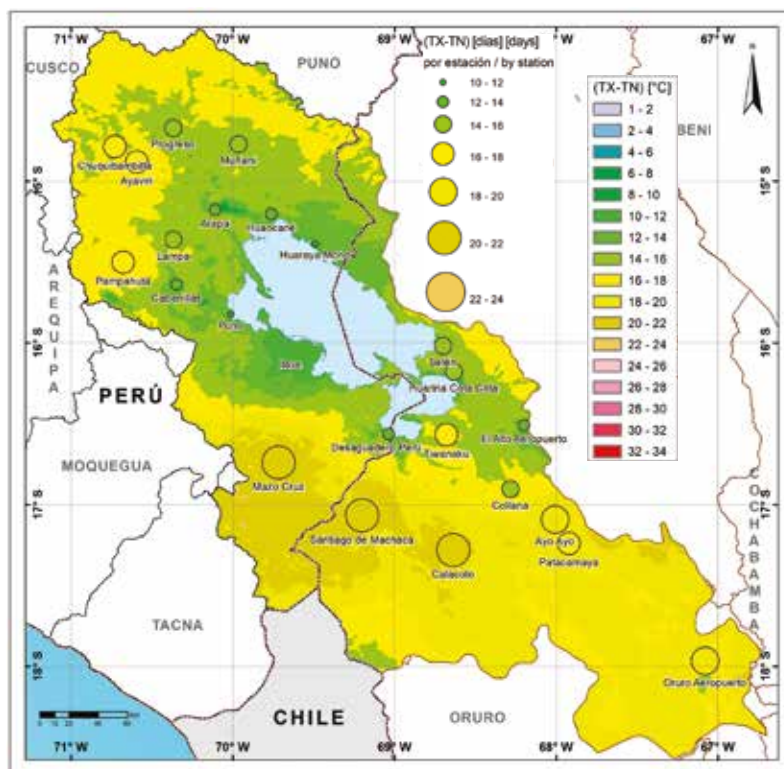
Summer (DJF) mean diurnal temperature range for the 1981-2010 period.

M-88 Como en M-87 pero para otoño (MAM).
As in M-87 but for fall (MAM).

Otoño

- MAM -

Fall

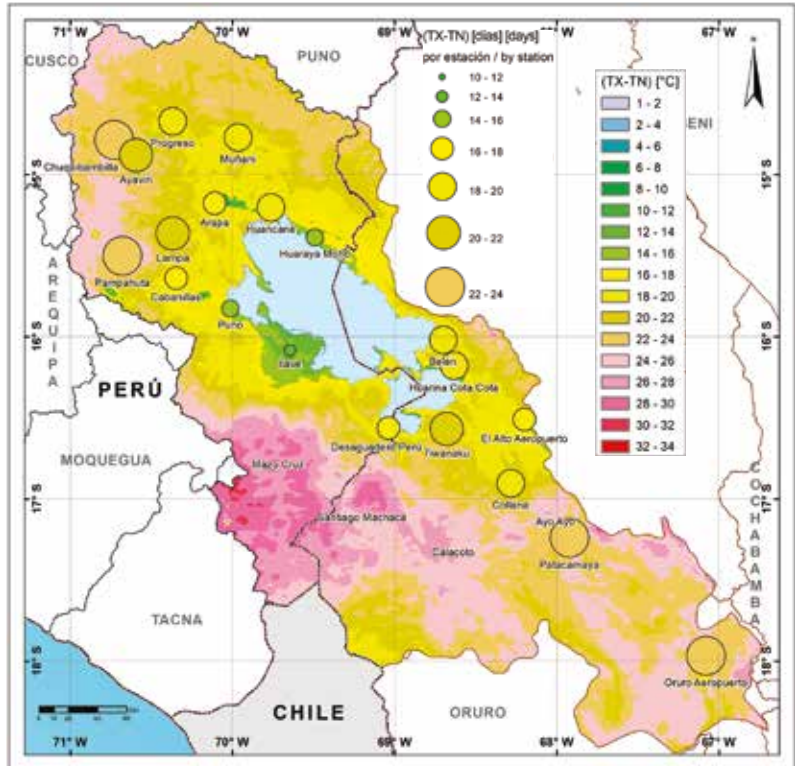




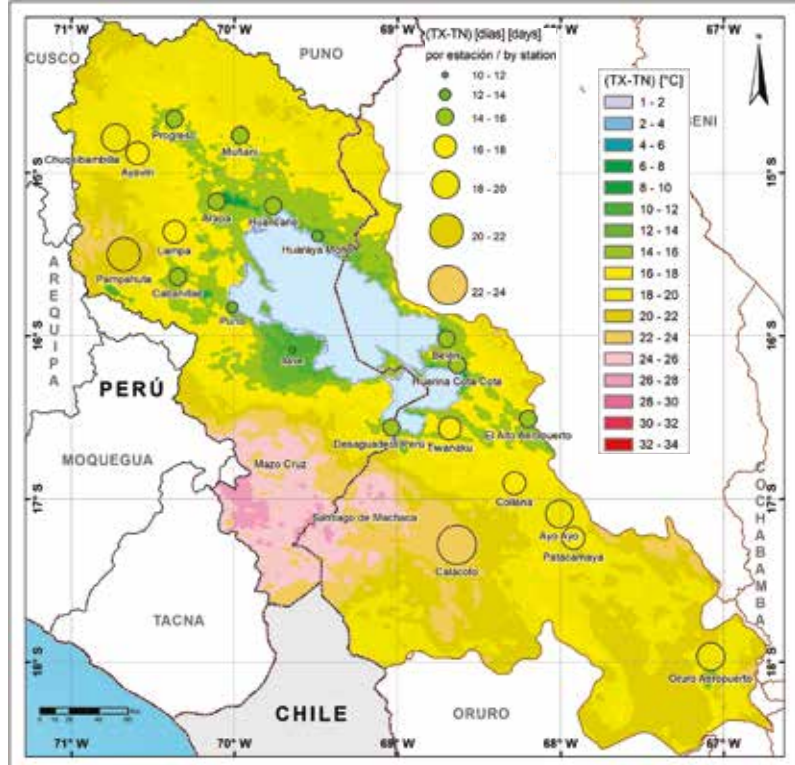
RANGO DE TEMPERATURA DIURNA ESTACIONAL / SEASONAL DIURNAL TEMPERATURE RANGE

M-89 Como en M-87 pero para invierno (JJA).
As in M-87 but for winter (JJA).

Invierno - JJA - Winter



Primavera - SON - Spring



M-90 Como en M-87 pero para primavera (SON).
As in M-87 but for spring (SON)



BOX N° 4:

Conocimiento local y eventos climáticos extremos / Local knowledge and extreme climate events

Karina Yager and Corinne Valdivia

El Parque Nacional Sajama (Parque Nacional Sajama - PNS) fue creado en 1939, y está ubicado en el Departamento de Oruro, en la puna altoandina del oeste de Bolivia. Cinco comunidades indígenas aymaras residen en el parque y manejan alrededor de 50 000

más afectadas por el cambio climático global y el aumento de eventos climáticos extremos.

En particular, los eventos de sequía se perciben como más frecuentes y de mayor duración que antes, y como resultado tienen mayores

impactos socioambientales que antes. Por ejemplo, la vegetación pastoral nativa no se recupera completamente después de una sequía prolongada, lo que resulta en una falta de forraje para los animales de pastoreo y provoca muchas muertes de animales por inanición. La mayor gravedad de los eventos extremos se identifica como una gran amenaza para sostener la producción pastoral actual y futura.

Las poblaciones locales tienen una gran cantidad



KY

B-1 Yareta (*Azorella compacta*) en el Parque Nacional Sajama.

Yareta (*Azorella compacta*) in Parque Nacional Sajama.

animales de pastoreo. El paisaje pastoril está dominado por praderas (pajonales) y bofedales, o turberas, que son manejadas por las comunidades indígenas locales para apoyar a las manadas locales de llamas, alpacas y ovejas (Beck et al., 2010).

Las comunidades andinas han manejado durante mucho tiempo extremos climáticos y se han adaptado a las condiciones extremas de eventos fríos, las condiciones áridas y los suelos frágiles característicos del Altiplano (Brush 1976, Browman 1987). Durante los talleres celebrados en 2007 y en 2016, los habitantes de PNS identificaron cambios climáticos recientes y eventos extremos que incluyen deglaciación rápida, aumento de las temperaturas extremas, cambios en la vegetación y pastizales, expansión de áreas desecadas, disminución de los recursos hídricos y cambio en patrones climáticos diurnos, estacionales e interanuales. Los resultados mostraron que la capacidad de los pastores locales para mantener la salud y la producción del ganado, de acuerdo con las prácticas de gestión actuales, se ven cada vez

de conocimiento no solo sobre los eventos pasados, sino también acerca el impacto social de los eventos extremos. Se necesita más investigación para conectar este conocimiento local y los datos meteorológicos, tanto del pasado como del presente. Los miembros de la comunidad local identifican el mantenimiento y la mejora del pastoreo como una prioridad ante los eventos extremos y el cambio climático. Las acciones de adaptación identificadas incluyen los siguientes puntos: 1) mayor gestión sostenible del agua (incluidos canales, pozos y manantiales), 2) aumento de la productividad y gestión de pastos, 3) mayor participación y autoridad de las autoridades "tradicionales" (autoridades originarias), 4) promoción del ecoturismo sostenible, 5) rejuvenecimiento de las prácticas y conocimientos tradicionales para mitigar el cambio climático, 6) mayor uso de los recursos naturales para la prevención y el tratamiento de enfermedades causadas por el cambio climático (tanto en humanos como animales), y 7) apoyo de la comunidad de colaboración y acciones de política a nivel local.



Sajama National Park (Parque Nacional Sajama- PNS) was created in 1939, and is located in the Department of Oruro, in the high Andean puna of western Bolivia. Five indigenous Aymaran communities reside in the park and manage around 50 000 herding animals. The pastoral landscape is dominated by tussock grasslands (*pajonales*) and *bofedales*, or peatlands, which are managed by local indigenous communities to support the local herds of llamas, alpacas and sheep (Beck et al., 2010).

is becoming increasingly challenged by global climate change and the increased extremity of climate events.

In particular, drought events are perceived to be more frequent and to last longer than previously, and as a result have greater socio-environmental outcomes than before. For example, the native pastoral vegetation does not fully recover after an extended drought, resulting in a lack of forage for grazing animals and leading to many animal deaths due to starvation. The increased severity of extreme

events is identified as a major threat to sustaining current and future pastoral production.

Local populations have a wealth of knowledge not only about past climate events, but also the social impacts of extreme events. Further research is needed on connecting this local knowledge and meteorological data, both in past and present. The local community members identify the maintenance and improvement of pastoralism as a key



KY

B-2 Parque Nacional Sajama.
Sajama National Park.

Andean communities have long managed climate extremes, and have locally adapted to the notably extreme conditions of cold events, arid conditions, and fragile soils characteristic of the Altiplano (Brush 1976; Browman 1987). During workshops held in 2007 and in 2016, the people of PNS, identified recent climate change and extreme events including rapid deglaciation, increased temperature extremes, change in vegetation and pastures, expansion of desiccated areas, decrease in water resources, and change in diurnal, seasonal and inter-annual weather patterns. The results showed that the ability of local herders to maintain livestock health and production according to current management practices

priority in the face of extreme events and climate change. Adaptive actions identified include the following summary points: 1) increased sustainable management of water (including canals, wells and springs), 2) increase the productivity and management of pastures, 3) greater participation and authority of “traditional” authorities (*autoridades originarias*), 4) promotion of sustainable ecotourism, 5) rejuvenation of traditional practices and knowledge to mitigate climate change impacts, 6) greater use of natural resources for the prevention and treatment of illnesses caused by climate change (both in humans and animals), and 7) support of collaborative community and policy actions at the local level.



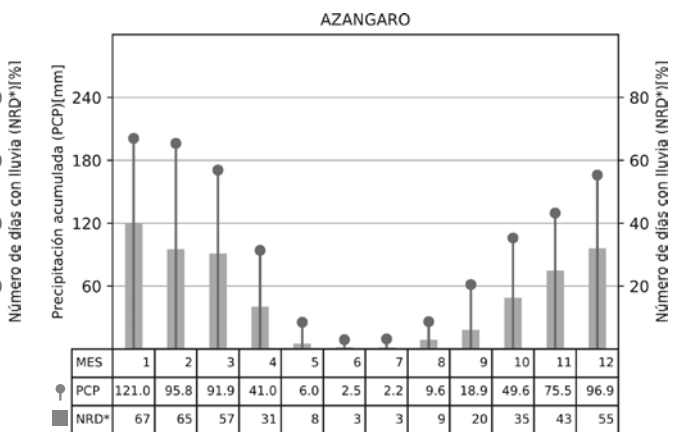
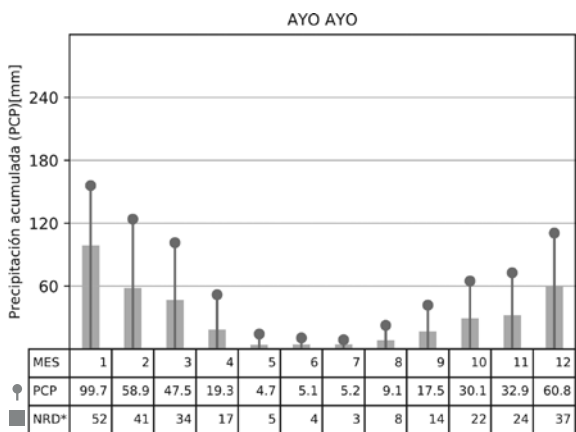
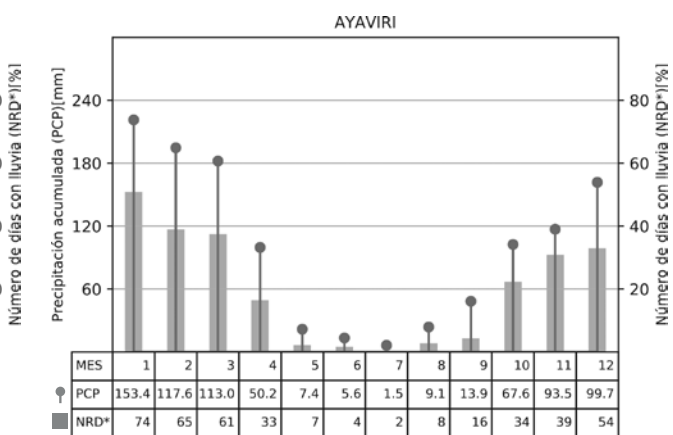
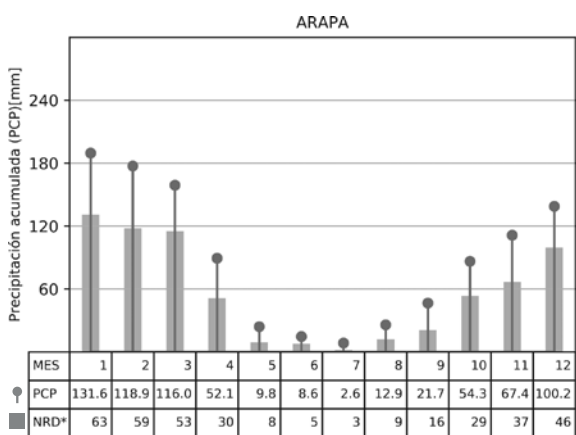
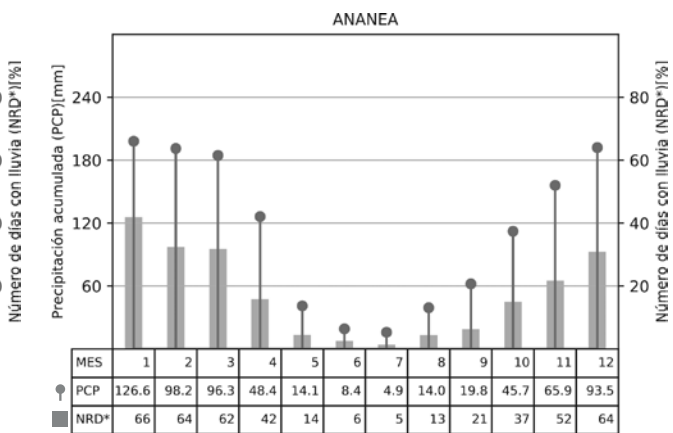
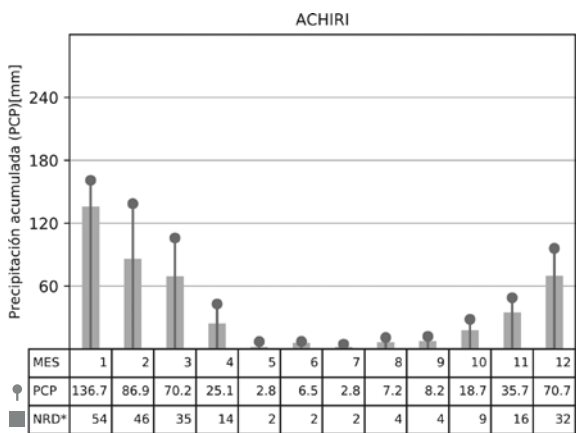
6

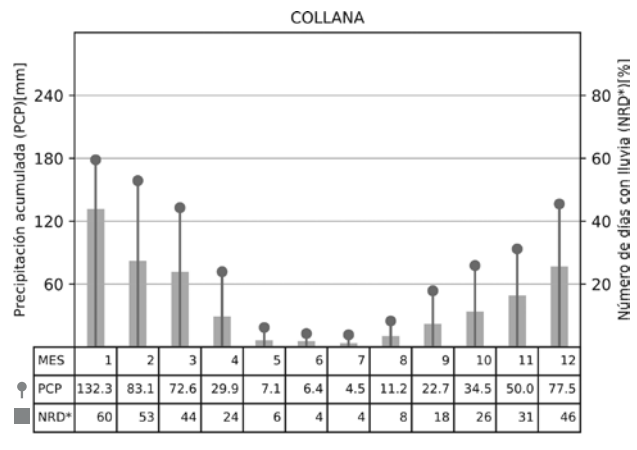
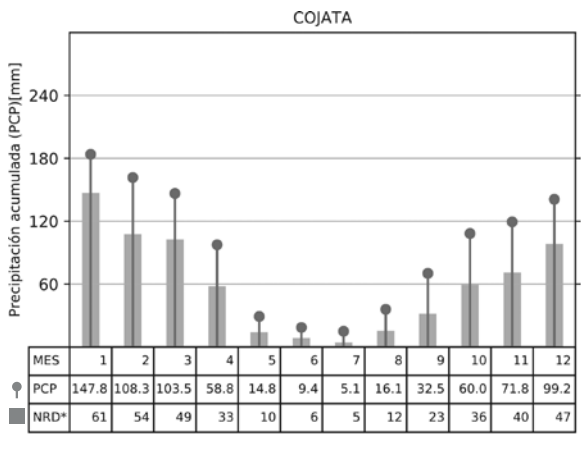
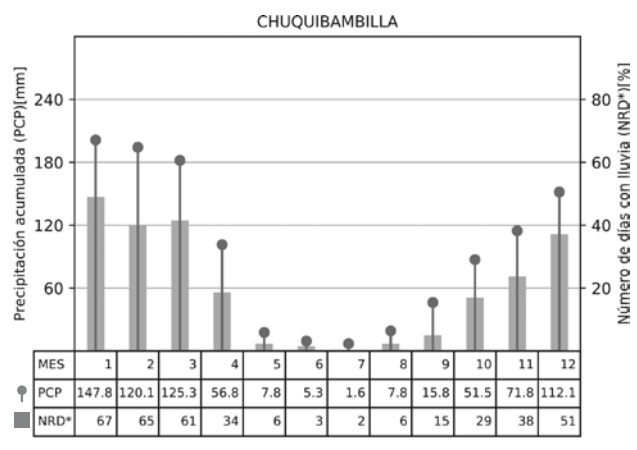
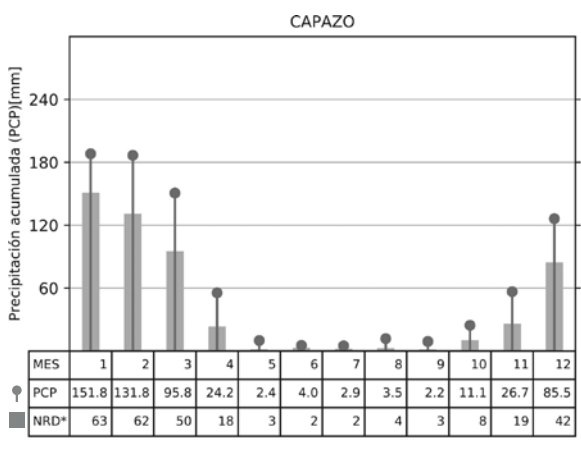
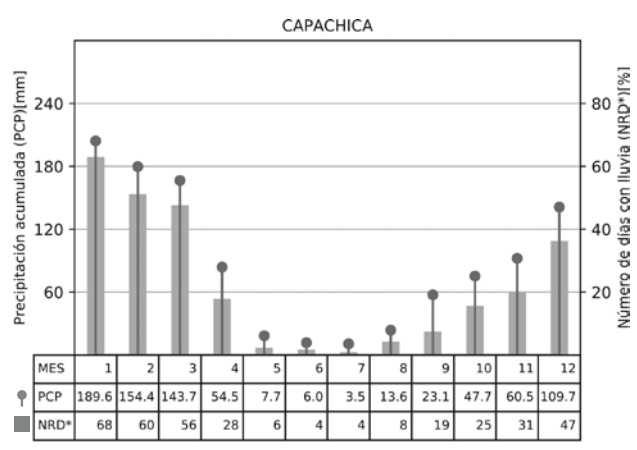
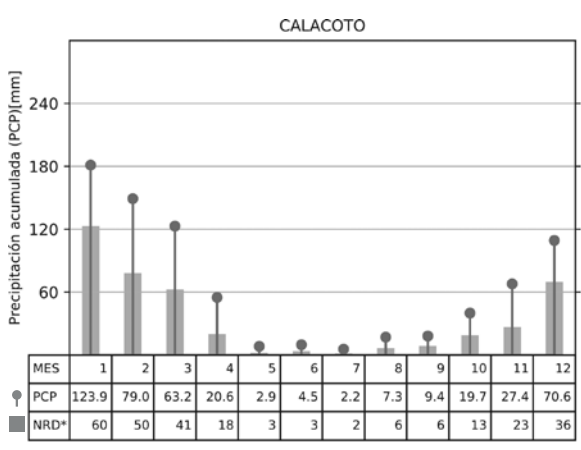
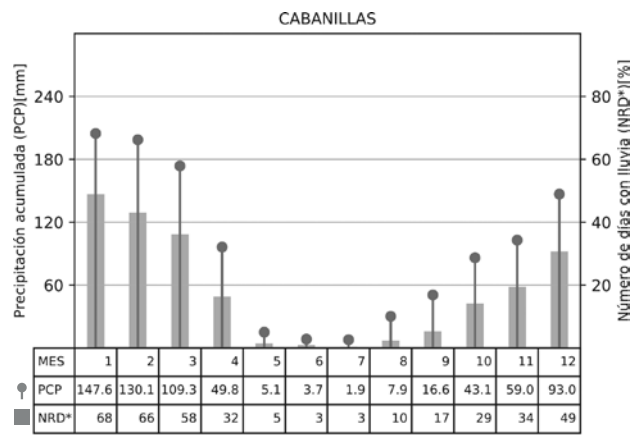
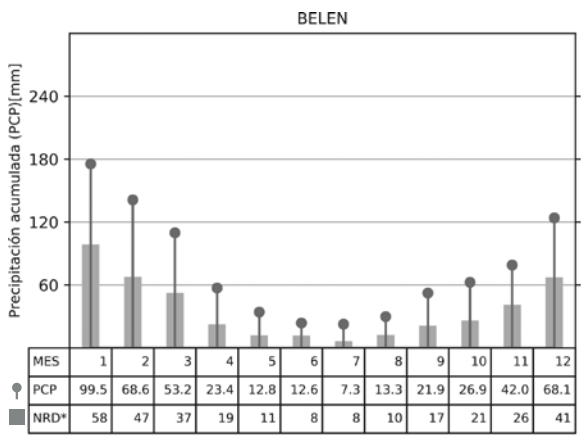
ANEXOS
ANNEXES

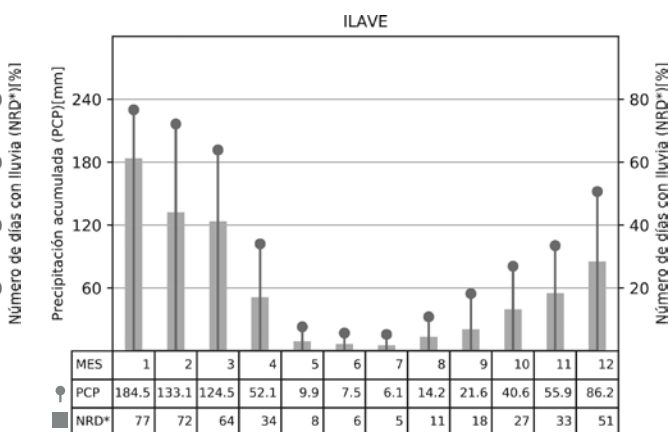
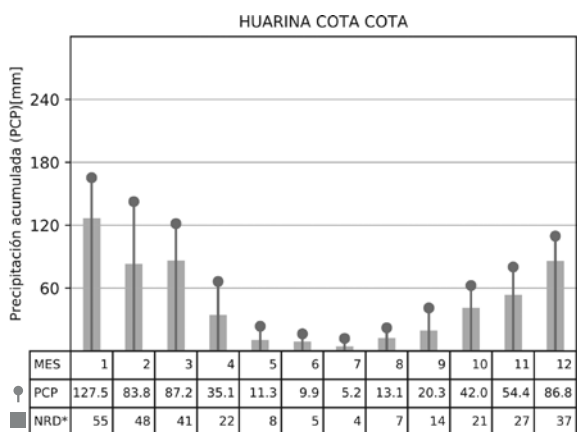
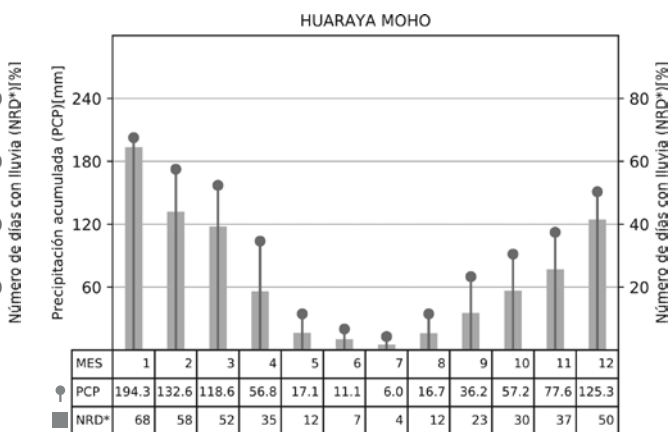
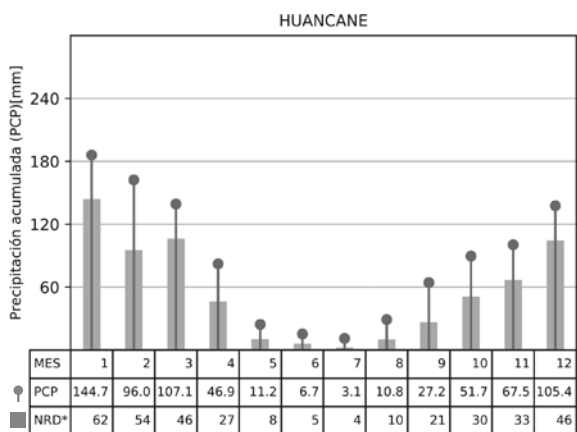
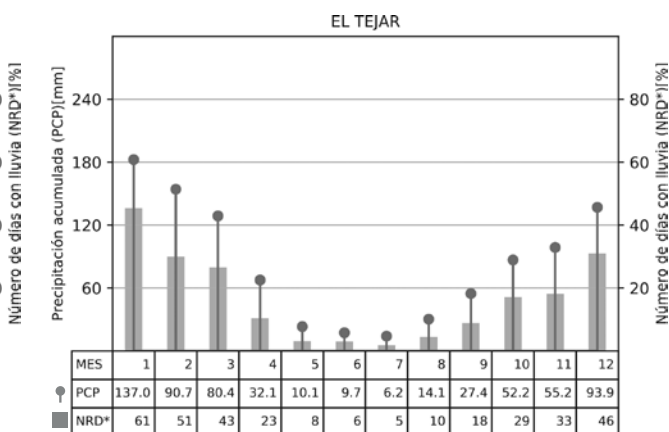
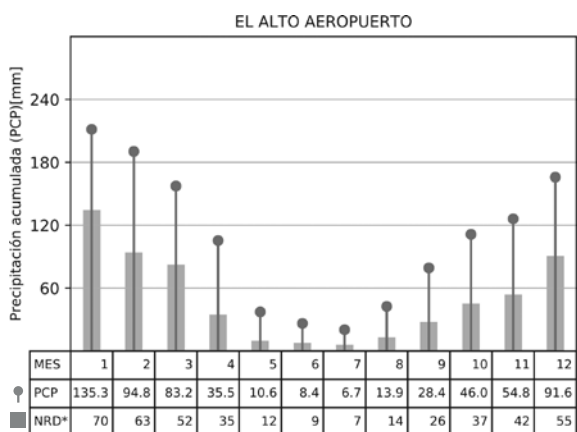
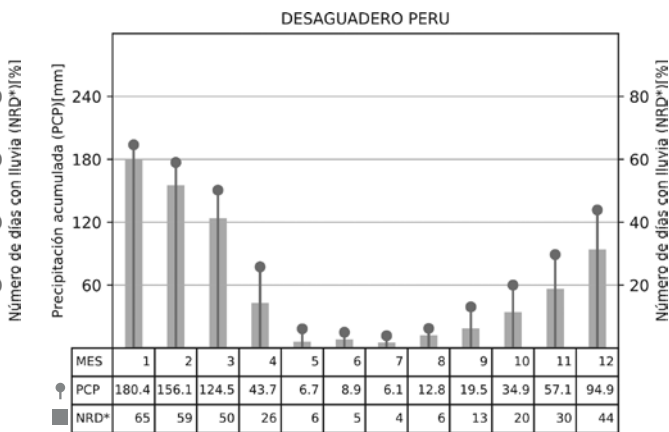
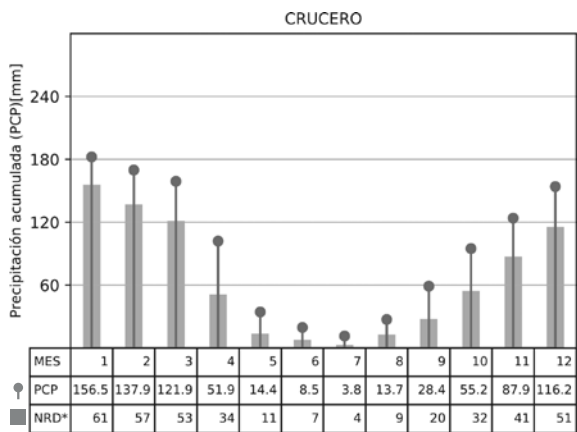


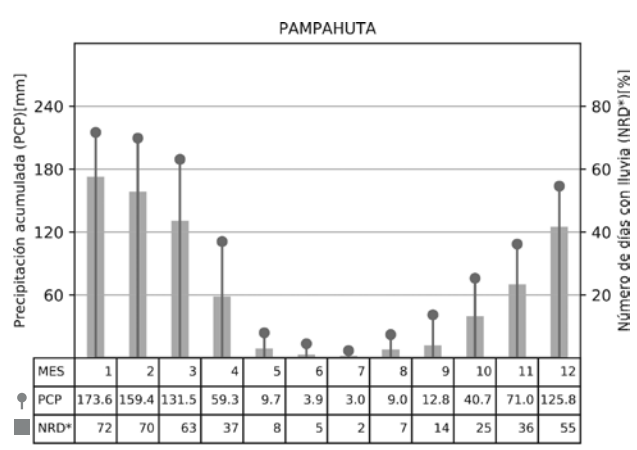
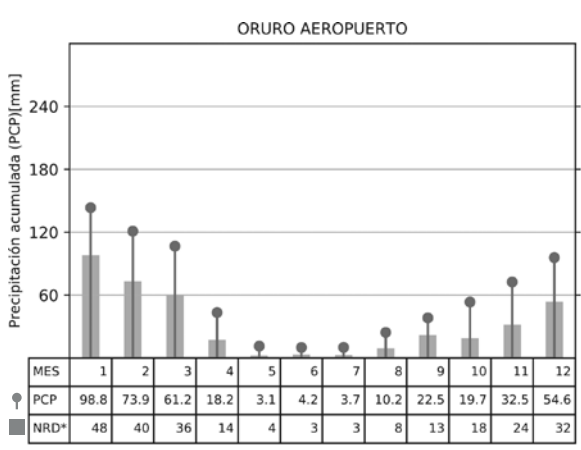
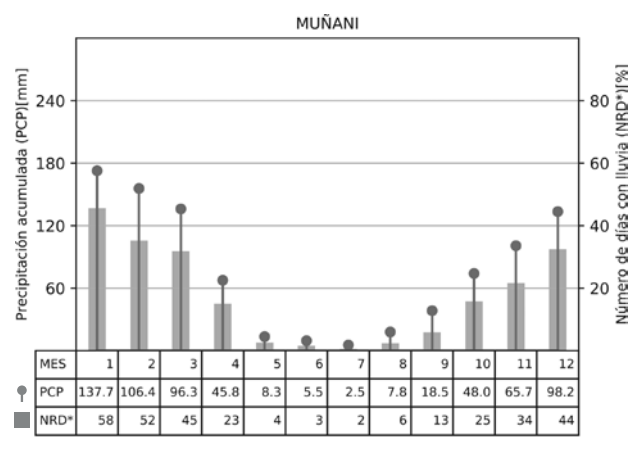
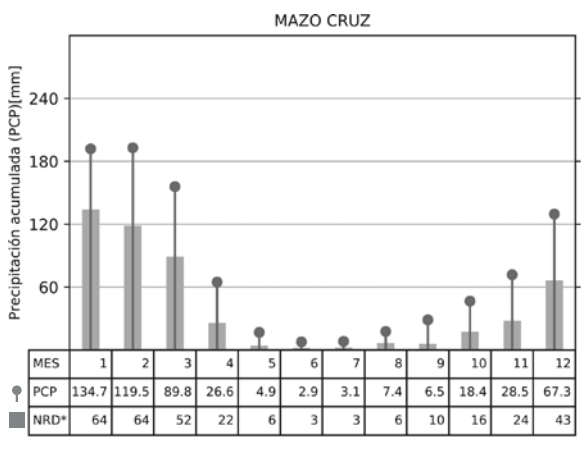
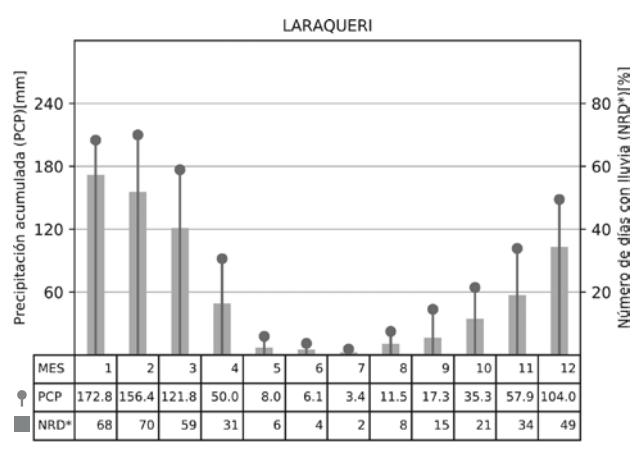
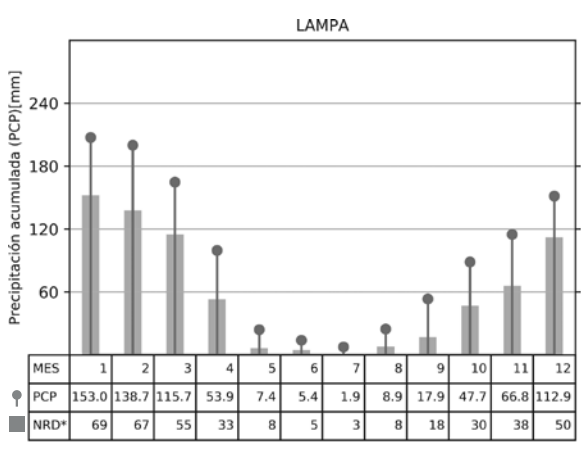
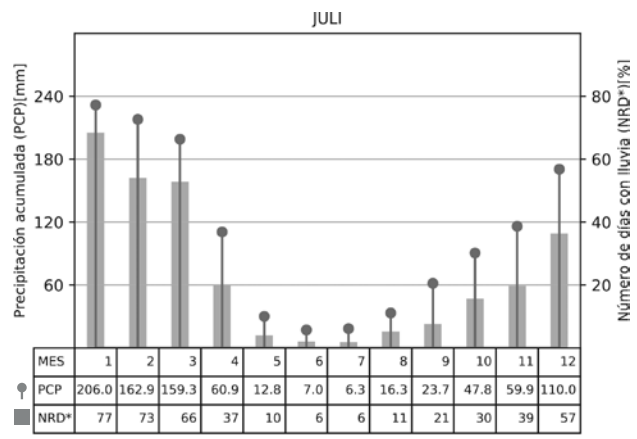
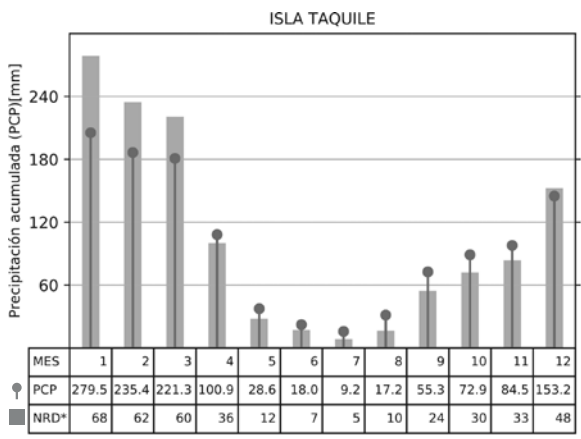
A1

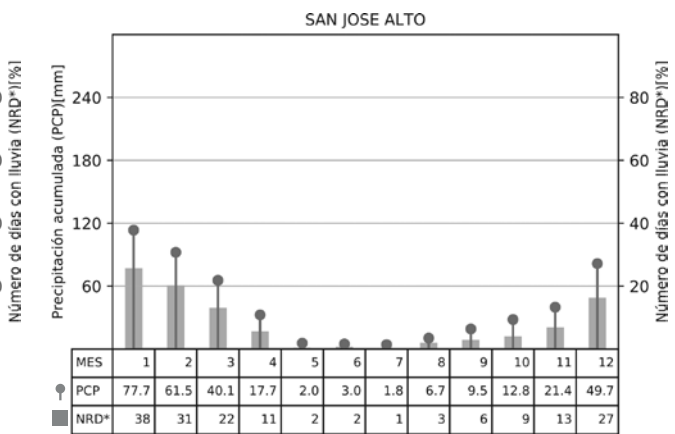
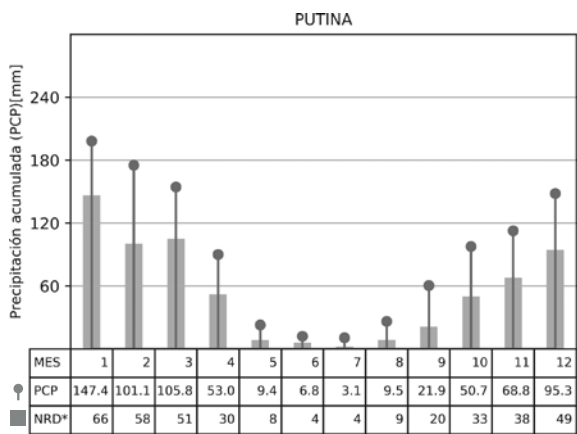
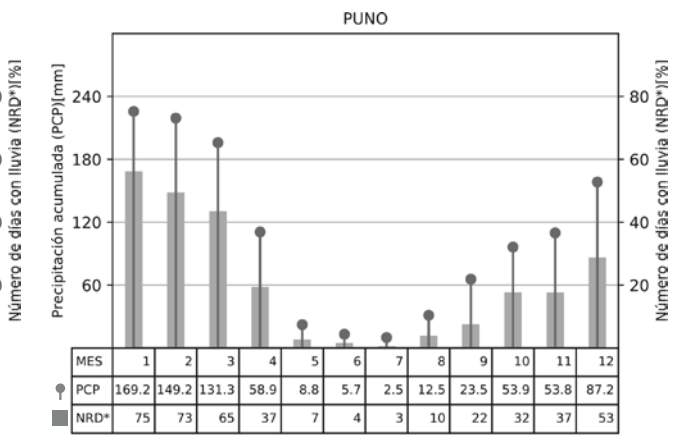
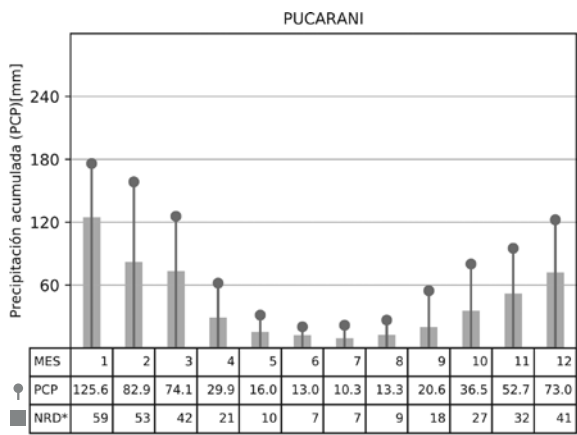
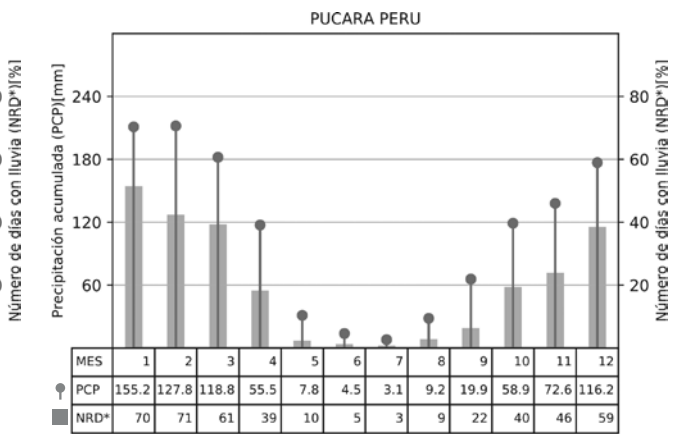
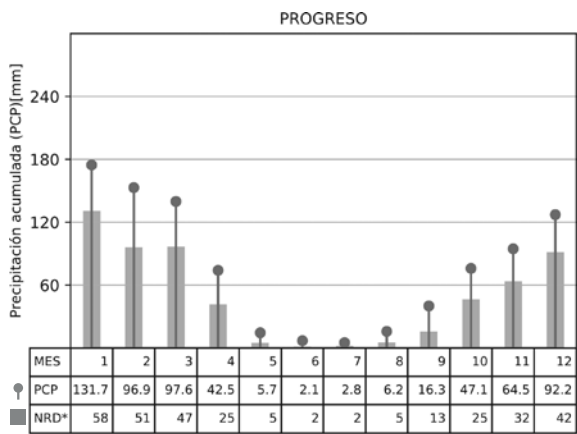
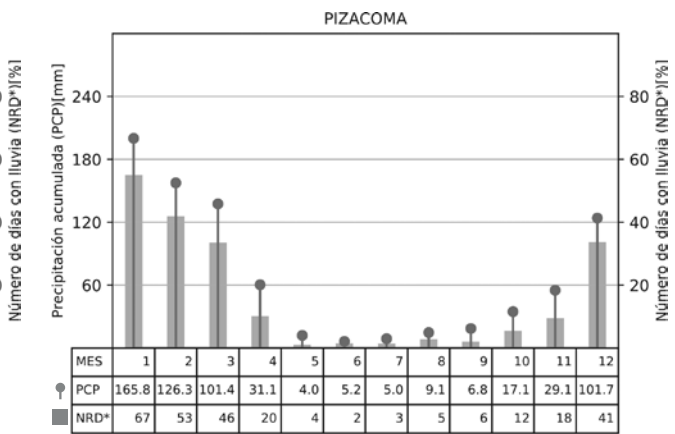
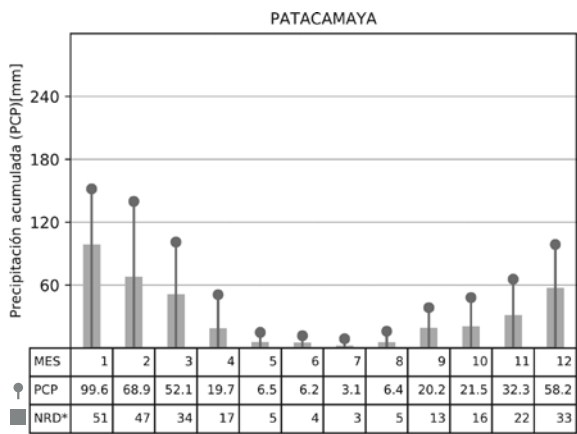
HISTOGRAMAS CLIMATOLÓGICOS DE PRECIPITACIÓN CLIMATOLOGICAL HISTOGRAMS OF PRECIPITATION





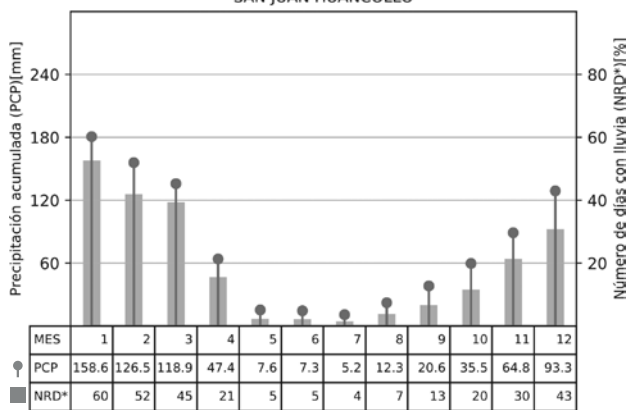




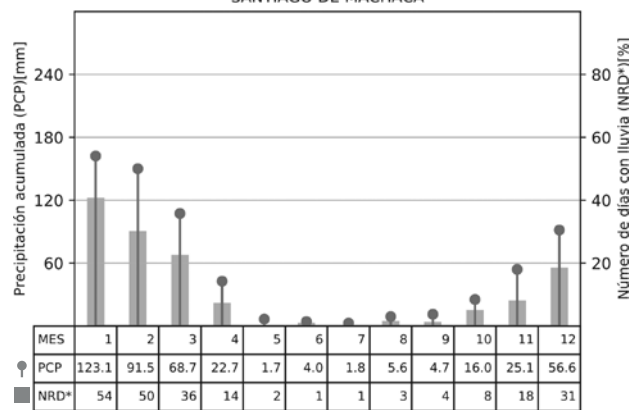




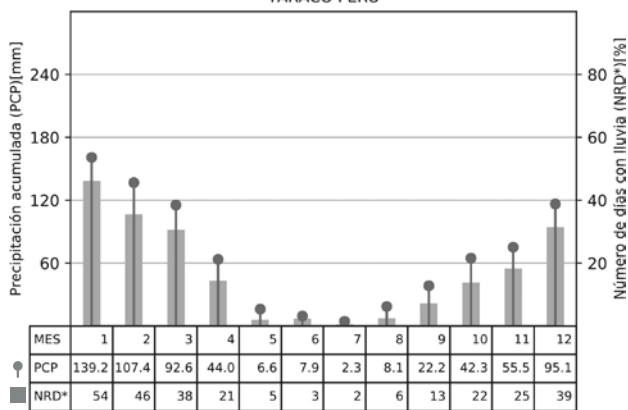
SAN JUAN HUANCOLLO



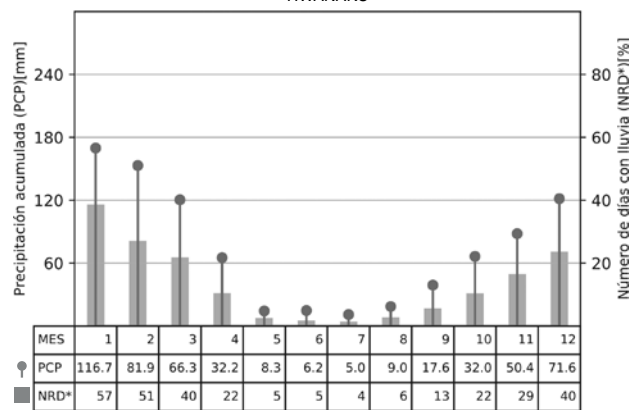
SANTIAGO DE MACHACA



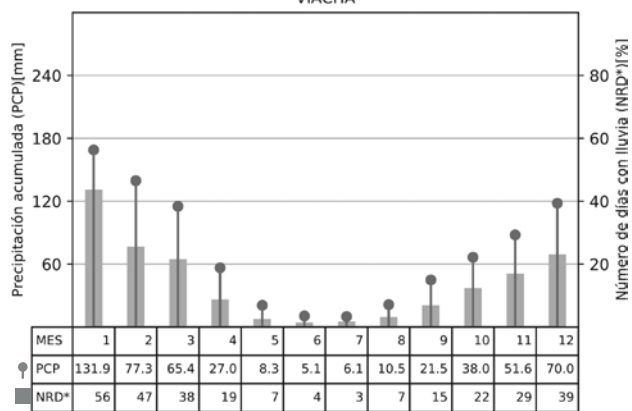
TARACO PERU



TIWANAKU

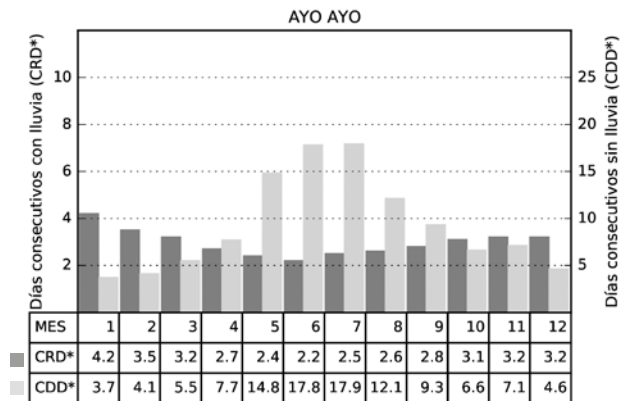
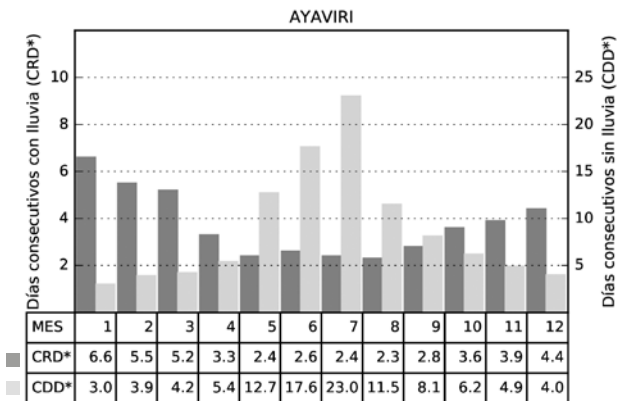
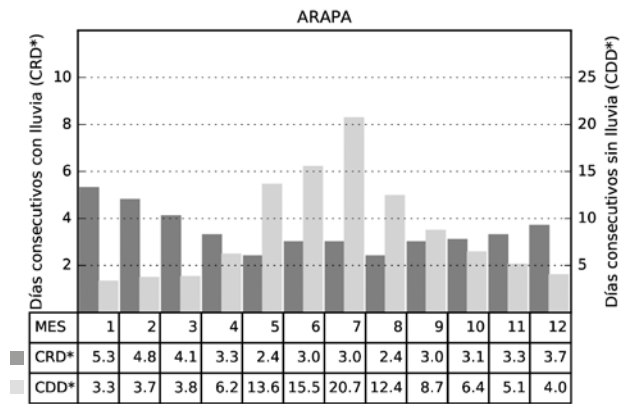
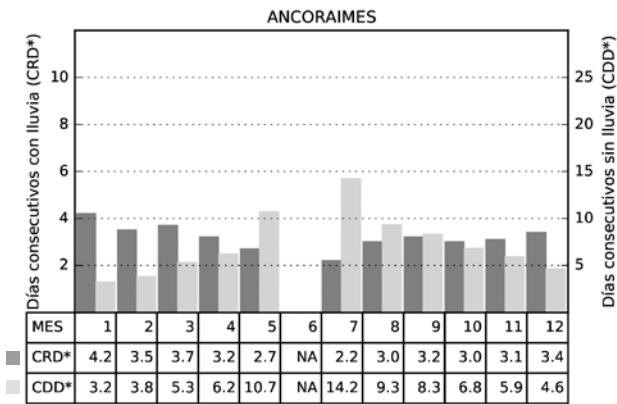
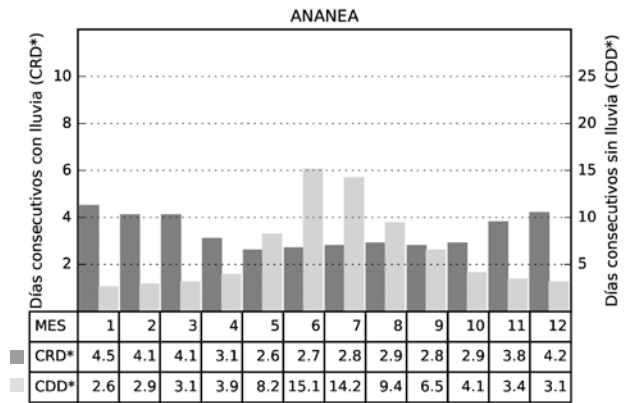
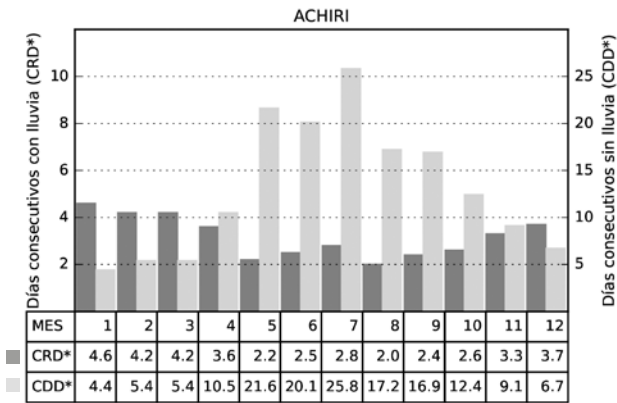


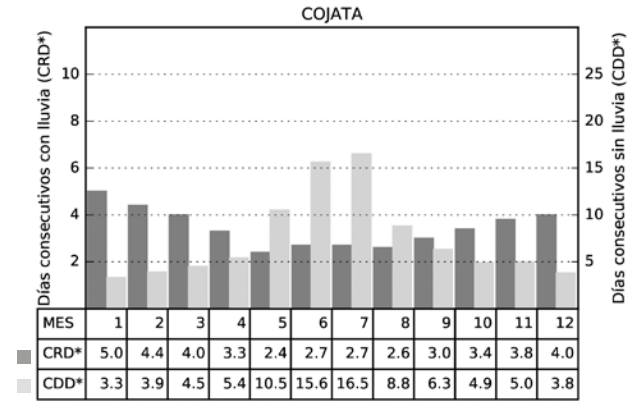
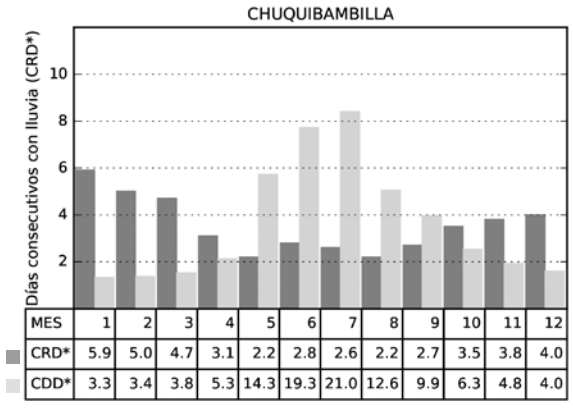
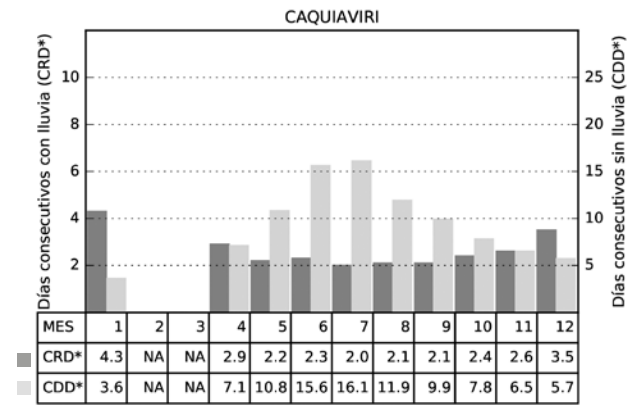
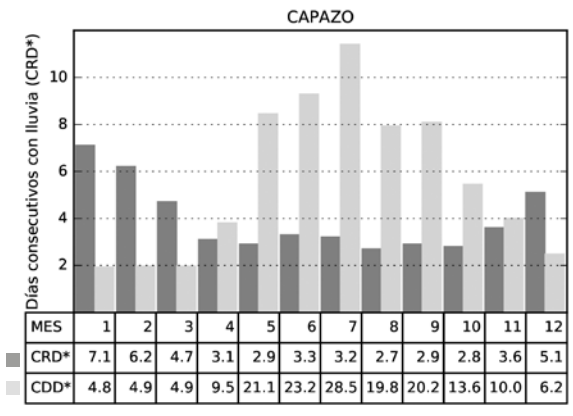
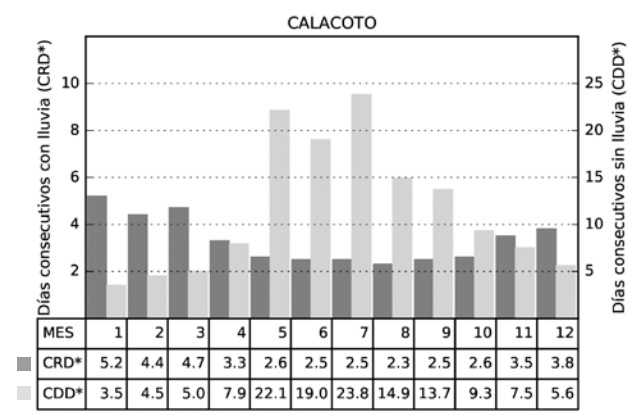
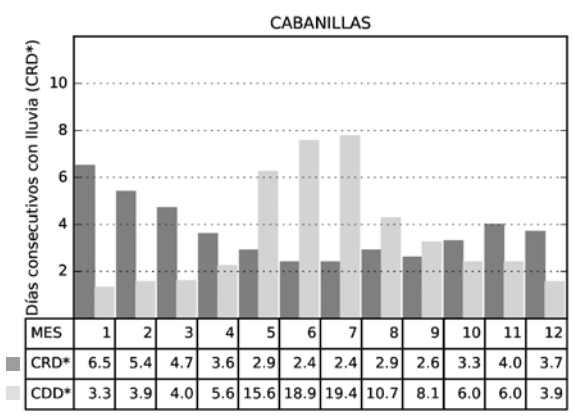
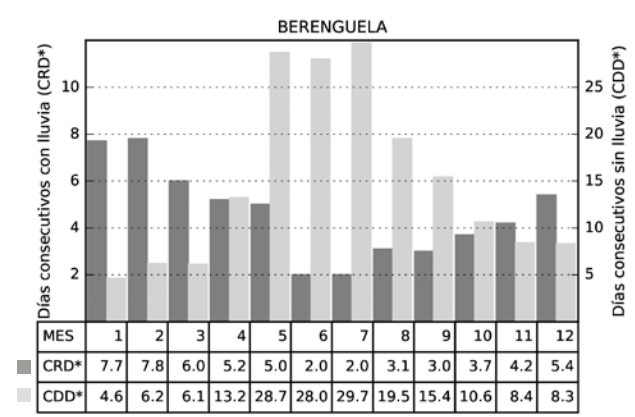
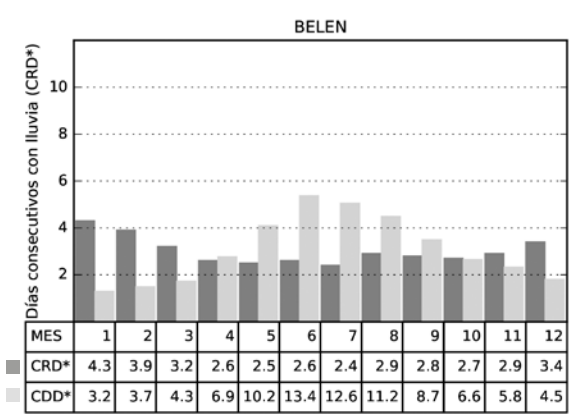
VIACHA

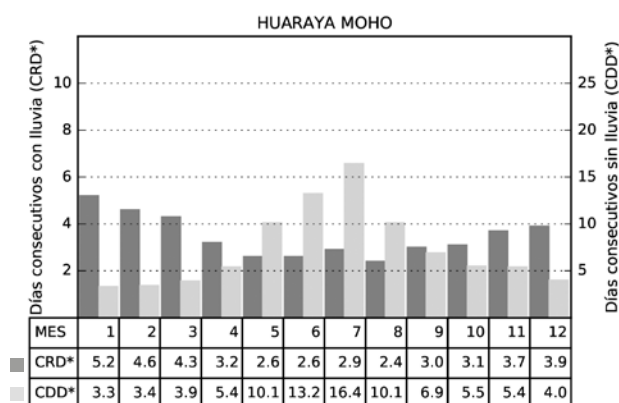
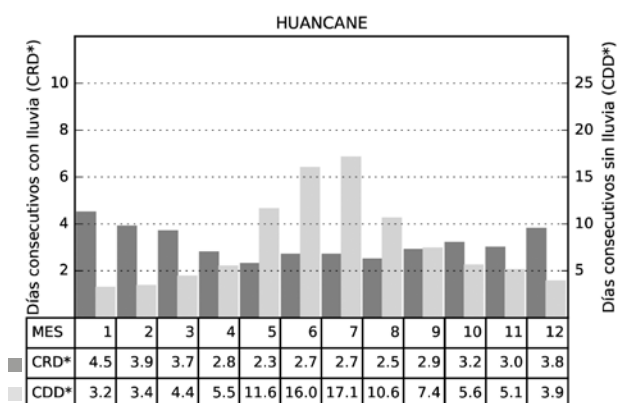
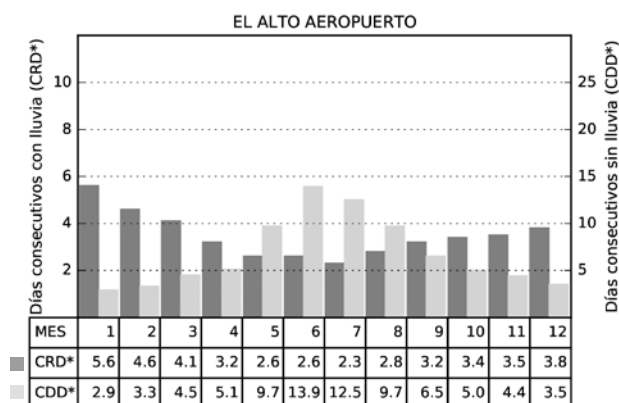
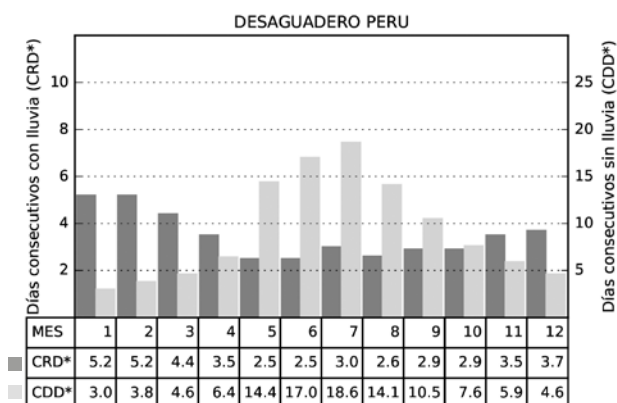
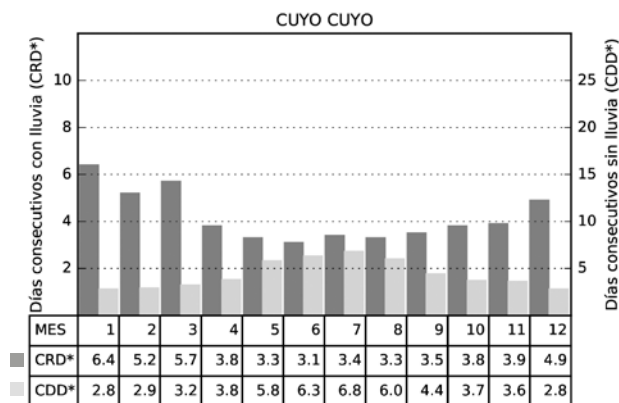
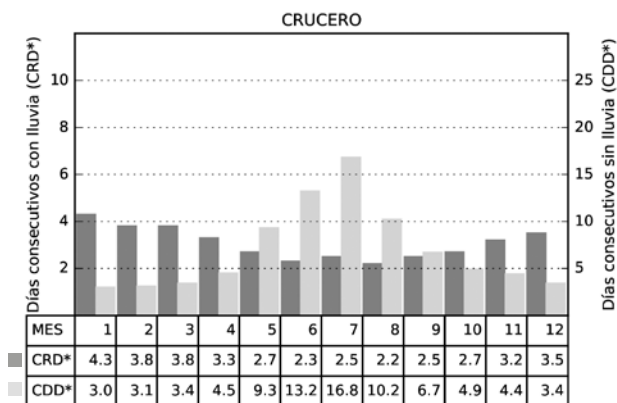
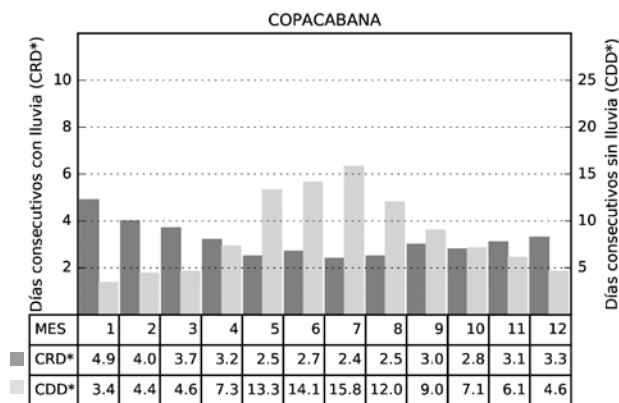
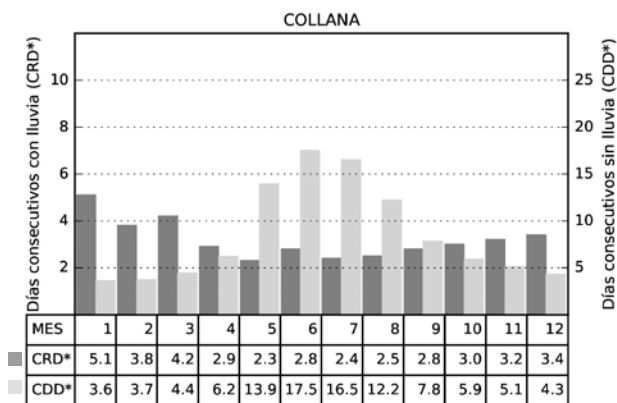


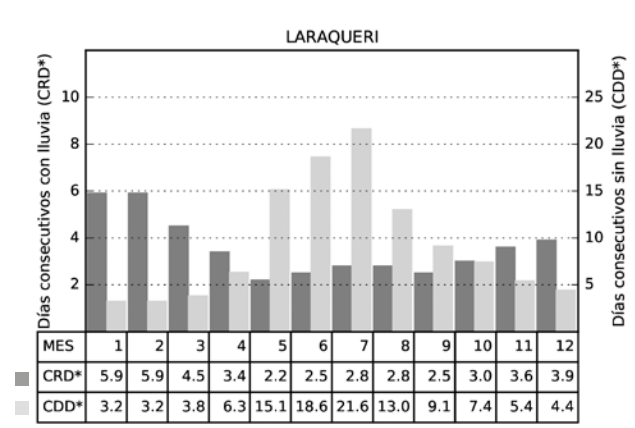
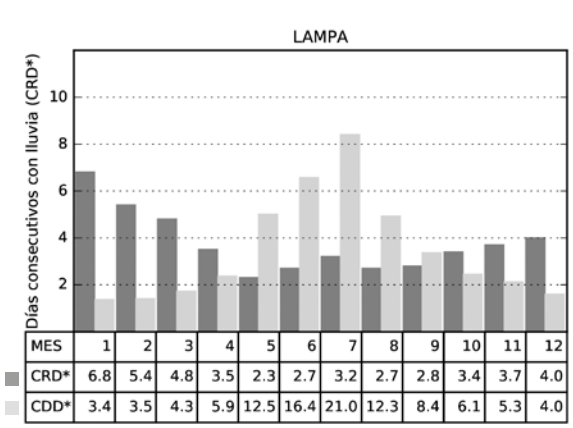
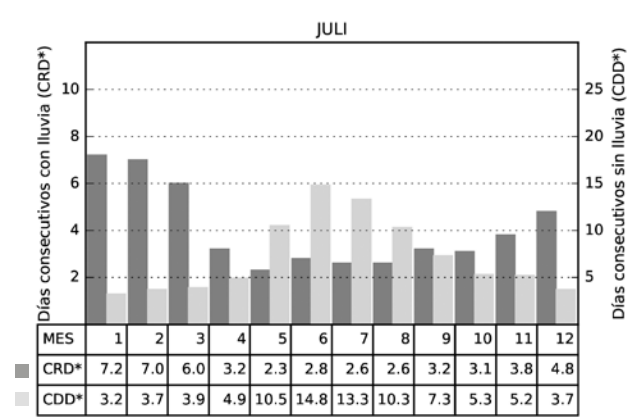
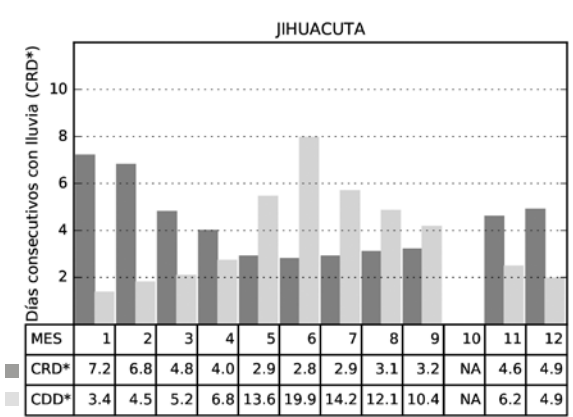
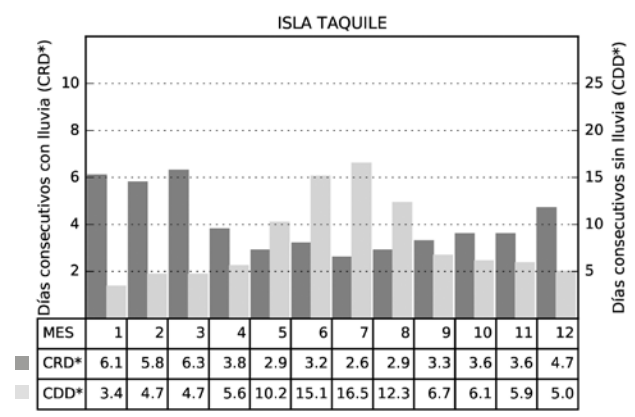
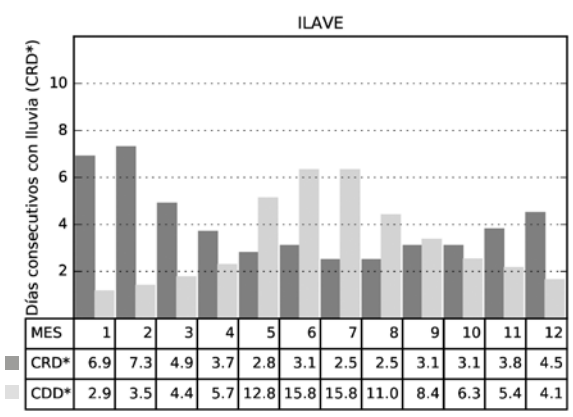
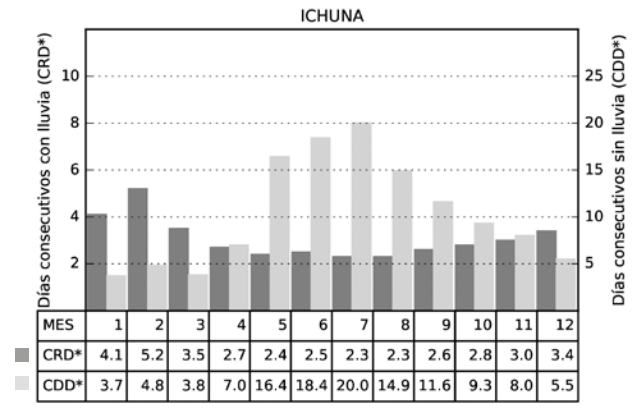
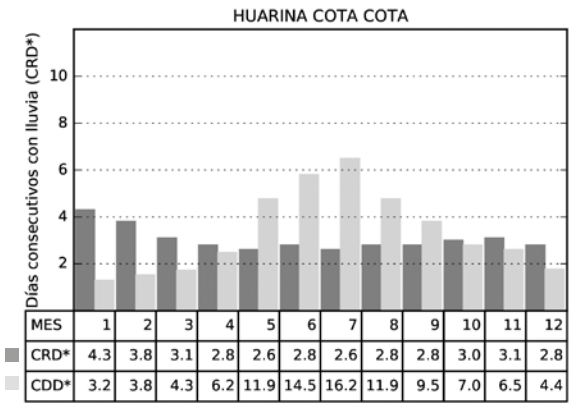
A2

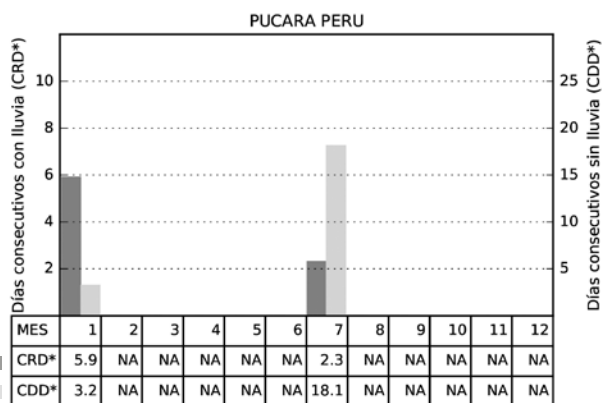
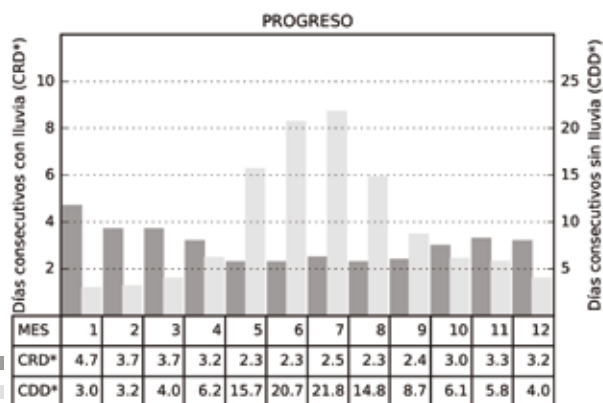
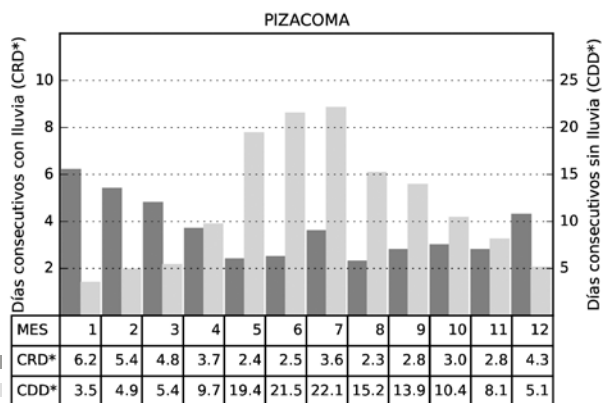
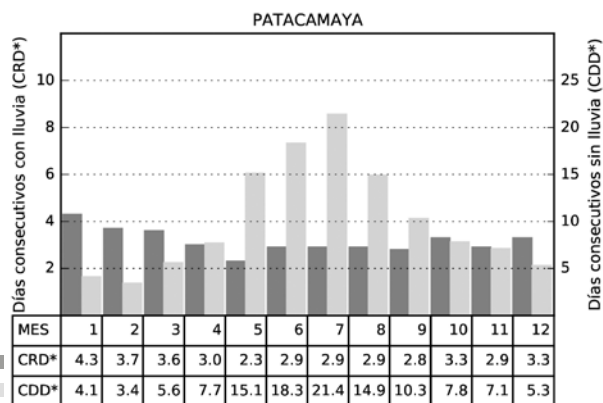
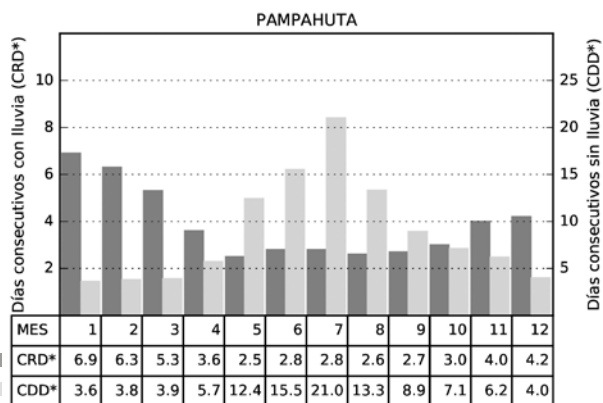
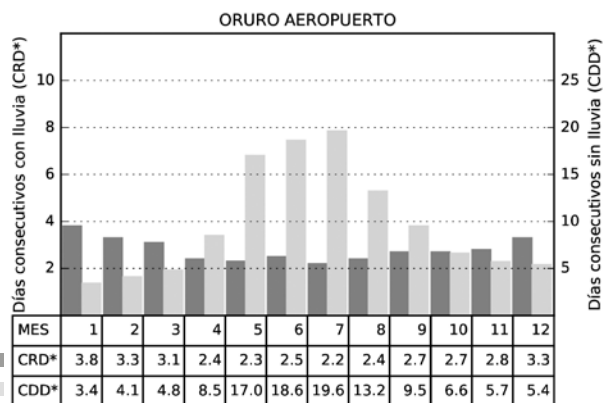
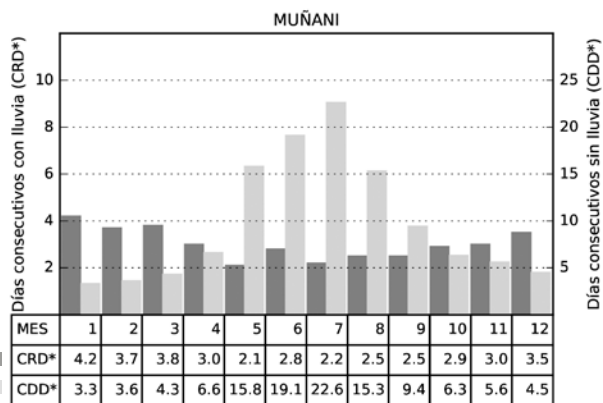
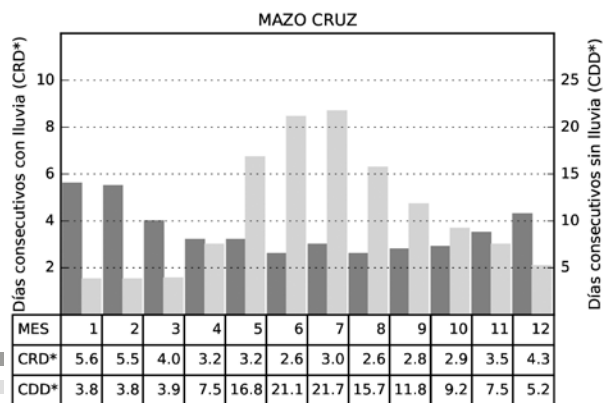
HISTOGRAMAS CLIMATOLÓGICOS DE DÍAS CONSECUTIVOS CON Y SIN PRECIPITACIÓN CLIMATOLOGICAL HISTOGRAMS OF CONSECUTIVE WET AND DRY DAYS

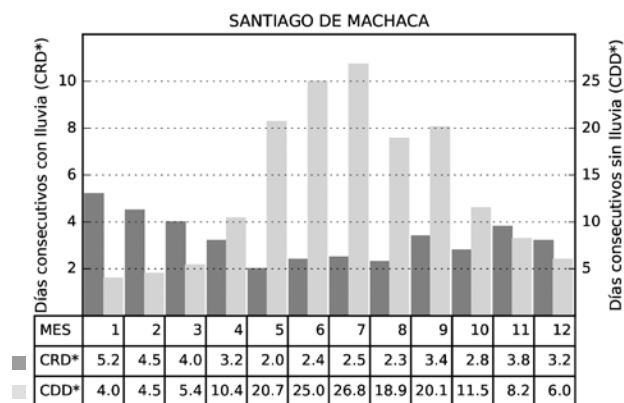
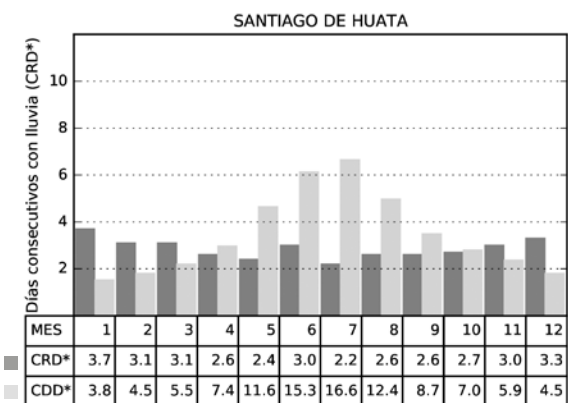
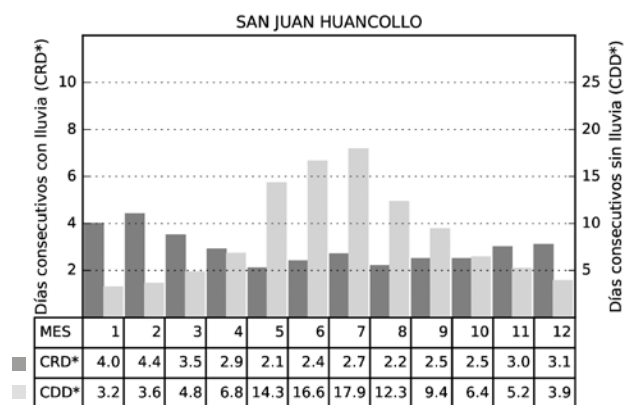
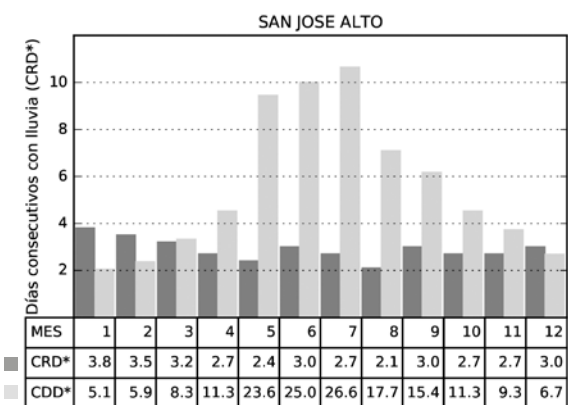
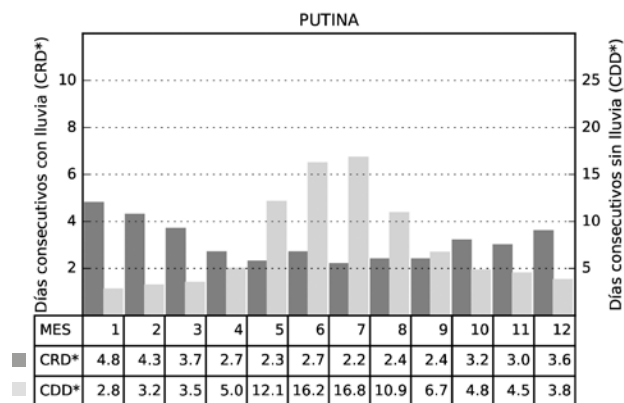
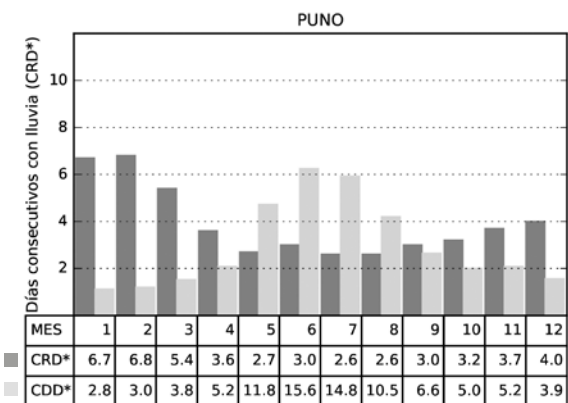
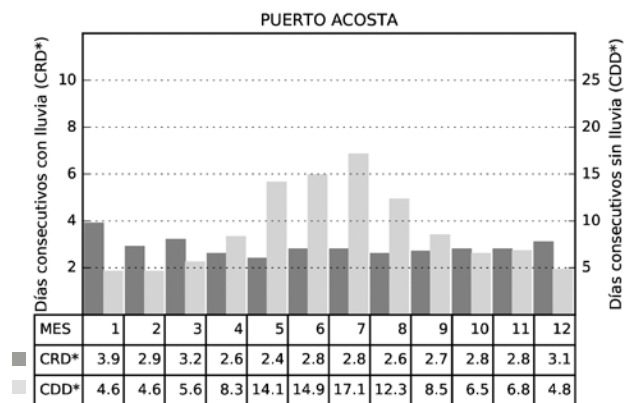
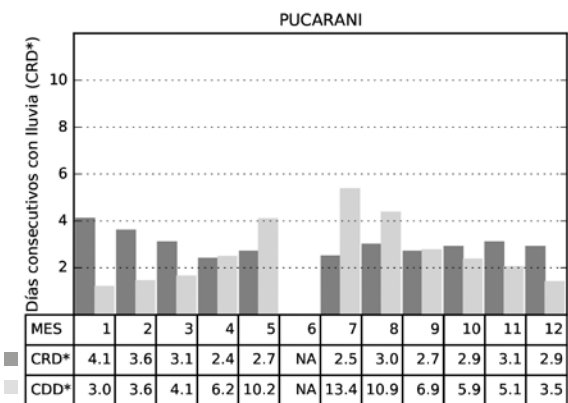




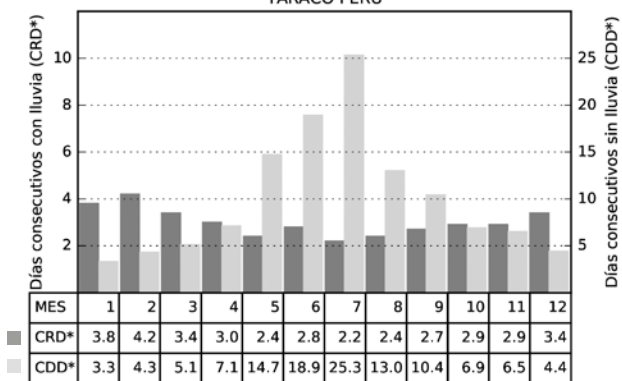




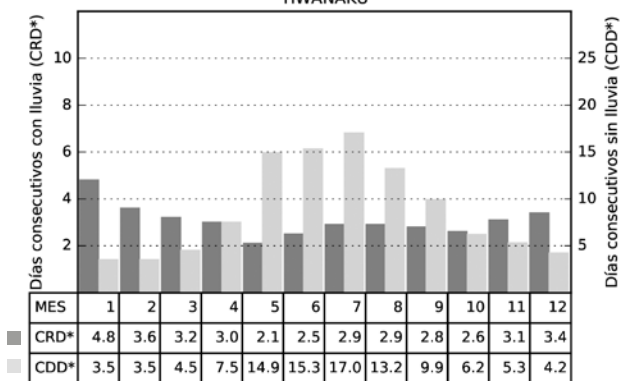




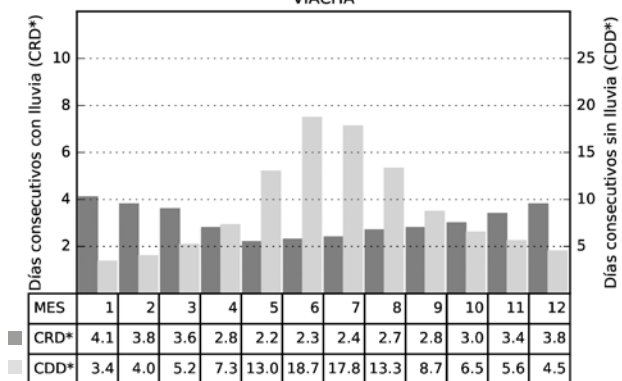
TARACO PERU



TIWANAKU



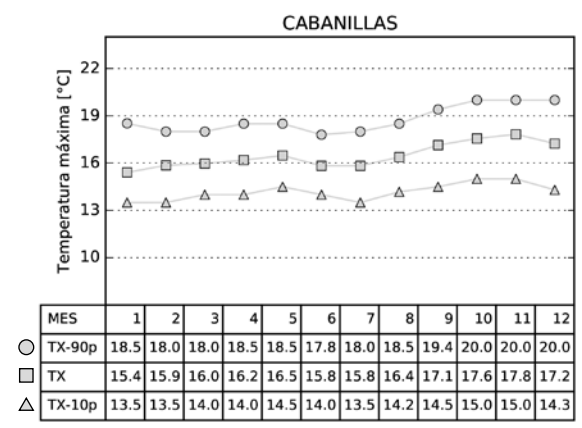
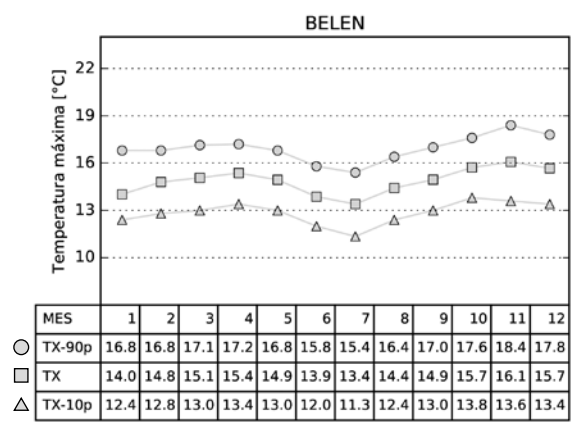
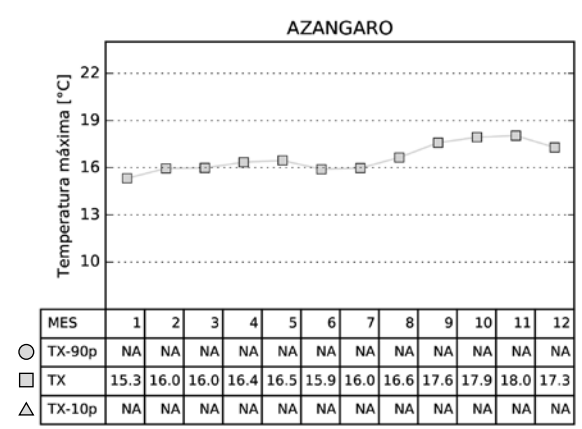
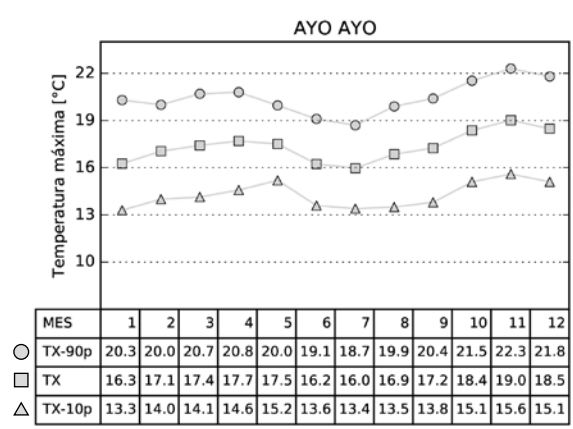
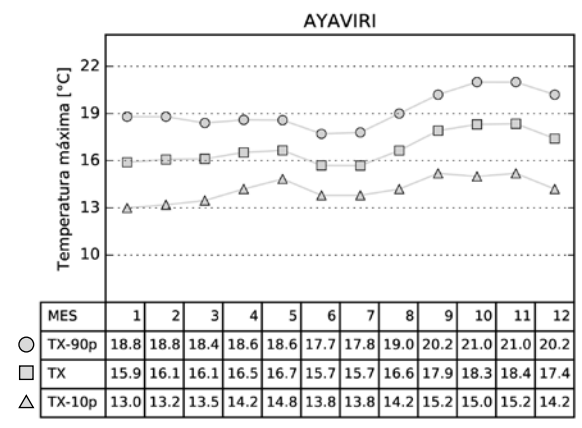
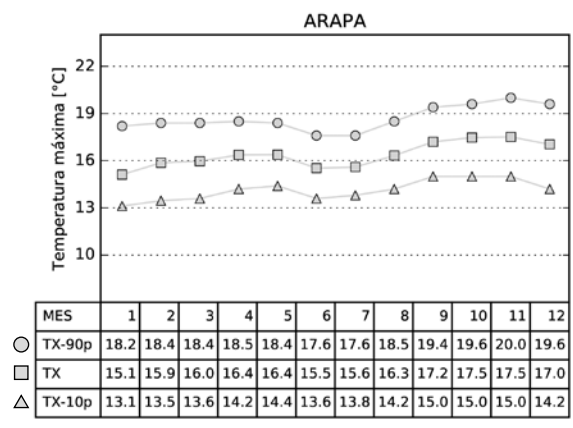
VIACHA



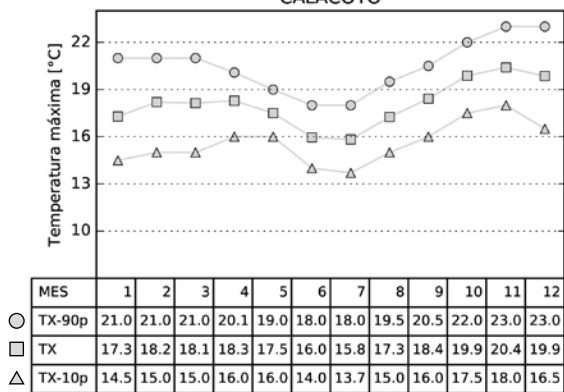


A3

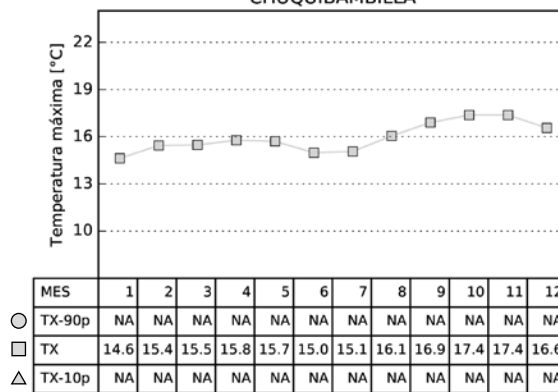
COMPORTAMIENTO CLIMATOLÓGICO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA CLIMATOLOGICAL BEHAVIOR OF MAXIMUM TEMPERATURE



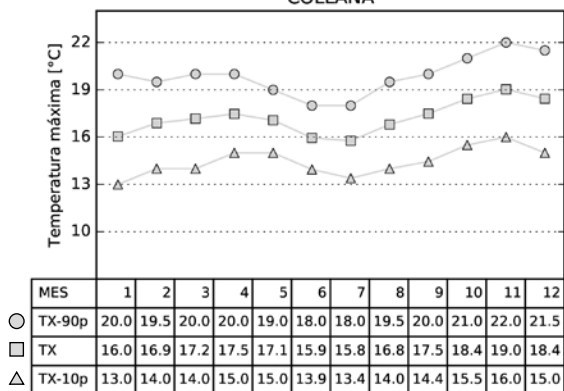
CALACOTO



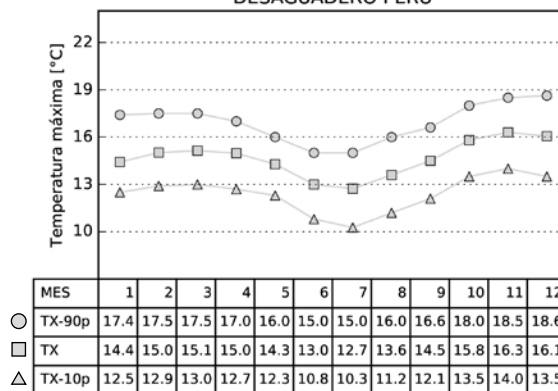
CHUQUIBAMBILLA



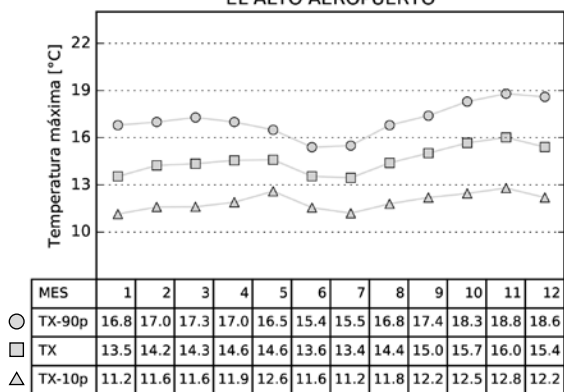
COLLANA



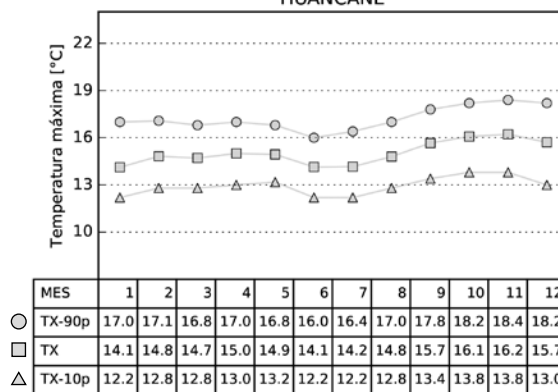
DESAGUADERO PERU



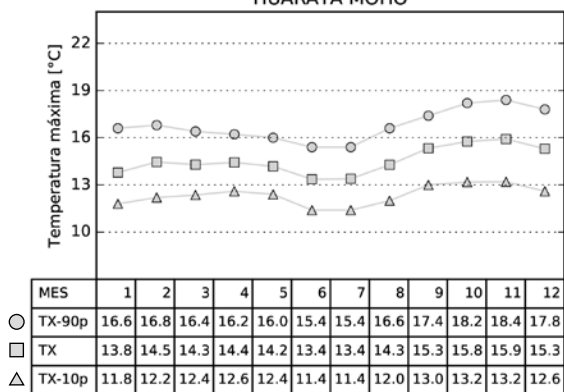
EL ALTO AEROPUERTO



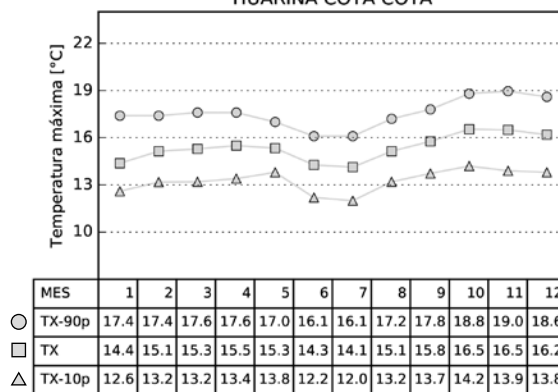
HUANCANE



HUARAYA MOHO

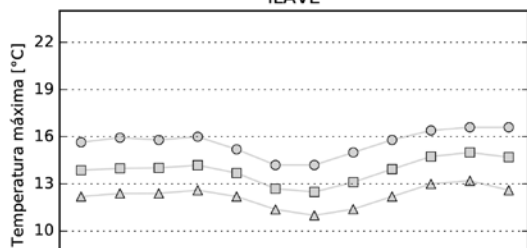


HUARINA COTA COTA



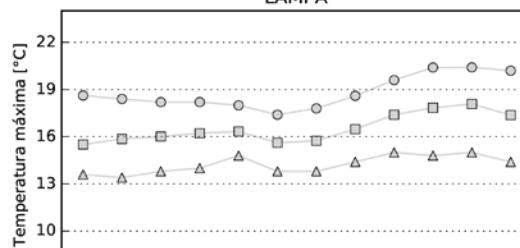


ILAVE



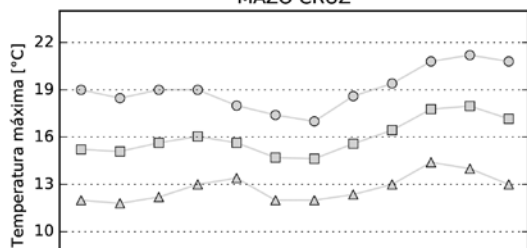
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	15.7	15.9	15.8	16.0	15.2	14.2	14.2	15.0	15.8	16.4	16.6	16.6
□ TX	13.9	14.0	14.0	14.2	13.7	12.7	12.5	13.1	13.9	14.7	15.0	14.7
△ TX-10p	12.2	12.4	12.4	12.6	12.2	11.4	11.0	11.4	12.2	13.0	13.2	12.6

LAMPA



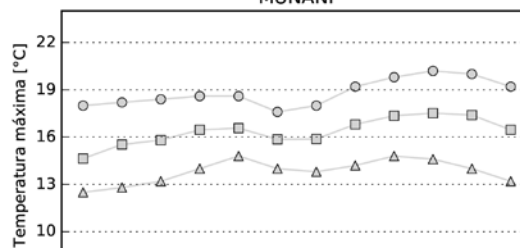
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	18.6	18.4	18.2	18.2	18.0	17.4	17.8	18.6	19.6	20.4	20.4	20.2
□ TX	15.5	15.9	16.0	16.2	16.3	15.6	15.7	16.5	17.4	17.8	18.1	17.4
△ TX-10p	13.6	13.4	13.8	14.0	14.8	13.8	13.8	14.4	15.0	14.8	15.0	14.4

MAZO CRUZ



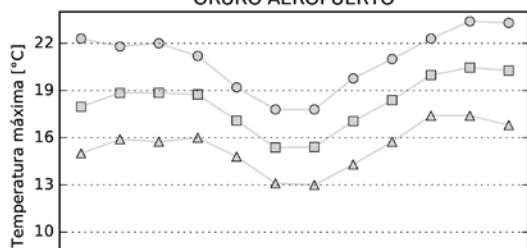
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	19.0	18.5	19.0	19.0	18.0	17.4	17.0	18.6	19.4	20.8	21.2	20.8
□ TX	15.2	15.1	15.6	16.0	15.6	14.7	14.6	15.6	16.4	17.8	18.0	17.2
△ TX-10p	12.0	11.8	12.2	13.0	13.4	12.0	12.0	12.4	13.0	14.4	14.0	13.0

MUÑANI



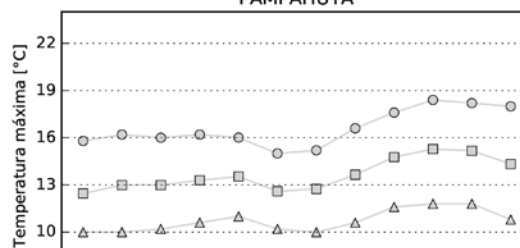
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	18.0	18.2	18.4	18.6	18.6	17.6	18.0	19.2	19.8	20.2	20.0	19.2
□ TX	14.6	15.5	15.8	16.5	16.6	15.9	15.9	16.8	17.4	17.5	17.4	16.5
△ TX-10p	12.5	12.8	13.2	14.0	14.8	14.0	13.8	14.2	14.8	14.6	14.0	13.2

ORURO AEROPUERTO



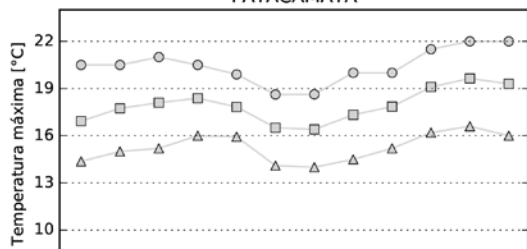
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	22.3	21.8	22.0	21.2	19.2	17.8	17.8	19.8	21.0	22.3	23.4	23.3
□ TX	18.0	18.9	18.9	18.8	17.1	15.4	15.4	17.1	18.4	20.0	20.5	20.3
△ TX-10p	15.0	15.9	15.8	16.0	14.8	13.1	13.0	14.3	15.7	17.4	17.4	16.8

PAMPAHUTA



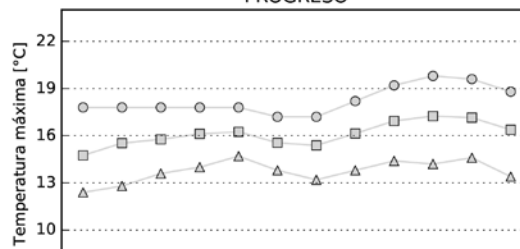
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	15.8	16.2	16.0	16.2	16.0	15.0	15.2	16.6	17.6	18.4	18.2	18.0
□ TX	12.5	13.0	13.0	13.3	13.5	12.6	12.7	13.7	14.8	15.3	15.2	14.3
△ TX-10p	10.0	10.0	10.2	10.6	11.0	10.2	10.0	10.6	11.6	11.8	11.8	10.8

PATACAMAYA



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	20.5	20.5	21.0	20.5	19.9	18.6	18.6	20.0	20.0	21.5	22.0	22.0
□ TX	16.9	17.7	18.1	18.4	17.8	16.5	16.4	17.3	17.9	19.1	19.6	19.3
△ TX-10p	14.4	15.0	15.2	16.0	15.9	14.1	14.0	14.5	15.2	16.2	16.6	16.0

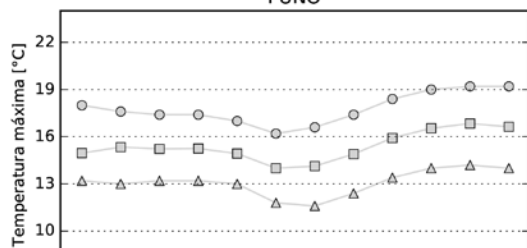
PROGRESO



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.2	17.2	18.2	19.2	19.8	19.6	18.8
□ TX	14.8	15.5	15.8	16.1	16.2	15.6	15.4	16.1	16.9	17.2	17.1	16.4
△ TX-10p	12.4	12.8	13.6	14.0	14.7	13.8	13.2	13.8	14.4	14.2	14.6	13.4

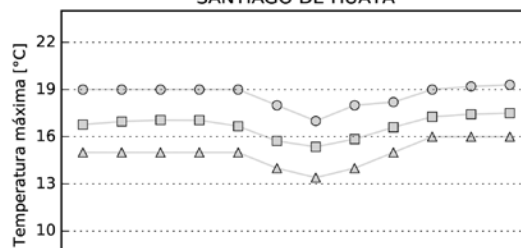


PUNO



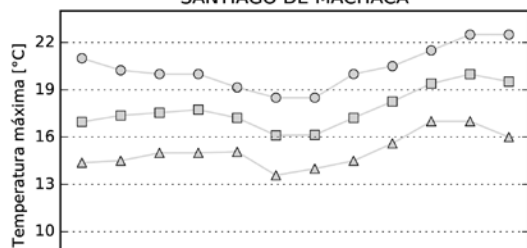
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	18.0	17.6	17.4	17.4	17.0	16.2	16.6	17.4	18.4	19.0	19.2	19.2
□ TX	15.0	15.3	15.2	15.2	14.9	14.0	14.1	14.9	15.9	16.5	16.8	16.6
△ TX-10p	13.2	13.0	13.2	13.2	13.0	11.8	11.6	12.4	13.4	14.0	14.2	14.0

SANTIAGO DE HUATA



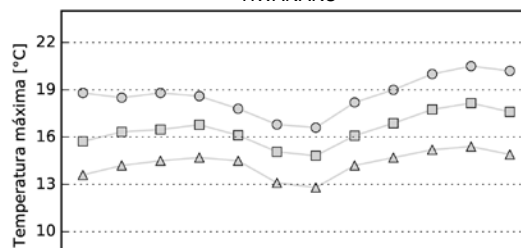
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	18.0	17.0	18.0	18.2	19.0	19.2	19.3
□ TX	16.8	17.0	17.1	17.1	16.7	15.7	15.4	15.8	16.6	17.3	17.4	17.5
△ TX-10p	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.0	13.4	14.0	15.0	16.0	16.0	16.0

SANTIAGO DE MACHACA



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	21.0	20.2	20.0	20.0	19.1	18.5	18.5	20.0	20.5	21.5	22.5	22.5
□ TX	17.0	17.4	17.6	17.7	17.2	16.1	16.1	17.2	18.3	19.4	20.0	19.5
△ TX-10p	14.4	14.5	15.0	15.0	15.1	13.6	14.0	14.5	15.6	17.0	17.0	16.0

TIWANAKU

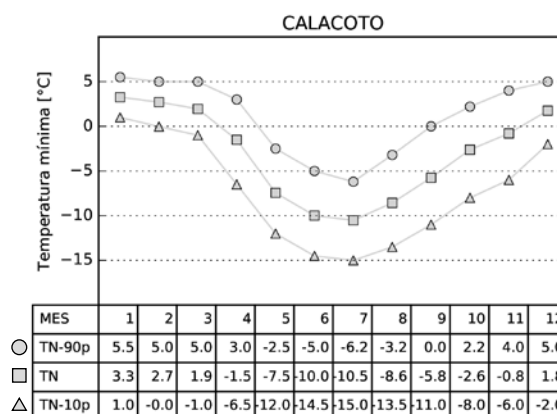
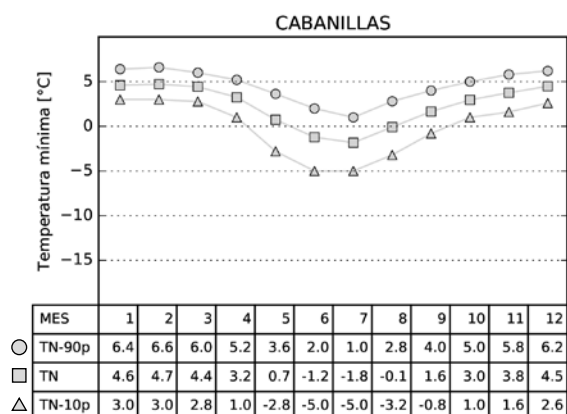
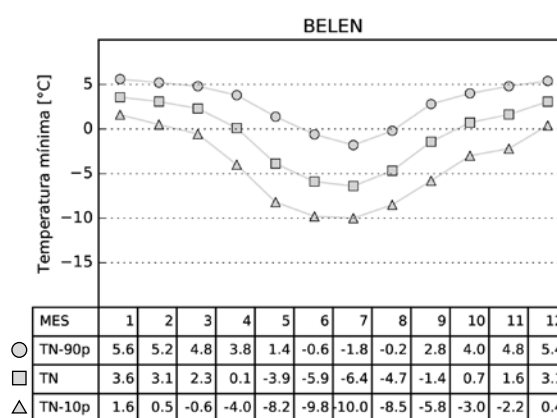
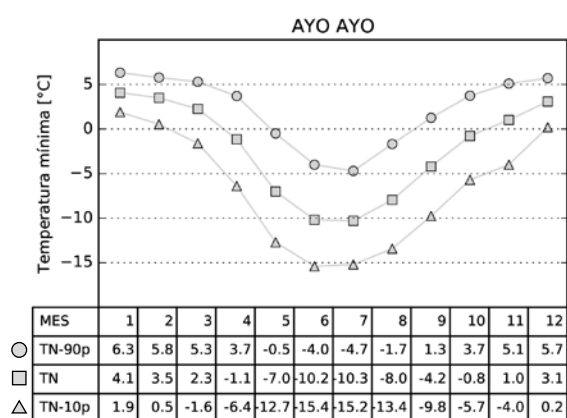
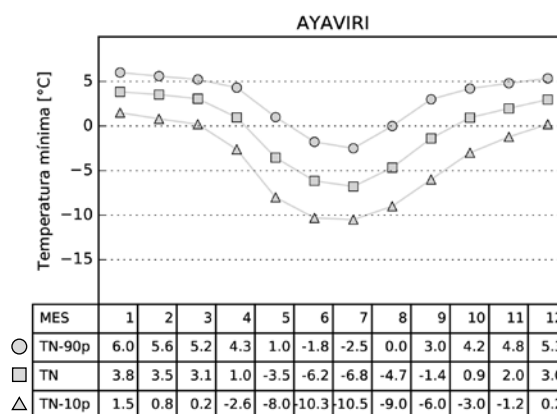
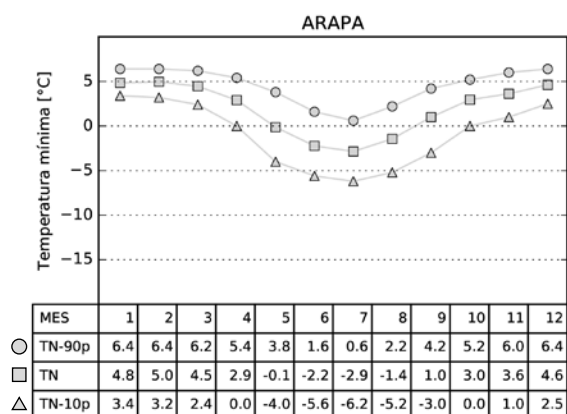


MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TX-90p	18.8	18.5	18.8	18.6	17.8	16.8	16.6	18.2	19.0	20.0	20.5	20.2
□ TX	15.7	16.3	16.5	16.8	16.1	15.1	14.8	16.1	16.9	17.8	18.2	17.6
△ TX-10p	13.6	14.2	14.5	14.7	14.5	13.1	12.8	14.2	14.7	15.2	15.4	14.9

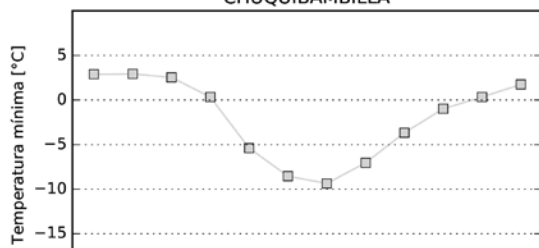


A4

COMPORTAMIENTO CLIMATOLÓGICO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA CLIMATOLOGICAL BEHAVIOR OF MINIMUM TEMPERATURE

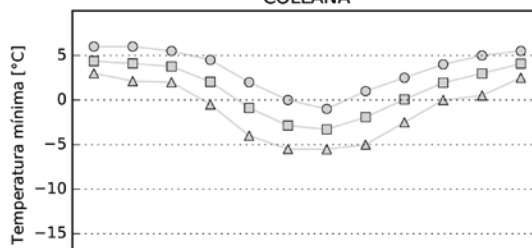


CHUQUIBAMBILLA



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
□ TN	2.9	2.9	2.5	0.3	-5.4	-8.5	-9.4	-7.0	-3.7	-1.0	0.3	1.8
△ TN-10p	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

COLLANA



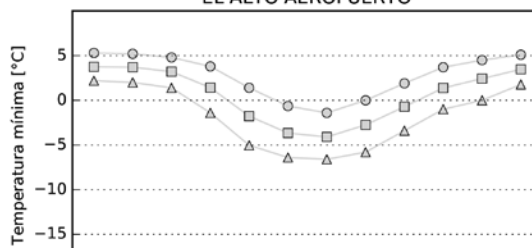
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.0	6.0	5.5	4.5	2.0	0.0	-1.0	1.0	2.5	4.0	5.0	5.5
□ TN	4.4	4.1	3.8	2.0	-0.9	-2.9	-3.3	-1.9	0.1	1.9	3.0	4.1
△ TN-10p	3.0	2.1	2.0	-0.5	-4.0	-5.5	-5.5	-5.0	-2.5	0.0	0.5	2.5

DESAGUADERO PERU



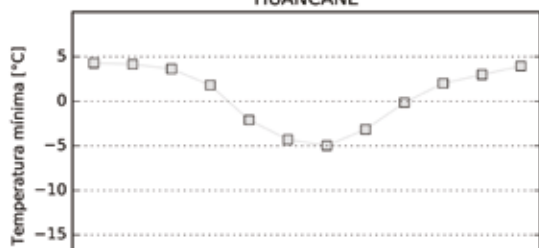
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.4	6.6	6.5	5.4	2.6	0.1	-0.4	1.2	3.5	5.0	5.9	6.5
□ TN	4.5	4.7	4.4	2.3	-2.1	-4.7	-5.0	-3.4	-0.9	1.3	2.4	4.0
△ TN-10p	2.5	2.4	1.6	-2.0	-7.0	-10.0	-9.8	-8.0	-6.0	-3.2	-2.2	1.0

EL ALTO AEROPUERTO



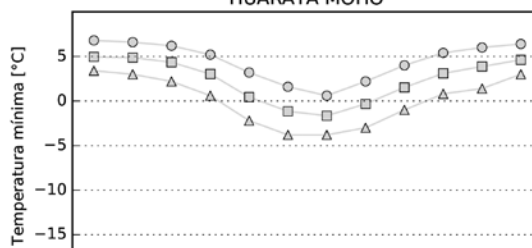
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	5.3	5.2	4.8	3.8	1.4	-0.6	-1.4	0.0	1.9	3.7	4.5	5.1
□ TN	3.8	3.7	3.2	1.4	-1.8	-3.7	-4.1	-2.8	-0.7	1.4	2.4	3.5
△ TN-10p	2.2	2.0	1.4	-1.4	-5.0	-6.4	-6.6	-5.8	-3.4	-1.0	0.0	1.8

HUANCANE



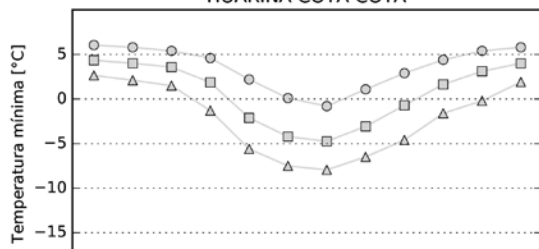
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
□ TN	4.3	4.1	3.6	1.8	-2.1	-4.3	-5.0	-3.2	-0.2	2.0	3.0	3.9
△ TN-10p	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

HUARAYA MOHO



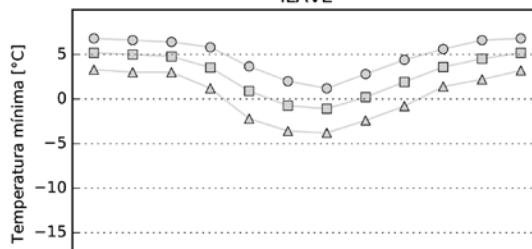
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.8	6.6	6.2	5.2	3.2	1.6	0.6	2.2	4.0	5.4	6.0	6.4
□ TN	5.0	4.9	4.3	3.0	0.4	-1.1	-1.6	-0.3	1.5	3.1	3.9	4.6
△ TN-10p	3.4	3.0	2.2	0.6	-2.2	-3.8	-3.8	-3.0	-1.0	0.8	1.4	3.0

HUARINA COTA COTA



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.0	5.8	5.4	4.6	2.2	0.1	-0.8	1.1	2.9	4.4	5.4	5.8
□ TN	4.3	4.0	3.6	1.9	-2.1	-4.2	-4.8	-3.1	-0.7	1.6	3.1	4.0
△ TN-10p	2.6	2.1	1.5	-1.3	-5.6	-7.5	-8.0	-6.5	-4.6	-1.6	-0.2	1.9

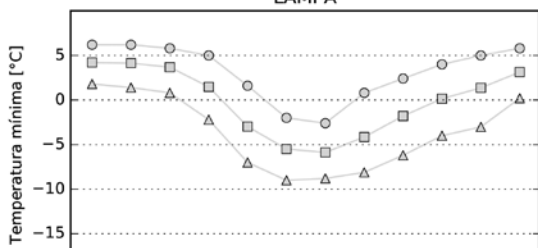
ILAVE



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.8	6.6	6.4	5.8	3.7	2.0	1.2	2.8	4.4	5.6	6.6	6.8
□ TN	5.2	5.0	4.8	3.5	0.9	-0.8	-1.1	0.2	1.9	3.6	4.5	5.2
△ TN-10p	3.3	3.0	3.0	1.2	-2.2	-3.6	-3.8	-2.4	-0.8	1.4	2.2	3.2

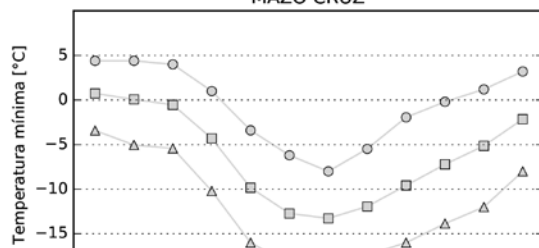


LAMPA



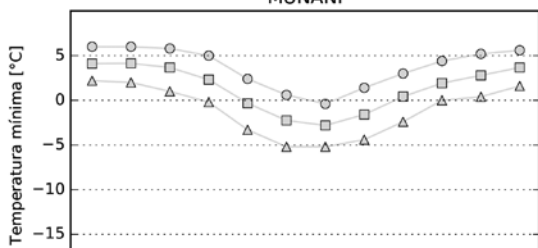
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.2	6.2	5.8	5.0	1.6	-2.0	-2.6	0.8	2.4	4.0	5.0	5.8
□ TN	4.2	4.1	3.7	1.5	-3.0	-5.5	-5.9	-4.2	-1.8	0.1	1.4	3.1
△ TN-10p	1.8	1.4	0.8	-2.2	-7.0	-9.0	-8.8	-8.1	-6.2	-4.0	-3.0	0.2

MAZO CRUZ



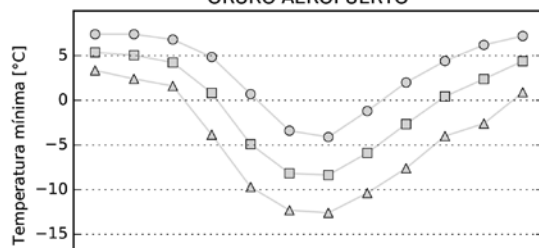
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	4.4	4.4	4.0	1.0	-3.4	-6.2	-8.0	-5.5	-1.9	-0.2	1.2	3.2
□ TN	0.7	0.1	-0.5	-4.3	-9.8	-12.7	-13.3	-11.9	-9.6	-7.2	-5.1	-2.1
△ TN-10p	-3.4	-5.0	-5.4	-10.2	-16.0	-18.4	-18.4	-17.4	-16.0	-13.9	-12.0	-8.0

MUÑANI



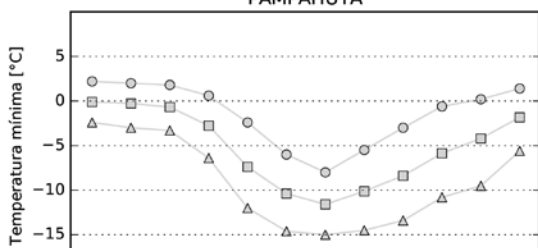
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.0	6.0	5.8	5.0	2.4	0.6	-0.4	1.4	3.0	4.4	5.2	5.6
□ TN	4.1	4.1	3.7	2.3	-0.3	-2.2	-2.8	-1.6	0.4	1.9	2.8	3.7
△ TN-10p	2.2	2.0	1.0	-0.2	-3.3	-5.2	-5.2	-4.4	-2.4	0.0	0.4	1.6

ORURO AEROPUERTO



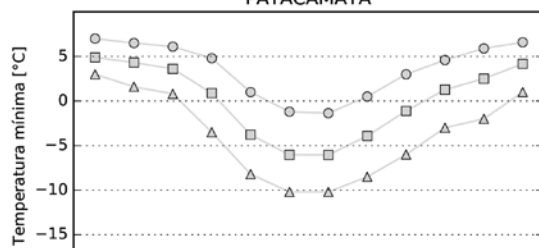
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	7.4	7.4	6.8	4.8	0.7	-3.4	-4.1	-1.2	2.0	4.4	6.2	7.2
□ TN	5.4	5.0	4.2	0.8	-4.9	-8.2	-8.4	-5.9	-2.7	0.4	2.4	4.4
△ TN-10p	3.4	2.4	1.6	-3.9	-9.7	-12.3	-12.6	-10.4	-7.6	-4.0	-2.6	0.9

PAMPAHUTA



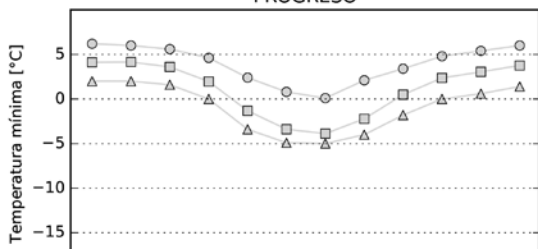
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	2.2	2.0	1.8	0.6	-2.4	-6.0	-8.0	-5.5	-3.0	-0.6	0.2	1.4
□ TN	-0.1	-0.3	-0.7	-2.8	-7.4	-10.4	-11.6	-10.1	-8.4	-5.9	-4.2	-1.8
△ TN-10p	-2.4	-3.0	-3.3	-6.4	-12.0	-14.6	-15.0	-14.5	-13.4	-10.8	-9.5	-5.6

PATACAMAYA



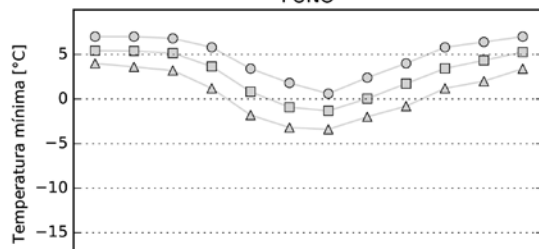
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	7.0	6.5	6.1	4.8	1.0	-1.2	-1.4	0.5	3.0	4.6	5.9	6.6
□ TN	4.9	4.3	3.6	0.9	-3.8	-6.0	-6.0	-3.9	-1.1	1.3	2.5	4.2
△ TN-10p	3.0	1.6	0.8	-3.5	-8.2	-10.2	-10.2	-8.5	-6.0	-3.0	-2.0	1.0

PROGRESO



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.2	6.0	5.6	4.6	2.4	0.8	0.1	2.1	3.4	4.8	5.4	6.0
□ TN	4.1	4.2	3.6	2.0	-1.3	-3.4	-3.9	-2.2	0.5	2.4	3.0	3.8
△ TN-10p	2.0	2.0	1.6	0.0	-3.4	-4.9	-5.0	-4.0	-1.8	0.0	0.6	1.4

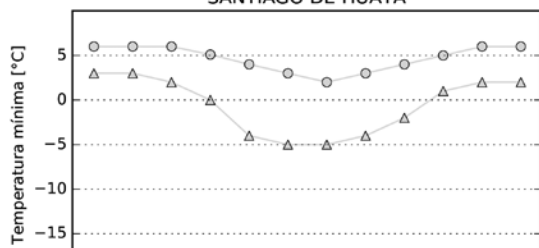
PUNO



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	7.0	7.0	6.8	5.8	3.4	1.8	0.6	2.4	4.0	5.8	6.4	7.0
□ TN	5.4	5.4	5.2	3.6	0.8	-0.9	-1.3	0.0	1.7	3.4	4.3	5.3
△ TN-10p	4.0	3.6	3.2	1.2	-1.8	-3.2	-3.4	-2.0	-0.8	1.2	2.0	3.4



SANTIAGO DE HUATA



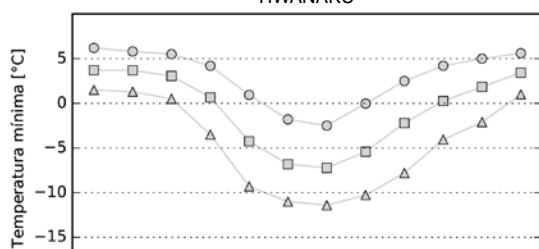
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.0	6.0	6.0	5.1	4.0	3.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0
□ TN	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
△ TN-10p	3.0	3.0	2.0	0.0	-4.0	-5.0	-5.0	-4.0	-2.0	1.0	2.0	2.0

SANTIAGO DE MACHACA



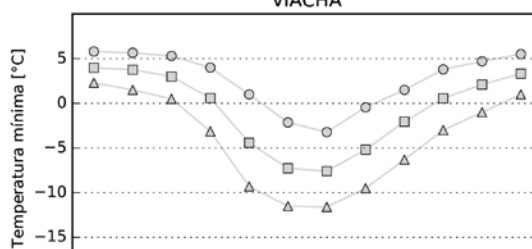
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	5.5	5.0	5.0	2.5	-2.0	-5.0	-6.0	-4.0	-2.0	0.6	3.0	4.5
□ TN	2.4	2.0	0.9	-2.8	-8.3	-11.1	-11.4	-9.6	-7.5	-5.0	-3.0	-0.1
△ TN-10p	-1.0	-2.0	-3.0	-8.0	-15.0	-17.0	-16.5	-15.5	-13.5	-10.2	-10.0	-5.0

TIWANAKU



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	6.2	5.8	5.5	4.2	0.9	-1.8	-2.5	-0.0	2.5	4.2	5.0	5.6
□ TN	3.7	3.7	3.1	0.7	-4.2	-6.8	-7.2	-5.4	-2.2	0.3	1.8	3.4
△ TN-10p	1.5	1.3	0.5	-3.5	-9.3	-11.0	-11.4	-10.3	-7.8	-4.1	-2.1	1.0

VIACHA



MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ TN-90p	5.8	5.7	5.3	4.0	1.0	-2.1	-3.2	-0.5	1.5	3.8	4.7	5.5
□ TN	4.0	3.8	3.0	0.6	-4.4	-7.3	-7.6	-5.2	-2.1	0.6	2.1	3.3
△ TN-10p	2.3	1.5	0.5	-3.1	-9.3	-11.5	-11.6	-9.5	-6.3	-3.0	-1.0	1.0

- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C., & Wieringa, J. (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization. World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. *World Meteorological Organization, Geneva*.
- Arguez, A., & Vose, R. S. (2011). The definition of the standard WMO climate normal: The key to deriving alternative climate normals. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92(6): 699-704.
- Bellprat, O., Lott, F. C., Guliza, C., Parker, H. R., Pampuch, L. A., Pinto, I., Ciavarella, A., & Stott, P. A. (2015). Unusual past dry and wet rainy seasons over southern Africa and South America from a climate perspective. *Weather Clim. Extremes*, 9: 36–46.
- Böhrt, J. P. (1985). La sequía en Bolivia: 1982-1983. *Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires*.
- Comunidad Andina de Naciones. (2009). Atlas de las dinámicas del territorio Andino: población y bienes expuestos a amenazas naturales. *Corporación OSSO, Lima, Perú*.
- Cavledes, C. N. (1985). Emergency and institutional crisis in Peru during El Niño 1982–1983. *Disasters*, 9(1): 70-74.
- Dee, D. P., et al., (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137: 553–597.
- García, M., Raes, D., Jacobsen, S. E., & Michel, T. (2007). Agroclimatic constraints for rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. *J. Arid Environ.*, 71(1): 109-121.
- Garreaud, R., Vuille, M., & Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 194(1): 5-22.
- Hardy, S. (2009). Granizada e inundación del 19 de febrero de 2002. Un modelo de crisis para la aglomeración de La Paz. *Bull. Inst. fr. étud. andin.*, 38(3): 501-514.
- Hayes, M., Wilhite, D. A., Svoboda, M., & Vanyarkho, O. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 80: 429–438.
- Hunziker, S., Gubler, S., Calle, J., Moreno, I., Andrade, M., Velarde, F., Ticona, L., Carrasco, G., Castellón, Y., Oria, C., Croci-Maspoli, M., Konzelmann, T., Rohrer, M. & Brönnimann, S. (2017). Identifying, attributing, and overcoming common data quality issues of manned station observations. *Int. J. Climatol.*, 37(11): 4131-4145.
- Iles, C. E., & Hegerl, G. C. (2014). The global precipitation response to volcanic eruptions in the CMIP5 models. *Environ. Res. Lett.*, 9(10): 104012.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F. et al. (eds.)]. Cambridge, *Cambridge University Press*, pp. 1535.
- Mourre, L., Condom, T., Junquas, C., Lebel, T., Sicart, J. E., Figueroa, R., & Cochachin, A. (2016). Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20(1): 125.
- Nicholls, N. (1995). Long-term climate monitoring and extreme events. *Clim. Change*, 31(2-4): 231-245.
- Reuter, H. I., Nelson, A., & Jarvis, A. (2007). An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data. *Int. J. Geo. Inf. Sci.*, 21(9): 983-1008.
- Revfeim, K. J. A. (1990). Daily observations: Necessity, ritual or imposition?. *Int. J. Climatol.*, 10(1): 105-110.

- Rusticucci, M., & Tencer, B. (2008). Observed changes in return values of annual temperature extremes over Argentina. *J. Clim.*, 21(21): 5455-5467.
- Seth, A., Thibeault, J., Garcia, M., & Valdivia, C. (2010). Making sense of twenty-first-century climate change in the Altiplano: observed trends and CMIP3 projections. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 100(4): 835-847.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., & Powers, J. G. (2008). A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR technical note, Mesoscale and Microscale Meteorology Division. *National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA*.
- Soruco, A., Vincent, C., Rabatel, A., Francou, B., Thibert, E., Sicart, J. E., & Condom, T. (2015). Contribution of glacier runoff to water resources of La Paz city, Bolivia (16 S). *Ann. Glaciol.*, 56(70): 147-154.
- Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J. C., Vuille, M., & Lavado Casimiro, W. (2017). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *Int. J. Climatol.* doi:10.1002/joc.5185.
- Tank, A. M., & Können, G. P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *J. Clim.*, 16(22): 3665-3680.
- Thompson, L. G. et al., (1998). A 25,000-Year Tropical Climate History from Bolivian Ice Cores. *Science*, 282(5395): 1858-1864.
- Veblen, T. T. (2007). Physical geography of South America. *Oxford University Press, New York*.
- Wilks, D. S. (2013). Projecting “normals” in a nonstationary climate. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 52(2): 289-302.
- World Meteorological Organization. (1989). Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. *World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) Series Report No. 10 (WMO/TD-No. 341)*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2007). The role of climatological normals in a changing climate. [Trewin, B. C. (ed.)]. *World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) Series Report No. 61 (WMO/TD-No. 1377)*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2009). Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. [Klein Tank, A. M. G., Zwiers, F. W., & Zhang, X. (eds.)]. *Instruments and Observing Methods Report No. 72. (WMO/TD-No. 1500)*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2011). Guide to climatological practice. *(WMO-No. 100)*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2012). Standardized precipitation index user guide [Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (eds.)]. *Technical Report (WMO-No. 1090)*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2014). CIMO Guide: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. *(WMO-No. 8)*. Geneva.
- U.S. Agency for International Development (USAID) Office of U.S. Foreign Disaster Assistance. (1984). Disaster Case Report, *Washington D.C. 20523*.
- Zaratti, F., (2003). La Radiación ultravioleta solar. En Zaratti F. & Forno R., (eds.), La radiación ultravioleta en Bolivia, *OPS & LFA-IIF-UMSA*

F-1	Estación del aeropuerto internacional de El Alto. El Alto international airport station.	21
F-2	Número de datos diarios disponibles de precipitación, temperatura mínima y máxima en función del tiempo. Number of available daily data of precipitation, minimum and maximum temperatures a function of time.	23
F-3	Estaciones vecinas. Neighboring stations.	34
F-4	Verificación de datos. Data verification.	35
F-5	Distribuciones típicas de probabilidad de datos diarios de temperatura y precipitación. Typical probability distributions of daily temperature and precipitation.	39
F-6	Distribución de días secos consecutivos para la estación El Belén. Distribution of consecutive dry for <i>El Belén</i> weather station.	43
F-7	La compleja topografía de la región que rodea el Altiplano es representada en estas transectas. The complex topography of the region surrounding the Altiplano is depicted in these transects.	44
F-8	Histogramas de precipitación para cuatro estaciones representativas para la región de estudio. Histograms of precipitation for four stations representative of the study region.	58
F-9	Histogramas del número promedio de días consecutivos con (CRD*) y sin (CDD*) precipitación de cuatro sitios de observación representativas de la región de estudio para cada mes del año en el período 1981-2010. Histograms of the mean consecutive wet (CRD*) and dry (CDD*) days of four stations representative of the study region for each month of the year for the 1981-2010 period.	59
F-10	Días consecutivos con mucha precipitación para las temporadas húmeda y seca extendidas. Consecutive very wet days for the extended wet and dry seasons.	79
F-11	Comportamiento climatológico de la temperatura máxima. Climatological behavior of maximum temperature.	90
F-12	Comportamiento climatológico de la temperatura mínima. Climatological behavior of minimum temperature.	91
F-13	Eventos extremadamente largos de días cálidos consecutivos para verano, invierno, otoño y primavera. Events of extremely long consecutive warm days for summer, fall, winter and spring.	122
F-14	Eventos extremadamente largos de días fríos consecutivos para verano, invierno, otoño y primavera. Events of extremely long consecutive cold days for summer, fall, winter and spring.	130
F-15	Eventos extremadamente largos de noches frías consecutivas para verano, invierno, otoño y primavera. Events of extremely long consecutive cold nights for summer, fall, winter and spring.	140
F-16	Eventos extremadamente largos de noches cálidas consecutivas para verano, invierno, otoño y primavera. Events of extremely long consecutive warm nights for summer, fall, winter and spring.	148

TABLAS

TABLES

T-1	Lista de estaciones empleadas. List of used stations.	22
T-2	Hora de toma de datos, SENAMHI-Bolivia. Time of taking observations, SENAMHI-Bolivia.	23
T-3	Hora de toma de datos, AASANA-Bolivia. Time of taking observations, AASANA-Bolivia.	26
T-4	Hora de toma de datos, SENAMHI-Perú. Time of taking observations, SENAMHI-Peru.	28
T-5	Número de estaciones disponibles y válidas. Number of available and valid stations.	36
T-6	Definición de tiempos de observación. Definitions of time periods.	38
T-7	Índices de eventos extremos. Indices of extreme events.	48
T-8	Contribución de los días con mucha precipitación a la precipitación total por temporada extendida. Contribution of very wet days to total precipitation per extended season.	73

M-1	Ubicación de las estaciones utilizadas para producir mapas e índices climáticos y eventos extremos de tiempo. Location of the stations used for producing maps and indices for both climate and weather extreme events.	46
M-2	División política del área de estudio. Administrative division of the study region.	47
M-3	Topografía y curso de los principales ríos del área de estudio. Topography and drainage of the main rivers in the study region.	47
M-4	Precipitación promedio anual. Mean annual precipitation.	61
M-5	Precipitación acumulada promedio anual para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Mean annual accumulated precipitation corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	62
M-6	Como en M-5 pero para la temporada seca extendida. As in M-5 but for the extended dry season.	63
M-7	Precipitación promedio mensual en el período 1981-2010. Monthly mean precipitation for the 1981-2010 period.	64
M-8	Contribución (en %) de los días con precipitación a la precipitación total anual para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Contribution of wet days to the total annual precipitation per extended wet season for the 1981-2010 period.	66
M-9	Como en M-8 pero para la temporada seca extendida. As in M-8 but for the extended dry season.	66
M-10	Número promedio de días con precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Mean number of wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	67
M-11	Como en M-10 pero para la temporada seca extendida. As in M-10 but for the extended dry season.	67
M-12	Número promedio de días consecutivos con precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Mean number of consecutive wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	68
M-13	Como en M-12 pero para la temporada seca extendida. As in M-12 but for the extended dry season.	68
M-14	Número promedio de días consecutivos sin precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Mean number of consecutive dry days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	69
M-15	Como en M-14 pero para la temporada seca extendida. As in M-14 but for the extended dry season.	69
M-16	Número promedio de días con mucha precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Mean number of very wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	76
M-17	Como en M-16 pero para la temporada seca extendida. As in M-16 but for the extended dry season.	76
M-18	Períodos extremadamente largos de días consecutivos con precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Extremely long consecutive wet days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	77
M-19	Como en M-18 pero para la temporada seca extendida. As in M-18 but for the extended dry season.	77
M-20	Períodos extremadamente largos de días consecutivos sin precipitación para la temporada húmeda extendida en el período 1981-2010. Extremely long consecutive dry days corresponding to the extended wet season for the 1981-2010 period.	78
M-21	Como en M-20 pero para la temporada seca extendida. As in M-20 but for the extended dry season.	78
M-22	Temperatura máxima media anual. Mean annual maximum temperature.	93
M-23	Temperatura máxima promedio para verano (DJF) en el período 1981-2010. Mean maximum temperature in summer (DJF) for the 1981 to 2010 period.	94
M-24	Como en M-23 pero para otoño (MAM). As in M-23 but for fall (MAM).	94
M-25	Como en M-23 pero para invierno (JJA). As in M-23 but for winter (JJA).	95
M-26	Como en M-23 pero para primavera (SON). As in M-23 but for spring (SON).	95

M-27	Temperatura máxima promedio mensual para el período 1981-2010. Monthly mean maximum temperature for the 1981-2010 period.	96
M-28	Temperatura mínima media anual. Mean annual minimum temperature.	99
M-29	Temperatura mínima promedio para verano (DJF) para el período 1981-2010. Summer (DJF) mean minimum temperature for the 1981-2010 period.	100
M-30	Como en M-29 pero para otoño (MAM). As in M-29 but for fall (MAM).	100
M-31	Como en M-29 pero para invierno (JJA). As in M-29 but for winter (JJA).	101
M-32	Como en M-29 pero para primavera (SON). As in M-29 but for spring (SON).	101
M-33	Temperatura mínima promedio mensual para el período 1981-2010. Monthly mean minimum temperature for the 1981-2010 period.	102
M-34	Número promedio de días cálidos (TX90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of warm days (TX90p*) defined by the 90 th -percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	116
M-35	Como en M-34 pero para otoño (MAM). As in M-34 but for fall (MAM).	116
M-36	Como en M-34 pero para invierno (JJA). As in M-34 but for winter (JJA).	117
M-37	Como en M-34 pero para primavera (SON). As in M-34 but for spring (SON).	117
M-38	Número promedio de días cálidos consecutivos (CTX90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of consecutive warm days (CTX90p*) defined by the 90 th -percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	118
M-39	Como en M-38 pero para otoño (MAM). As in M-38 but for fall (MAM).	118
M-40	Como en M-38 pero para invierno (JJA). As in M-38 but for winter (JJA).	119
M-41	Como en M-38 pero para primavera (SON). As in M-38 but for spring (SON).	119
M-42	Período extremadamente largo de días cálidos consecutivos C(TX90p)95p definido por el percentil 95 de la distribución de días cálidos, TX>TX90p, consecutivos en verano (DJF). Extremely long consecutive warm days C(TX90p)95p defined by the 95 th -percentile of the distribution of consecutive warm, TX>TX90p, days in summer (DJF).	120
M-43	Como en M-42 pero para otoño (MAM). As in M-42 but for fall (MAM).	120
M-44	Como en M-42 pero para invierno (JJA). As in M-42 but for winter (JJA).	121
M-45	Como en M-42 pero para primavera (SON). As in M-42 but for spring (SON).	121
M-46	Número promedio de días fríos (TX10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of cold days (TX10p*) defined by the 10 th -percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	124
M-47	Como en M-46 pero para otoño (MAM). As in M-46 but for fall (MAM).	124
M-48	Como en M-46 pero para invierno (JJA). As in M-46 but for winter (JJA).	125
M-49	Como en M-46 pero para primavera (SON). As in M-46 but for spring (SON).	125
M-50	Número promedio de días fríos consecutivos (CTX10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura máxima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of cold consecutive days (CTX10p*) defined by the 10 th -percentile of maximum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	126

M-51	Como en M-50 pero para otoño (MAM). As in M-50 but for fall (MAM).	126
M-52	Como en M-50 pero para invierno (JJA). As in M-50 but for winter (JJA).	127
M-53	Como en M-50 pero para primavera (SON). As in M-50 but for spring (SON).	127
M-54	Período extremadamente largo de días fríos consecutivos C(TX10p)95p definido por el percentil 95 de la distribución de días fríos, TX<TX10p, consecutivos en verano (DJF). Extremely long consecutive cold days C(TX10p)95p defined by the 95 th percentile of the distribution of consecutive warm days, TX<TX10p, in summer (DJF).	128
M-55	Como en M-54 pero para otoño (MAM). As in M-54 but for fall (MAM).	128
M-56	Como en M-54 pero para invierno (JJA). As in M-54 but for winter (JJA).	129
M-57	Como en M-54 pero para primavera (SON). As in M-54 but for spring (SON).	129
M-58	Número promedio de días con helada (TN<0°C) para verano (DJF) en el período 1981-2010. Summer (DJF) mean number of frost days (TN<0°C) for the 1981-2010 period.	132
M-59	Como en M-58 pero para otoño (MAM). As in M-58 but for fall (MAM).	132
M-60	Como en M-58 pero para invierno (JJA). As in M-58 but for winter (JJA).	133
M-61	Como en M-58 pero para primavera (SON). As in M-58 but for spring (SON).	133
M-62	Número promedio de noches frías (TN10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of cold nights (TN10p*) defined by the 10 th -percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	134
M-63	Como en M-62 pero para otoño (MAM). As in M-62 but for fall (MAM).	134
M-64	Como en M-62 pero para invierno (JJA). As in M-62 but for winter (JJA).	135
M-65	Como en M-62 pero para primavera (SON). As in M-62 but for spring (SON).	135
M-66	Número promedio de noches frías consecutivas (CTN10p*) definido por el percentil 10 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of consecutive cold nights (CTN10p*) defined by the 10 th -percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	136
M-67	Como en M-66 pero para otoño (MAM). As in M-66 but for fall (MAM).	136
M-68	Como en M-66 pero para invierno (JJA). As in M-66 but for winter (JJA).	137
M-69	Como en M-66 pero para primavera (SON). As in M-66 but for spring (SON).	137
M-70	Período extremadamente largo de noches frías consecutivas C(TN10p)95p definido por el percentil 95 de la distribución de noches frías TN<TN10p, consecutivos en verano (DJF). Extremely long consecutive cold nights C(TN10p)95p defined by the 95 th -percentile of the distribution of consecutive cold, TN<TN10p, nights in summer (DJF).	138
M-71	Como en M-70 pero para otoño (MAM). As in M-70 but for fall (MAM).	138
M-72	Como en M-70 pero para invierno (JJA). As in M-70 but for winter (JJA).	139
M-73	Como en M-70 pero para primavera (SON). As in M-70 but for spring (SON).	139
M-74	Número promedio de noches cálidas (TN90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of cold nights (TN90p*) defined by the 90 th -percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	142
M-75	Como en M-74 pero para otoño (MAM). As in M-74 but for fall (MAM).	142

M-76	Como en M-74 pero para invierno (JJA). As in M-74 but for winter (JJA).	143
M-77	Como en M-74 pero para primavera (SON). As in M-74 but for spring (SON).	143
M-78	Número promedio de noches cálidas consecutivas (CTN90p*) definido por el percentil 90 de la temperatura mínima de verano (DJF) en el período 1981-2010. Average number of cold consecutive nights (CTN90p*) defined by the 90 th -percentile of minimum temperature in summer (DJF) during the 1981-2010 period.	144
M-79	Como en M-78 pero para otoño (MAM). As in M-78 but for fall (MAM).	144
M-80	Como en M-78 pero para invierno (JJA). As in M-78 but for winter (JJA).	145
M-81	Como en M-78 pero para primavera (SON). As in M-78 but for spring (SON).	145
M-82	Período extremadamente largo de noches cálidas consecutivas C(TN90p)95p definidas por el percentil 95 de la distribución de noches cálidas, TN>TN90p, consecutivos en verano (DJF). Extremely long consecutive cold nights C(TN90p)95p defined by the 95 th -percentile of the distribution of consecutive cold nights, TN>TN90p, in summer (DJF).	146
M-83	Como en M-82 pero para otoño (MAM). As in M-82 but for fall (MMA).	146
M-84	Como en M-82 pero para invierno (JJA). As in M-82 but for winter (JJA).	147
M-85	Como en M-82 pero para primavera (SON). As in M-82 but for spring (SON).	147
M-86	Promedio anual del rango de temperatura diurna (1981-2010). Mean annual diurnal temperature range (1981-2010).	153
M-87	Rango de temperatura diurna promedio para verano (DJF) en el período 1981-2010. Summer (DJF) mean annual diurnal temperature range for the 1981-2010 period.	154
M-88	Como en M-87 pero para otoño (MAM). As in M-87 but for fall (MAM).	154
M-89	Como en M-87 pero para invierno (JJA). As in M-87 but for winter (JJA).	155
M-90	Como en M-87 pero para primavera (SON). As in M-87 but for spring (SON).	155

FOTÓGRAFOS

PHOTOGRAPHERS

CC	César Cornejo	MA	Marcos Andrade
E CH	Edith Chino	MR	Manuel Roca
IM	Isabel Moreno	RC	Radoslaw Czajkowski
JC	Juan Calle	RD	Renny Diaz
KY	Karina Yager	SB	Sebastian Blein
LP	Luis Pacheco	SH	Stefan Hunziker
LT	Laura Ticona		

AASANA	Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea.
CCI	Climate Change Indexes.
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research.
CHIRP	Climate Hazards group InfraRed Precipitation.
CIMO	Commission for Instruments and Methods of Observation.
CLIVAR	Climate Variability and Predictability.
CRD	Climate Research Division.
CSI	Consortium for Spatial Information.
DECADE	Data on climate and Extreme weather for the Central AnDEs.
DEM	Digital Elevation Model.
DTR	Diurnal Temperature Range.
ERA	European ReAnalysis.
ETCCDI	Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices.
FNL	Final Operational Analysis.
GCMs	Global Circulation Models.
GFS	Global Forecasting System.
GHCN	The Global Historical Climatology Network.
IDW	Inverse Distance Weighting.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
IVT	Integrated horizontal water Vapor Transport.
JCOMM	Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology.
LAM	Limited Area Model.
LST	Land Surface Temperature.
masl	metres above sea level.
METAR	METeorological Aerodrome Report.
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
msnm	metros sobre el nivel del mar.
NASA	National Aeronautics and Space Administration.
OMM	Organización Mundial de Meteorología.
PNS	Parque Nacional Sajama.
PPCR	Pilot Program for Climate Resilience.
QC	Quality Control.
RIDW	Residual Inverse Distance Weighting.
RMSE	Root Mean Square Error.
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
SNFS	Swiss National Science Foundation.
SPI	Standardized Precipitation Index.
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission.
SRTM30	Shuttle Radar Topography Mission of 30 meter resolution.
SRTM90	Shuttle Radar Topography Mission of 90 meter resolution.
USAID	United States Agency for International Development.
USGS	United States Geological Survey.
UTC	Coordinated Universal Time.
WGS84	World Geodetic System 84.
WMO	World Meteorological Organization.
WRF	Weather Research and Forecasting.