



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**

**EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN
CHILE: PROYECCIONES PARA FINES DEL SIGLO XXI**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA**

CLAUDIA PAOLA VILLARROEL JIMÉNEZ

**PROFESOR GUÍA:
PATRICIO ACEITUNO GUTIERREZ**

**PROFESOR CO-GUÍA:
MARÍA HELOÍSA ROJAS CORRADI**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HUMBERTO FUENZALIDA PONCE
ALDO MONTECINOS GULA**

**SANTIAGO DE CHILE
2013**

RESUMEN

Se analizan los indicadores climáticos extremos de precipitación y temperatura propuestos por el *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI), a partir de series diarias de temperaturas extremas y precipitación en 17 puntos a lo largo de Chile, correspondientes al periodo 1961-1990. Con el fin de proyectar su comportamiento para fines del siglo XXI, se realizaron simulaciones bajo el escenario futuro SRES A2 del modelo regional climático PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) para 1961-1990 y 2071-2100. Se calcularon los indicadores ya mencionados para cada uno de los dos periodos de 30 años. Del análisis de los datos de temperaturas extremas diarias y precipitación diaria generados en las simulaciones de PRECIS, se concluyó que el modelo reproduce adecuadamente en todas las estaciones, el ciclo anual y la distribución de frecuencias de las temperaturas extremas, pero revelando subestimaciones de los valores medios mensuales en la región norte y sobrestimaciones de los mismos en la región central y sur. En relación a la precipitación, PRECIS en general la subestima, logrando reproducir en forma satisfactoria el ciclo anual sólo en la región entre 30°S y 41°S.

Este estudio y otros recientes muestran que la temperatura mínima diaria aumentó significativamente en el periodo 1961-1990, entre los 18°S y 40°S. Por otra parte, se observó un incremento significativo en el porcentaje de días al año cuando la temperatura máxima sobrepasa el percentil 90% (noches cálidas), en el número de días con temperatura máxima por sobre los 25°C (días de verano) y en la frecuencia de días con temperatura mínima superior a 20°C (noches tropicales), mientras que los indicadores de extremos fríos disminuyeron su frecuencia. Asimismo, en un porcentaje importante de indicadores se observa que la tendencia cambia al considerar un periodo más extenso (1961-2010), demostrando que la variabilidad decadal incide significativamente en las tendencias climáticas, lo que conlleva a incertidumbre en la interpretación futura.

Con esto, para fines del siglo XXI, se proyecta un aumento en los valores medios de temperatura sin cambios significativos en la varianza, por lo que se concluye que los eventos anormalmente cálidos (fríos) serán más (menos) frecuentes. En la región norte del país los cambios más significativos son: una disminución de la amplitud térmica diaria, aumento en la temperatura mínima más alta del año, incremento de las noches cálidas y días cálidos (igual a las noches cálidas pero para la temperatura máxima), y decrecimiento en igual orden de magnitud de la frecuencia de noches frías y días fríos (porcentaje del número de días inferior al percentil 10%, para la temperatura mínima y máxima, respectivamente). Las noches tropicales y días de verano se incrementarán significativamente. En la zona central entre 29°S – 33°S, los cambios más notables ocurrirán en la región adyacente a la cordillera. La temperatura mínima y máxima aumentan en el futuro, pero ésta última lo hace a una tasa mayor, lo que implica un crecimiento de la amplitud térmica diaria. Aumentará la frecuencia de periodos anormalmente cálidos ($T_{\max} > 32^{\circ}\text{S}$) y disminuirá la frecuencia de heladas ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) y en particular las más intensas ($T_{\min} < -2^{\circ}\text{C}$) desaparecerán casi por completo. En relación a la precipitación en esta región, se proyecta una disminución del total anual aunque no en una forma significativa. En la región sur (37°S - 42°S), la frecuencia de noches tropicales aumentará en al menos 2 eventos por año. Respecto de la precipitación en esta región, se proyecta una disminución significativa para fines del siglo XXI. Finalmente, en la región austral (43°S – 53°S), los cambios más importantes están asociados a los indicadores de la temperatura máxima, como un aumento significativo de los días cálidos. Aquí, la precipitación disminuye sólo en la parte norte, mientras que hacia el sur se espera un incremento en la frecuencia precipitación diaria superior a 10 mm.

Se destaca la importancia de este estudio en cuanto a poner en evidencia los cambios actuales y la proyección futura de los eventos extremos de precipitación y temperatura en el país, para apoyar la realización de estudios de impactos en las diversas áreas socioeconómicas.

AGRADECIMIENTOS

Por fin veo concretado un anhelo, una meta, una ambición que hace mucho tiempo había soñado. El esfuerzo no es solo mío, tuve que privar de horas preciadas a mi familia, a mis hijos Vicente y Renato y la comprensión de mi esposo Sergio. Este trabajo se los dedico a ellos y a mis padres, Elsa y Luis a mis hermosas hermanas Lorena, Andrea y Pamela y a mis abuelos Humberto (Q.D.E.P.) y Elsa.

Agradezco de forma especial a mi profesor Patricio Aceituno, quien confió en mis desde mis inicios como estudiante y que me apoya hasta hoy. Mi profesora co-guía, Maisa Rojas, que por el hecho de ser madre, mujer y profesional me dio el enfoque y las fuerzas para terminar este objetivo. También quiero agradecer a todos los integrantes del Departamento de Geofísica antiguos y nuevos, profesores y administrativos, que siempre se vieron dispuestos ayudarme en lo que necesitara.

Agradezco a todos mis compañeros de curso por los buenos momentos que vivimos juntos, a mis amigos que me apoyaron con una palabra de aliento, una sonrisa.

Por último, agradezco a los miembros de la comisión, que son personas a las que admiro mucho, Aldo Montecinos y Don Humberto Fuenzalida, por las correcciones de este trabajo y sus aportes en el enriquecimiento de esta tesis. Finalmente, agradecer el financiamiento de parte del Proyecto ACT-19 de PBCT-CONICYT y del Proyecto FONDECYT N° 1100657.

Tabla de Contenido	<i>Página</i>
Resumen	2
Agradecimientos	3
Capítulo I: Presentación	
1.1 Introducción.	6
1.2 Hipótesis de trabajo y Objetivos.	
1.2.1 Hipótesis	7
1.2.2 Objetivos	8
Capítulo II: Aspectos Generales de Tendencias y Cambios en los Eventos Climáticos Extremos: Observaciones, Impactos y Proyecciones Futuras.	
2.1 Antecedentes Generales	9
2.2 Evidencias de cambios en eventos extremos de temperatura y precipitación en Sudamérica	10
2.2.1 Indicadores asociados a las temperaturas extremas	11
2.2.2 Indicadores asociados a la precipitación.	12
2.2.3 Relación con otros mecanismos.	14
2.3 Proyecciones Futuras.	14
2.4 Descripción del modelo regional PRECIS	15
Capítulo III: Área de estudio, datos y metodología	
3.1 Área de estudio.	19
3.2 Datos y Métodos.	
3.2.1 Datos.	24
3.2.2 Métodos	
3.2.2.1 Relleno de series	25
3.2.2.2 Control de Calidad.	25
3.2.2.3 Homogenización.	26
3.2.2.4 Cálculo de los ICE	27
3.2.2.5 Verificación con observaciones.	31
3.2.2.6 Otros métodos estadísticos	31
Capítulo IV: Resultados.	
4.1 Análisis del modelo PRECIS para simular eventos climáticos extremos de temperatura y precipitación en Chile.	34
4.1.1 Análisis estadísticos de la temperatura máxima mínima y precipitación.	
4.1.1.1 Región Norte	34
4.1.1.2 Región Centro	41
4.1.1.3 Región Sur	49
4.1.1.4 Región Austral	56
4.1.2 Diagnóstico de las tendencias de los indicadores de eventos extremos climáticos en el clima actual (1961-1990).	
4.1.2.1 Indicadores asociados a TN observada	61
4.1.2.2 Indicadores asociados a TX observada	65
4.1.2.3 Otros indicadores asociados a temperaturas	67

4.1.2.4	Indicadores asociados a la precipitación	69
4.1.3	Selección de indicadores de cambio climático para Chile	71
4.2	Simulación de los eventos climáticos extremos proyectados para fines del siglo XXI en Chile.	
4.2.1	Análisis de los cambios futuros de ICE en la región norte.	74
4.2.2	Análisis de los cambios futuros de ICE en la región centro	80
4.2.3	Análisis de los cambios futuros de ICE en la región sur	88
4.2.4	Análisis de los cambios futuros de ICE en la región austral	95
Capítulo V: Discusión y Conclusiones.		
5.1	Creación de la base de datos.	103
5.2	Verificación del modelo regional climático PRECIS.	103
5.3	Diagnóstico de las tendencias de los ICE en el clima actual.	105
5.4	Proyecciones de los ICE para fines del siglo XXI.	106
Bibliografía.		109
Anexos.		111
Apéndice A: Lista de abreviaturas		141

Capítulo I

PRESENTACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN.

El tema del cambio climático ha pasado de ser un problema estrictamente científico a interesar a esferas socioeconómicas y políticas. Los gobiernos requieren diagnósticos y proyecciones futuras para poder adaptarse al nuevo desafío que enfrentan y que en alguna medida se está viviendo hoy. La escasez de agua y de alimentos y los cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos es la principal incertidumbre. En el último reporte del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Climate Change, 2007) se estima que la temperatura media de superficie ascenderá en $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ durante el presente siglo, además se alerta que este calentamiento podría ser a causa de cambios en los eventos extremos según las proyecciones a nivel global y por tanto, deriva en un profundo impacto en la sociedad y el ambiente natural.

Los eventos climáticos extremos se pueden dividir en dos grupos: i) aquellos eventos extremos tales como, temperaturas por sobre o bajo un umbral, precipitación más o menos intensa o más o menos frecuente, y ii) eventos extremos que tienen un mayor impacto socioeconómico como sequías, huracanes, inundaciones, etc., pero con un insuficiente registro para poder ser evaluados. En este estudio nos enfocaremos a analizar el primer punto, ya que la complejidad del segundo hace que sea difícil obtener estadísticas confiables de largo plazo acerca de la ocurrencia de estos eventos extremos.

Numerosos estudios muestran que a nivel global, el aumento es más intenso en la temperatura mínima que en la máxima, consecuentemente, se observa una disminución en el rango diurno de temperatura. Específicamente, los extremos de la distribución de temperaturas presentan cambios significativos, las noches cálidas (TN90p: porcentaje de días con temperaturas por encima del percentil 90%) están aumentando a una razón de 1.43 ± 0.42 días entre el periodo 1951-2003, y en las últimas décadas (1979-2003) la pendiente se duplica. Con relación a la precipitación, ha incrementado en latitudes medias y altas, pero decrecido en los trópicos y subtropicos (Climate Change, 2007; Alexander et. al., 2006; Frich et. al., 2002; Bonsal, et. al., 2001, Vincent et. al., 2005; Aguilar et. al., 2005, Haylock et. al 2005; Klein Tank et. al, 2006).

En Chile, los cambios de la temperaturas máxima y mínima son coherentes con los mostrados a escala global, es decir, tendencias positivas en la frecuencia de los extremos cálidos y una disminución en la frecuencia de los extremos fríos (Vincent et. al., 2005; Villarroel et. al., 2006). Sin embargo, las tendencias son significativamente distintas a lo largo y ancho de Chile, acusando un carácter regional (Villarroel et. al., 2006; Falvey and Garreaud, 2009). El régimen de lluvias muestra una tendencia negativa a escala secular (1900-2000) en Chile Central (Quintana y Aceituno, 2011), pero ambas variables temperaturas y precipitación tienen una marcada característica interdecadal, principalmente en el año de cambio de régimen 1976-77 (Peterson et. al., 2010) que juega un rol fundamental en la determinación de la pendiente y los cambios de frecuencia (Quintana y Aceituno, 2011; Villarroel et. al., 2006).

No obstante, este marcado carácter regional hace insuficiente la información provista de modelos climáticos globales debido a la insuficiente resolución espacial y además existe con una importante carencia de datos diarios que hace aún más compleja la tarea de obtener una perspectiva general del clima actual en relación a los eventos extremos en Chile. Aun mayor es el grado de incertidumbre en relación a la proyección de estos eventos extremos a fines de siglo bajo un escenario de cambio climático.

En este estudio se analizan los indicadores de eventos extremos de precipitación y temperaturas (ICE) para monitorear impactos del cambio climático recomendados por el *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI, <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>) de la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCM) y el Programa *Climate Variability and Predictability* (CLIVAR). El estudio se realiza en tres principales etapas. La primera de ellas desarrolla un diagnóstico de las tendencias de los ICE para el periodo 1961-1990, en 17 estaciones a lo largo de Chile. Luego, se utilizan las salidas del modelo regional climático PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) alimentado por el modelo global acoplado HadCM3, para obtener una enfoque regionalizado del comportamiento de los ICE para la condición línea base del periodo 1961-1990, denominado “clima actual”. Como última etapa, se proyecta a futuro los cambios de los ICE más significativos bajo un escenario de cambio climático extremo SRES A2 (*Special Report on Emissions Scenarios*), utilizando la simulación de PRECIS para el periodo 2071-2100, denominado “clima futuro”.

La estructura de la tesis se presenta como sigue: en el capítulo I se plantea la hipótesis y los objetivos. El capítulo II se refiere acerca de los aspectos generales de las tendencias y proyecciones de los eventos extremos. El lugar geográfico, datos y metodología empleada se discuten en el capítulo III. El capítulo IV se analizan los resultados en orden de, realizar un diagnóstico de los ICE observados, la habilidad del modelo regional y las proyecciones futuras de los ICE más significativos y relevantes. Finalmente, la discusión y conclusiones se presentan en el capítulo V.

1.2 HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.

1.2.1 Hipótesis.

La hipótesis se sustenta de las siguientes afirmaciones:

- a) Se observan tendencias significativas en los indicadores climáticos de eventos extremos (ICE) en el clima actual,
- b) Un aporte importante a la tendencia son los cambios en las distribuciones empíricas de temperaturas extremas y precipitación en el periodo 1961-1990.
- c) Los modelos climáticos globales no son capaces de capturar los cambios regionales de los ICE en Chile, por lo tanto, es necesario utilizar un modelo regional climático,

- d) El modelo regional climático PRECIS, representa apropiadamente los cambios en los parámetros estadísticos y tendencias de los ICE en el clima actual,
- e) Con esto, la proyección a futuro (2071-2100) bajo un escenario de cambio climático severo SRES A2, manifestarían cambios en las distribuciones empíricas y campos espaciales de los índices climáticos extremos.

La verificación de la hipótesis permitirá, por una parte, poner en conocimiento los cambios y tendencias de los eventos extremos que están ocurriendo en Chile, así como también obtener un enfoque futuro de la proyección de estos indicadores en un escenario plausible de cambio climático extremo por efecto antropogénico.

1.2.2 Objetivos.

Objetivo General:

El presente estudio tiene por objetivo general analizar y comparar los cambios en las distribuciones y tendencias de los indicadores de eventos extremos (ICE) en el clima actual (1961-1990) y futuro (2071-2100), bajo un escenario de cambio climático severo SRES A2.

Objetivos Específicos:

- a) Verificar la habilidad del modelo regional climático PRECIS en simular el ciclo anual, la distribución empírica de las series observadas de precipitación y temperaturas extremas, así como también, comparar, los valores de la tendencia de los ICE en el clima actual.
- b) Obtener un diagnóstico de las tendencias y distribuciones de los ICE en las observaciones del periodo 1961-1990. Para lograr este objetivo se confecciona una base de datos con control de calidad y homogenizada.
- c) Obtener mediante la simulación PRECIS los indicadores significativos para el clima futuro 2071-2100 bajo un escenario de cambio climático SRES A2 y contrastarlos con la simulación de línea base 1961-1990 o “clima actual”.

Cabe destacar, que este estudio no desarrolla explicaciones físicas y dinámicas de los cambios en eventos extremos climáticos en Chile, sino que evalúa la capacidad del modelo PRECIS en simular los eventos extremos. Se describe la magnitud de los cambios futuros en la frecuencia e intensidad en condiciones de cambio climático, y así proveer de información futura regional detallada de utilidad para evaluar impactos en la agricultura, recursos de agua y sistemas socioeconómicos- ecológicos en Chile.

Capítulo II

ASPECTOS GENERALES DE LAS TENDENCIAS Y CAMBIOS EN LOS EVENTOS CLIMATICOS EXTREMOS: OBSERVACIONES, IMPACTOS Y PROYECCIONES FUTURAS.

2.1 ANTECEDENTES GENERALES.

Los eventos extremos del tiempo y clima influyen en la sociedad y ecosistemas no sólo causando condiciones adversas, como inundaciones, sequías, periodos cálidos-fríos. También puede haber beneficios como por ejemplo, un evento de precipitación con una frecuencia muy baja que se presente en zonas áridas como el desierto de Atacama, contribuye a que numerosas especies bióticas tengan vida gracias a este inusual evento. Los efectos de los cambios de extremos en frecuencia y/o intensidad tienen diversas consecuencias y la relación entre la sociedad humana (enfermedades, plagas, etc.), ecosistemas naturales, animales domésticos, no es lineal, ya que dependen de la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos que contribuyen a la severidad del impacto. En resumen, el impacto en la sociedad y ecosistemas puede ser debido a cambios en el sistema climático (incluyendo cambios naturales y antropogénicos) o debido a cambios en la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas (Meehl et. al., 2000, Easterling et. al., 2000). Por este motivo, en la última década los estudios se han focalizado en describir los cambios de los eventos extremos del tiempo, principalmente desde una perspectiva estadística y de cambio global climático que influyen en el comportamiento de las tendencias y cambios de eventos extremos de precipitación y temperaturas. Algunos de los puntos más importantes según el IPCC (Trenberth et. al., 2007), son los siguientes:

- La temperatura media global aumentó a razón de $0.74^{\circ}\text{C}\pm 0.18^{\circ}\text{C}$ en los últimos 100 años (1906-2005) y que en los últimos 50 años la tasa de calentamiento aumentó al doble. Sobre continentes aumenta el doble que sobre océanos desde 1979, principalmente en el periodo estival y otoño. Sin embargo, en la últimas dos décadas numerosos estudios locales evidencian una detención de este aumento de temperatura e incluso en algunas áreas las tendencias se han revertido (Falvey and Garreaud, 2009; Villarroya et. al, 2006; Schulz et. al. 2011).
- Cambios en los extremos de temperaturas son consistentes con el calentamiento del clima: una reducción del número de días con heladas (FD0) en latitudes medias, un incremento en el número de extremos cálidos y una reducción de los extremos fríos. Los más importantes cambios son las noches frías (TN10p: porcentaje de días menores que el percentil 10%) que son poco frecuentes en las últimas décadas en comparación con el periodo 1961-1990, mientras que las noches cálidas (TN90p) tienen a ser más frecuentes. Consistentemente, se observa un decrecimiento del rango diurno de temperatura (DTR) de $0.07^{\circ}\text{C}/\text{década}$, en el periodo 1950-2004, con un ligero cambio en la tendencia en el periodo 1979-2004.
- Aumentos en temperatura superficial del mar (SST) son evidentes en todas las latitudes. Particularmente en el océano Pacífico, la causa se debería a un aumento de eventos de El Niño y la fase positiva de la variabilidad decadal del Pacífico (PDO). No obstante, la última década comienza nuevamente el predominio de la fase negativa del PDO (<http://jisao.washington.edu/pdo/>) y por lo tanto, estas características determinan las diferencias en las tendencias regionales que afectan la circulación atmosférica.

- El efecto de isla calórica es real, pero local. El efecto de urbanización y de cambio de uso de suelo aportan a la tendencia de las series de temperatura en $0.006^{\circ}\text{C}/\text{década}$. El efecto aunque débil, influye además en la precipitación, nubes y en la amplitud térmica diaria (DTR).
- Cambios en la cobertura nubosa son dominadas por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y opuestas entre tierra y océano. En gran parte de globo se reconoce un decrecimiento del DTR que podría estar asociado a un aumento de la cantidad de nubosidad. Sin embargo, información de satélites y observaciones discrepan en los cambios de nubes en niveles bajos.
- El patrón que domina en la variabilidad interanual es el ENSO. El salto climático de 1976-1977 relacionado con el cambio de fase de la PDO se asocia con eventos de El Niño más frecuentes en las últimas décadas.
- En latitudes medias, los vientos del oeste incrementan su intensidad en ambos hemisferios. Los cambios en la circulación atmosférica asociadas con el modo anular antártico (AAO) se relacionan con una intensificación y desplazamiento hacia el polo de los vientos zonales del oeste entre 1961-1990. En el largo plazo, el AAO incrementa desde 1960 y estaría relacionado con un aumento de las temperaturas sobre la Península Antártica.

Estas evidencias en el contexto global indican que los patrones de cambios de extremos climáticos son consistentes con un calentamiento general, pero con fuertes discrepancias regionales. Por consiguiente, se realiza una recolección de las evidencias de tendencias y cambios observacionales de precipitación y temperaturas en Sudamérica, en particular Chile, su proyección futura y los impactos asociados a los eventos extremos.

2.2 EVIDENCIAS DE CAMBIOS EN EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURAS Y PRECIPITACIÓN EN SUDAMÉRICA.

Desde hace más de tres décadas que se han analizado las tendencias de las temperaturas extremas y precipitación a fin de obtener una visión general de su comportamiento espacial-temporal y su relación con el cambio climático. Sin embargo, sólo en la última década se ha puesto énfasis en los eventos extremos con resolución temporal diaria, debido quizás a que no se contaba con una cobertura espacial adecuada de datos diarios y/o a que la sociedad se ha vuelto más vulnerable a estos eventos. En Sudamérica, aún existe un déficit de información relacionada con los eventos extremos, pero motivados por reuniones de trabajo (Manton et. al., 2001; Aguilar et. al., 2005; Vincent, et. al., 2005; Haylock et. al., 2006), y recientemente con la ayuda de observaciones y modelos grillados (Donat et. al., 2012) se ha logrado obtener conclusiones acerca de cómo está cambiado los indicadores en Sudamérica. En general, se observa un patrón general de comportamiento espacial con la temperatura mínima (TN) y los indicadores asociados a ella. Otros en cambio, muestran diferencias regionales importantes (Norte-Sur de Sudamérica, Este-Oeste de la cordillera de Los Andes), sobre todo los vinculados a los indicadores de precipitación y en menor medida a los de temperatura máxima (TX). A continuación se mencionan resultados de aquellos trabajos previos en relación a los indicadores de temperaturas y precipitación.

2.2.1 Indicadores asociados a la temperatura:

Las tendencias de temperatura mínima muestran una coherencia espacial uniforme variando entre 2°C y 4°C en 100 años (Rusticucci and Barrucand, 2004; Vincent, et. al 2005; Villarroel et. al, 2006). La mayoría de las estaciones del lado Este de la cordillera de Los Andes (Argentina) presenta cambios más significativos en verano (DEF) y otoño (MAM) (Rusticucci and Barrucand, 2004, Vincent et. al 2005). Las noches cálidas (TN90p) incrementan a una razón de 2% a 6% de días por década (Fig. 1), superior a las noches frías (TN10p) decrecen a una razón menor (1% a 3% días por década) (Vincent et. al., 2005, Villarroel et. al 2006; Rusticucci and Barrucand, 2004; Danton, et. al., 2012). En la zona norte de Chile y sur de Perú las noches frías decrecen en aproximadamente 15 días/década, magnitudes similares son detectadas en los extremos cálidos pero con tendencias positivas (Fig. 1) (Villarroel et. al., 2006; Vincent et. al., 2005; Danton, 2012). Sin embargo, la zona costera del norte Chile (17°- 27°S), las tendencias de temperaturas dejan de ser significativas en el periodo 1979-2006 e incluso se ha observado con datos grillados en superficie y altura que existe un fuerte contraste entre un enfriamiento en la costa (-0.2°C/década) y un calentamiento en los valles al oeste de la cordillera de Los Andes (+0.25°C/década) (Falvey y Garreaud, 2009).

El mayor aumento en la temperatura mínima que en la máxima produce un decrecimiento en el rango diurno de temperatura (DTR), en Colombia, Venezuela y norte de Chile el 90% de las estaciones presenta este rasgo en el periodo 1961-1990 (Quintana-Gómez, 1999; Villarroel et. al., 2006). Una posibilidad puede ser el incremento en la cobertura nubosa en áreas montañosas producto de una mayor tasa de evaporación (Karl et. al., 1993b) y en zonas costeras el efecto antropogénico podría perturbar la cobertura estratocúmulos al lado oeste de la cordillera de Los Andes (Huneeus et. al., 2006). La estructura vertical de la atmósfera alrededor de Valparaíso (33°S) muestran un enfriamiento cerca de la superficie y un calentamiento alrededor de 1300 m., alrededor de la altura de la capa límite (Boisier y Aceituno, 2006). Las diferencias en Los Andes y la costa es una manifestación de una fuerte estratificación vertical al oeste de la cordillera de Los Andes (Falvey y Garreaud, 2009). Otros indicadores como los extremos máximos y mínimos de las temperaturas extremas observadas, como TXx, TXn, TNx, TNn, muestran incrementos generalizados entre 0.2 – 0.3 (°C/década), en la región de Sudamérica, pero con importantes discrepancias regionales.

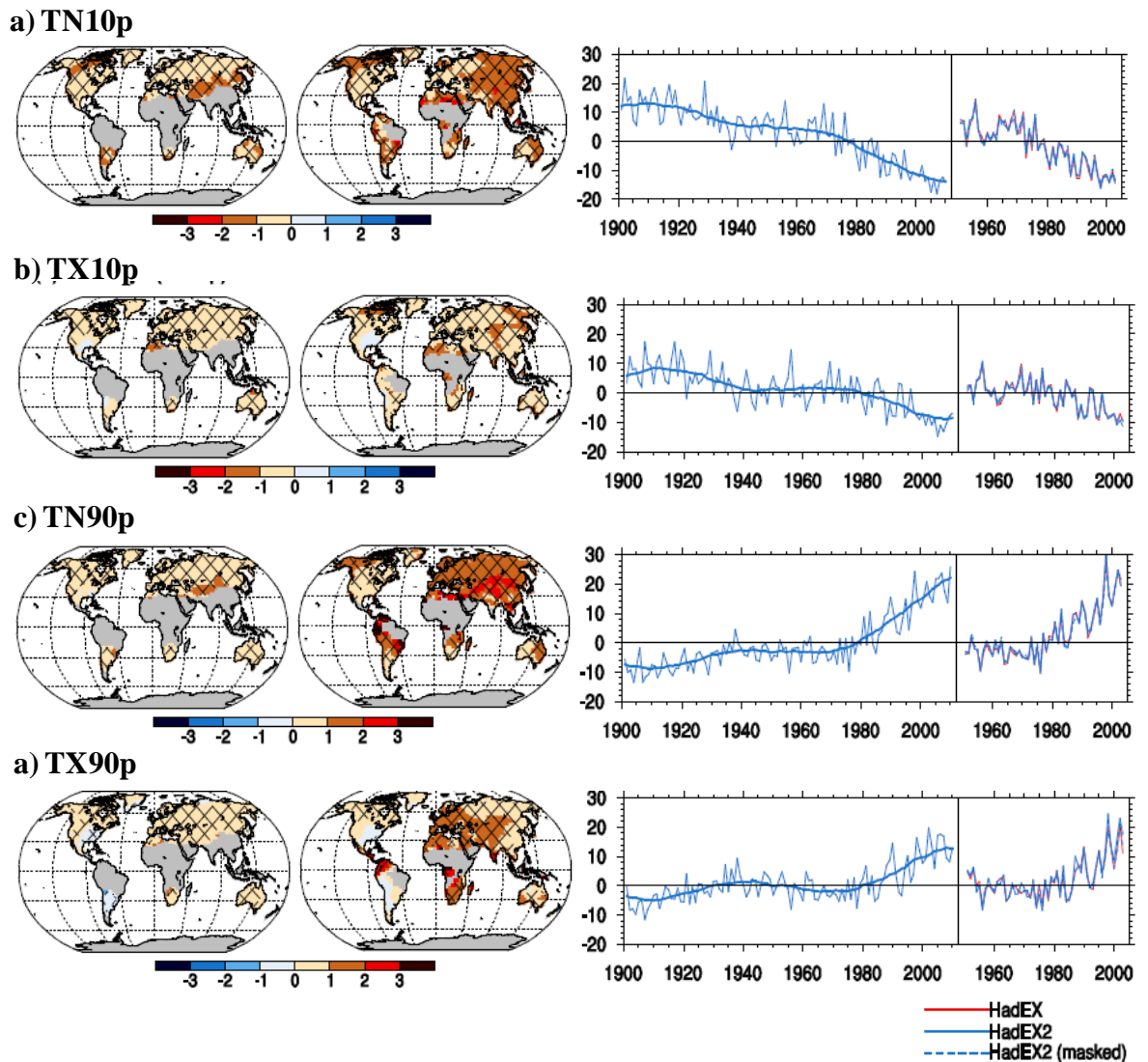


Fig. 1: Tendencias (en días anuales por década) para las series de percentiles de indicadores de temperatura para el periodo 1901-2010 (izquierda) y 1951-2010 (medio) para las noches frías (TN10p), noches cálidas (TN90p), días fríos (TX10p), y días cálidos (TX90p). Las cruces indican regiones donde las tendencias son significativas al 5% de nivel. Los paneles de la derecha muestran las anomalías anuales (en días por año) para los mismos indicadores relativos al periodo 1961-1990 para el HadEX2 (línea azul) sobre el periodo 1901-2010, y una comparación con HadEX (línea roja delgada) para el periodo 1951-2003 (Danton, et. al., 2012).

2.2.2 Indicadores asociados a la Precipitación.

La coherencia espacial de los indicadores de precipitación en Sudamérica es menor comparada con los indicadores asociados a la temperatura. Se observan con patrones mezclados entre tendencias positivas y negativas de las estaciones individuales (Fig. 2) (Danton et. al., 2012). En el norte de Sudamérica la precipitación aumenta a razón de 8.7 mm por década, también aumenta la intensidad de la precipitación (SDII) y el número de días lluviosos (Aguilar

et. al, 2005). Al sur de Sudamérica, 12 indicadores de precipitación analizados, a excepción de CDD (número de días consecutivos secos), muestran tendencias a condiciones más húmedas. Sin embargo, en contraste a este patrón, en el sur de Perú, Chile y suroeste de Argentina, se observa una disminución significativa en la precipitación total y de la frecuencia de eventos extremos de precipitación moderada y fuerte (R10mm y R20mm, respectivamente). La intensidad máxima en un día (Rx1) y cinco días consecutivos con precipitación (Rx5), no muestran una buena coherencia espacial en Sudamérica, particularmente en Chile y el área central de Perú, la señal es opuesta a la precipitación total anual (PrcpTOT) (Haylock et. al., 2006). Específicamente en Chile, el régimen anual entre 30° y 35°S muestra una persistente tendencia negativa desde comienzos del siglo XX hasta mediados de los años 70', seguidos por un significativo incremento en los años 80'. En la porción sur de Chile (37°- 43°S) se observa una disminución de la cantidad de precipitación desde los años 50' y un decrecimiento en la frecuencia de eventos de precipitación diaria. Por consiguiente, se obtiene una declinación en la intensidad de la precipitación hasta los años 90' (Quintana y Aceituno, 2011). Esto concuerda con lo observado en la base de datos grillados de HadEX2 (Fig. 2) (Danton et. al., 2012).

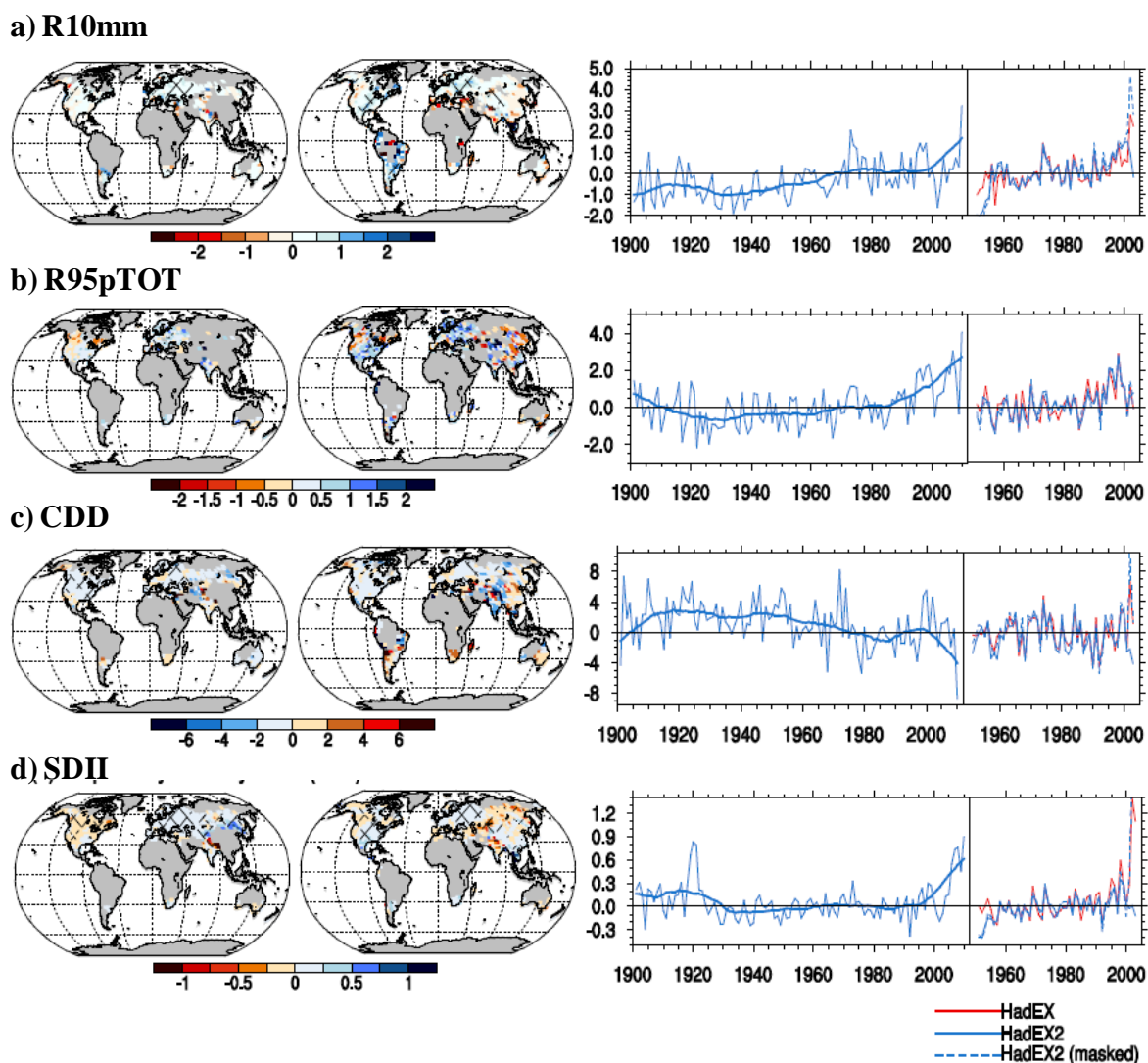


Fig. 2: Como la figura 1 pero para las tendencias de las series anuales de los indicadores a) Número de días con precipitación > 10 mm (R10mm: precipitación fuerte) en días, (b) porcentaje del número de días

lluviosos (R95pTOT) en %, (c) días consecutivos secos (CDD) en días y (d) índice simple de intensidad diaria (SDII: índice de intensidad diaria de precipitación) en mm/día, (Danton, et. al., 2012).

2.2.3 Relación con la variabilidad interanual e interdecadal.

Las tendencias lineales a largo plazo no capturan la real evolución de las series de precipitación y temperaturas, principalmente debido a la fuerte variabilidad interanual y decadal que presentan estas series en la costa oeste de Sudamérica. Un ejemplo de ello se observa en las tendencias de indicadores asociados a las temperaturas en el periodo 1961-2003. Estas pierden fuerza cuando se excluye la información posterior al año del salto climático (1976-77) e incluso se invierten observándose un cambio de signo en la pendiente, en correspondencia con las fases positivas y negativas de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) (Villarroel et. al., 2006). Específicamente, las noches cálidas (TN90p) en los años posteriores al 76' se ven fuertemente influenciados por los grandes eventos de El Niño y La Niña de los años 1982-83 y 1997-98, acusando un aumento de un 70% en el número de días por sobre el percentil 90% principalmente en la zona norte de Chile (Villarroel et. al, 2006).

En relación a la evolución de la precipitación entre 30° y 43°S (Chile central) existen evidencias de una condición relativamente seca que predominó a comienzos de los años setenta consistente con un anticiclón subtropical intensificado, la fase positiva de la Oscilación del Sur (SO) y la fase fría de la PDO. Luego el cambio de la PDO a mediados de los años 70, a la fase cálida fue seguido por un aumento de la frecuencia de la fase negativa de la SO y de episodios de El Niño más frecuentes, por lo tanto, años más lluviosos en estas décadas (Quintana y Aceituno, 2011).

De este modo, la influencia de los cambios de la temperatura superficial del mar (SST) en el océano Pacífico tropical, en la evolución del régimen de la temperatura y precipitación en Chile, y sus indicadores asociados, es determinante para describir los cambios en la tendencia a largo plazo.

2.3 PROYECCIONES FUTURAS.

Diversos modelos globales y regionales se han utilizado para analizar el cambio climático desde el punto de vista de los eventos extremos en el siglo XXI bajo escenarios plausibles construidos por el IPCC 2000 en el *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES). Por ejemplo, el modelo regional CCM3 (*Community Climate Model*) aplicado en la zona de California, muestra que los cambios ante un escenario con doble concentración de CO₂, muestran un incremento significativo en la frecuencia e intensidad de las temperaturas extremas y precipitación, así como también, incrementa la prolongación de las ondas de calor (heat waves) (Bell, et. al., 2004). Con respecto a este último indicador (ondas de calor), en la última década ha surgido un interesante número de estudios relacionados. La onda de calor en Europa en el verano del 2003 que fue la más intensa desde 1540 (Beniston, 2004), provocó el secamiento de ríos y canales, los cultivos comenzaron a crecer 3-4 semanas antes que lo normal y se marchitaron antes

de la cosecha. Esta onda de calor fue simulada con HIRHAM4 *regional climate model* y sus condiciones fueron proyectadas a futuro (fines del siglo XXI) para el escenario SRES A2. Los resultados indican que ondas de calor como aquella ocurrida en 1540, se incrementarían e intensificarían en el futuro, asociado a un corrimiento hacia la derecha de la distribución de frecuencia acumulada de temperatura máxima (Beniston, 2004). Otros resultados muestran cambios significativos en los indicadores de temperatura en Europa, como por ejemplo una reducción del número días con heladas (FD0) en latitudes medias, un incremento del número de extremos cálidos y reducción del número de extremos fríos en un 75% de la cobertura global (Beniston, 2004). El rango diurno de temperatura (DTR) decrecerá alrededor de 0.07 °C/década (IPCC, 2007).

A diferencia de lo que ocurre con la temperatura, los cambios en los extremos de precipitación varían dependiendo de la ubicación geográfica (Bell, et. al., 2004). Las proyecciones de los indicadores de precipitación, son coherentes en apreciar que para el periodo 2071-2100 bajo un escenario de cambio climático SRES A2, la precipitación media diaria incrementará en un 6% en relación al periodo 1961-1990 (Zhang, et al. 2006, IPCC, 2007). Este incremento es mayor en latitudes medias y altas en continentes entre un 20% a un 50% (Watterson and Dix, 2003; IPCC, 2007.).

Particularmente, en Sudamérica los resultados de un consolidado de tres modelos regionales (Eta CCS, RegCM3 y HadRM3P) con condiciones de borde del modelo global HadAM3, para el periodo 2071-2100 y una resolución horizontal de 50 km, muestran que para el escenario B2 al Este de la Amazonia, la temperatura de aire incrementará de 3° a 4°C y la precipitación se reducirá entre 5%-20% y que ante la posibilidad de un escenario más severo A2 estos cambios serán más extremos. Al sur de Brasil y norte de Argentina, se proyecta pequeños incrementos de la precipitación de 5-10% (Marengo, et. al., 2009). Sin embargo, no se detallan cambios al lado Oeste de Sudamérica debido a tendencias poco significativas o simplemente por falta de evidencias locales. Específicamente en Chile, el modelo regional climático PRECIS fue la herramienta empleada para obtener simulaciones de línea base (1961-1990) y clima futuro (2071-2100) y compararlas entre sí espacialmente (Fuenzalida, et. al., 2006). Cambios relevantes, en lo que concierne a este estudio, se observan en el sector altiplánico con aumento de precipitaciones en primavera y verano, el sector andino del Norte Chico también se aprecian incrementos de la precipitación hasta los 33°S. En la región de Chile central hay una pérdida generalizada de precipitación total en otoño e invierno del orden del 40% comparado con el periodo de línea base 1961-1990, hacia tierras más bajas la disminución es de un 24% en primavera. La región austral presenta pérdidas de un 25% pero se normaliza hacia el invierno austral, sin embargo, en el extremo sur ~50°S se presentan leves incrementos de la precipitación, todo esto en la simulación PRECIS con un escenario A2 (Fuenzalida et. al., 2006).

En la temperatura dominan los cambios positivos (calentamiento) en todas las regiones, siendo mayores para el escenario A2. El cambio de temperatura media del escenario A2 respecto al clima actual sobre Chile continental varía entre 2° y 4°C, siendo más acentuado hacia las regiones andinas y disminuyendo de norte a sur. Las mayores diferencias en temperaturas extremas (hasta 6°C cuando se considera la diferencia A2-Clima Actual) se concentran sobre la cordillera de la zona norte durante el verano, mientras que las menores diferencias (siempre positivas) se concentran en la zona austral durante el invierno (Fuenzalida et. al., 2006).

2.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO REGIONAL CLIMÁTICO PRECIS.

La utilidad de contar con un modelo regional climático para el estudio de impactos de eventos extremos, se enmarca en el hecho de que la disponibilidad de series observadas que cumplan con una cobertura espacial apropiada es limitada. En este estudio se utiliza las simulaciones del modelo regional climático (RCM) *Providing Regional Climates for Impact Studies* (PRECIS), desarrollado por el Hadley Center de Inglaterra (Jones et al, 2004) y aplicado en Chile por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (Fuenzalida et. al., 2006). Este programa permite contar con una herramienta accesible en el sentido operacional (una de las mayores ventajas de este software es que puede ser corrido en un PC sin muchos requerimientos técnicos), para hacer estudios de impacto de cambio climático, tal como lo establece el Artículo 4.8 del United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). El modelo PRECIS RCM está compuesto por tres principales componentes: la dinámica, el ciclo del sulfuro y las parametrizaciones físicas (Jones, et. al, 2004). En esencia, un modelo atmosférico limitado de alta resolución, los flujos dinámicos, el ciclo atmosférico del sulfuro (incluyendo dióxido de sulfuro, aerosoles sulfatos y especies asociadas químicas), nubes y precipitación, procesos radiativos, la superficie de la tierra y profundidad de suelos son parametrizadas. Son prescritas también las condiciones de superficie y laterales. Para esto el modelo necesita series de tiempo de la temperatura superficial del mar y la extensión de hielos (Fig 3). Las condiciones de borde laterales de PRECIS son obtenidas desde el modelo de circulación general de la atmósfera HadAM3P, el cual tiene una resolución de 1,25° de latitud por 1,875° de longitud. Las condiciones de borde de la superficie del mar son derivadas de una combinación de observaciones pasadas y de un modelo global acoplado HadCM3 (Fig. 3).

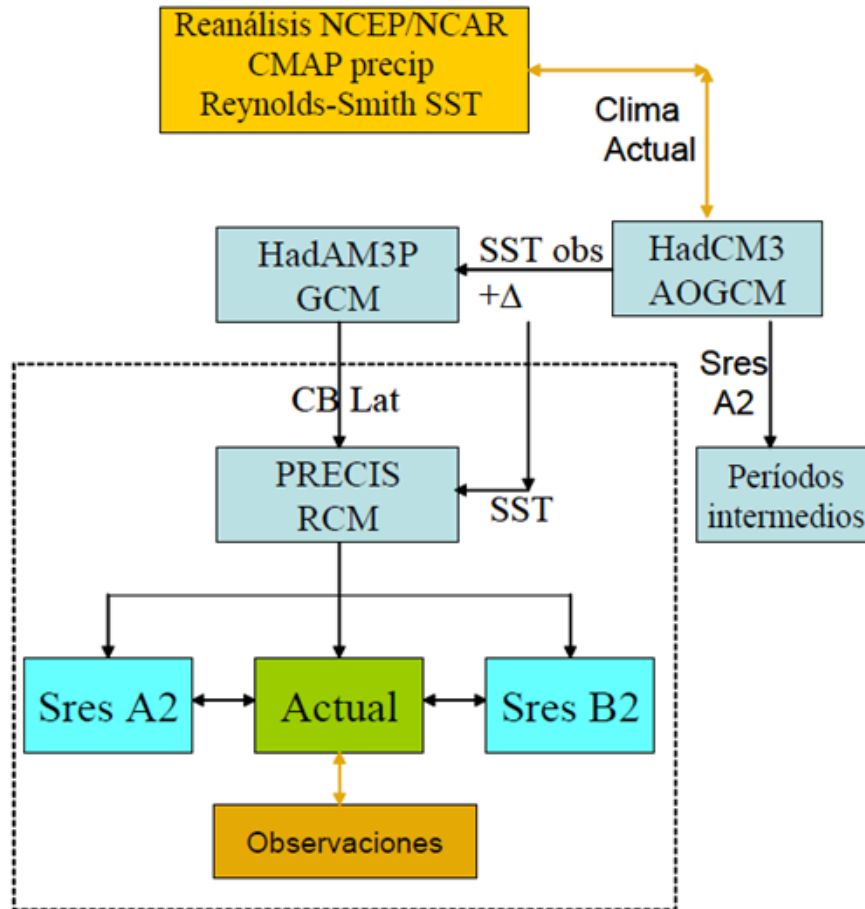


Fig. 3: Método de trabajo para generar las simulaciones en Chile. Se esquematiza las relaciones entre modelos globales y regionales (celeste), validación con observaciones (amarillo) y comparaciones entre salidas de PRECIS (azul y verde) (Fuenzalida et. al, 2006).

La resolución horizontal utilizada fue de 25 km por 25 km, y 19 niveles en la vertical y anidado sobre el dominio de Chile Continental (Fig. 4). Las simulaciones de PRECIS para Chile fueron realizadas para dos escenarios de cambio climático, SRES A2 y SRES B2, para dos periodos de tiempo, la línea de condición base 1961-1990 (línea base) y la proyección futura 2071-2100.

En este estudio se utilizaran las simulaciones del escenario más severo A2, en el periodo 1961-1990 y la proyección futura (2071-2100), para las variables de superficie temperatura máxima, mínima y precipitación diaria. En cuanto a la habilidad del modelo para simular estas variables, en Chile y en otros lugares del mundo muestran que en el caso de los eventos extremos, hay pocas diferencias con relación al punto de grilla en algunos parámetros como FD y SDII (Kiktev et. al, 2003), pero en otros indicadores preferentemente los de precipitación como R10mm son pobremente representados en la región asiática. En China, por ejemplo, PRECIS muestra patrones espaciales simulados similares con los observados pero también existe una subestimación en los extremos de precipitación (Zhang, et. al., 2006). Sudamérica por su parte, reproduce realísticamente los patrones espacial y temporales en la zona tropical y subtropical, pero con sesgos importantes en la precipitación (Marengo et. al., 2009). En relación a la parte Oeste de Sudamérica, existe una discrepancia importante sobre la región altiplánica en relación a

los reanálisis (NNRP) los cuales señalan un dominio de presiones relativamente altas en contraste con el modelo HadCM3 que exhibe presiones relativamente bajas en todas las estaciones del año, otra diferencia importante de destacar es la profundidad de la vaguada circumpolar, el modelo muestra valores inferiores en unos 7.5 hPa, salvo en el caso de primavera. El anticiclón subtropical del Océano Pacífico oriental está bien simulado en cuanto a posición e intensidad a lo largo del año (Fuenzalida et. al., 2006). Sin embargo, las variables utilizadas en este estudio (temperatura y precipitación) muestran una buena representación del ciclo anual de temperaturas, pero resulta que HadCM3 sobreestima significativamente la precipitación observada en el caso altiplánico de 50 a 100% y en el caso de Aysén en un 30%, tanto durante el verano como invierno (Fuenzalida y otros, 2006).

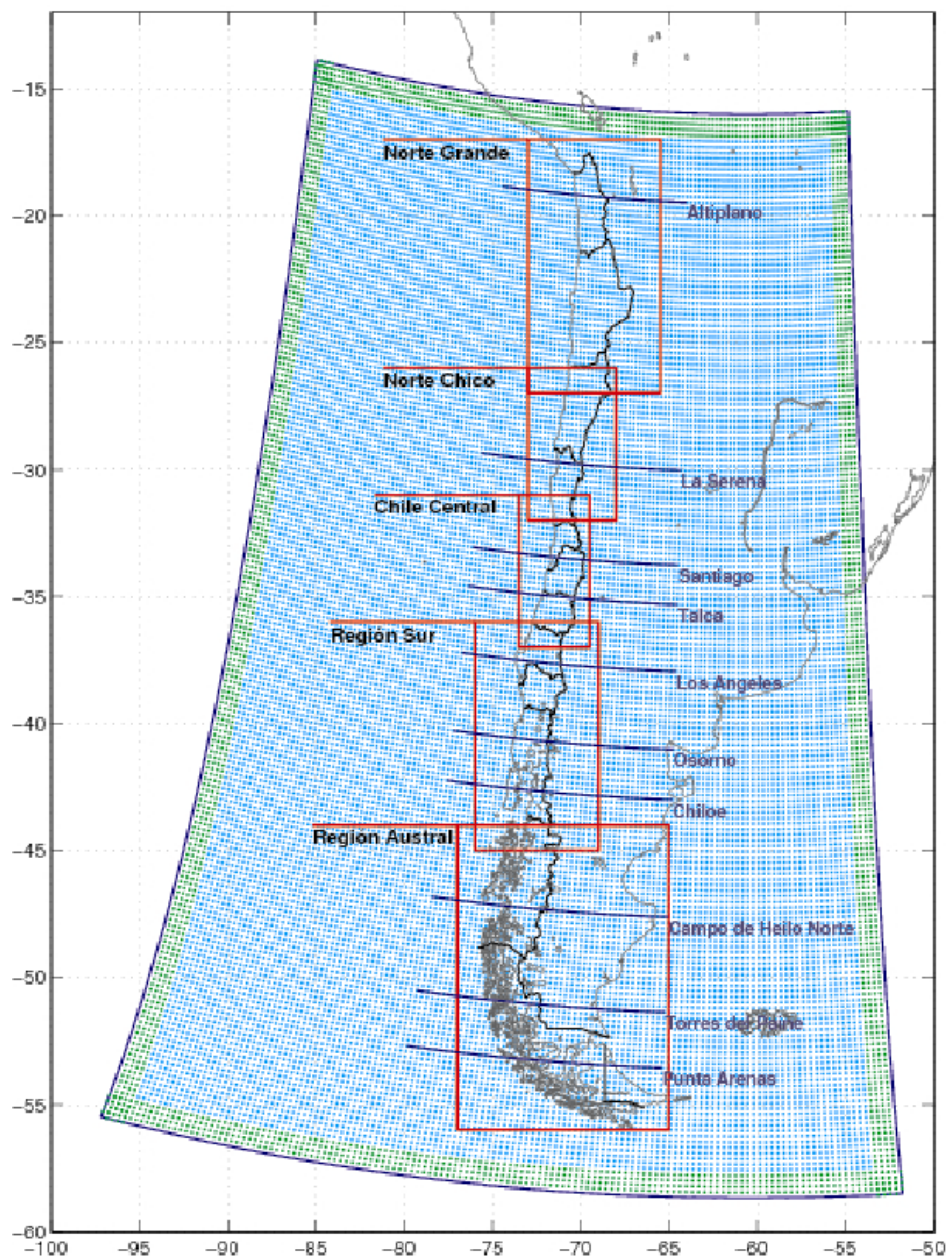


Fig. 4: Grilla del dominio del modelo climático regional PRECIS corrido por el Depto. de Geofísica de la Universidad de Chile (Fuenzalida et. al., 2006).

Capítulo III

AREA DE ESTUDIO, DATOS Y METODOLOGÍA.

3.1 ÁREA DE ESTUDIO.

La zona de estudio es Chile Continental entre los 18°S y 56°S (Fig. 5). La zona de estudio se caracteriza por contener una intrincada topografía y una extensión meridional pequeña con un ancho promedio de ~ 500 km. En un corte transversal se destaca la imponente cordillera de los Andes con una altura promedio de aproximadamente 4000 m. ubicada al lado Este de Chile, es una de las principales causas de los variados climas existentes y funciona como una barrera climática en relación al continente sudamericano, produciendo además un sinnúmero de consecuencias climáticas y meteorológicas a diferentes escalas de tiempo y espacial. Los valles con una altura promedio de 500 m sobre el nivel del mar, es donde se confinan las grandes ciudades y la mayor parte de la población en la región central de país, inmediatamente al Oeste de los valles se encuentra la cordillera de la costa con una altura promedio de 2000 m, siendo la responsable directa de sombras de lluvia y tiene una vital interacción entre el aire marino y la ventilación de los valles centrales.

En la parte norte del país, el régimen de precipitación es principalmente de origen convectivo. A partir de los 26°S la precipitación es en general de origen frontal con nueve meses al año relativamente secos (Schwerdtfeger, 1976). Desde abril a septiembre son los meses más lluviosos, que contienen entre el 60% y 70% de la precipitación total anual, esta es la principal característica de ciclo anual que sea marcadamente unimodal (Quintana, 2004). A la latitud de Valparaíso (32°S), la precipitación aumenta a un promedio de 350 mm por año en la costa y 310 mm en los valles. Unos 400 km más al sur, la precipitación anual aumenta considerablemente, con un promedio anual de 1200 mm. cerca del paralelo 40°S. La precipitación en Chile central está dominada por la posición del Anticiclón semipermanente del Pacífico Sur y las inestabilidades de vaguadas en el cinturón de los Oestes (paso de sistemas frontales). Sólo un 5% corresponde a precipitaciones asociadas a bajas segregadas (Pizarro y Montecinos, 2000). En la zona sur desde los 39°S ya no existe temporada seca, el mes con menor precipitación es de alrededor de 40 mm. Entre los 40°S y los 54°S es lluvioso todo el año con un máximo entre Junio, Julio y Agosto, en esta zona la precipitación total anual supera los 2000 mm al año. El extremo sur aproximadamente 56°S los totales mensuales más altos es en los meses de enero y abril, no superando los 400 mm del total anual.

El régimen de temperaturas tiene una estrecha relación con la marcha de la radiación solar, el relieve y también el agente moderador del océano Pacífico, contribuyendo a la diferencia entre las estaciones costeras y las ubicadas en la cordillera, donde la amplitud térmica puede alcanzar hasta los 25°C. Transversalmente, los valles de la zona central retienen el aire cálido en verano, cambiando bruscamente a el rango costero (tiene alrededor de 6° de diferencia con los valles). Las temperaturas en verano son suavemente cálidas y considerablemente frías en los valles (Schwerdtfeger, 1976).

Ambos regímenes, de temperaturas y precipitación, tienen una variabilidad interanual fuertemente asociada con el comportamiento del fenómeno de El Niño-La Niña (Montecinos y Aceituno, 2003). Las precipitaciones son favorecidas contribuyendo con un incremento

significativo en invierno y primavera en Chile Central en presencia de un evento cálido (El Niño). También, la influencia de la circulación atmosférica produce una mayor frecuencia diaria de noches cálidas (percentil 90 de la temperatura mínima), con un mayor impacto en la zona norte de Chile disminuyendo su significancia hacia la zona sur (Villarroel et. al, 2006). La variabilidad de la precipitación y temperaturas además de presentar una fuerte componente interanual, también muestra un comportamiento interdecadal bien definido, explicado por el forzamiento oceánico de la cuenca del Pacífico asociado a la Oscilación Interdecadal del Pacífico (Quintana y Aceituno, 2011; Villarroel et. al, 2006).

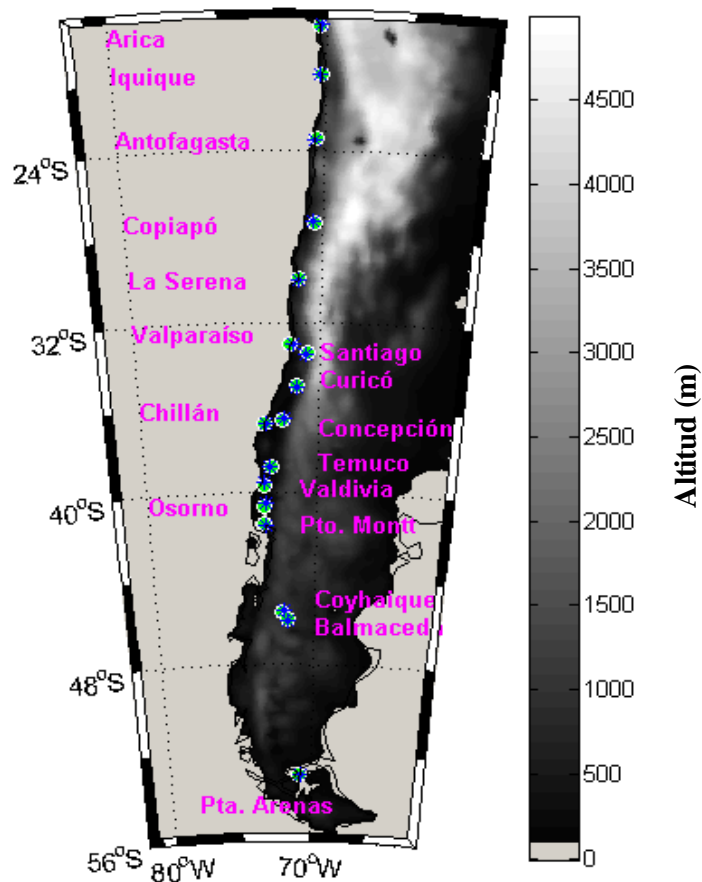


Fig. 5: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas (círculo verde) utilizadas en este estudio. El asterisco azul indica el punto más cercano de la grilla del modelo regional PRECIS a la estación meteorológica.

En concordancia a la gran extensión meridional de Chile, se analizan y consolidan los resultados en cuatro áreas relevantes:

- Región Norte (Fig. 6): comprendida por las estaciones meteorológicas de Arica, Iquique, Antofagasta y Copiapó, entre los 18°-27°S.
- Región Centro (Fig. 7): Estaciones meteorológicas de La Serena, Valparaíso, Santiago, Curicó, Chillán, y Concepción, entre los 28°-36°S.
- Región Sur (Fig. 8): Estaciones meteorológicas de Temuco, Valdivia, Osorno y Pto. Montt, entre los 37°- 42°S.

- Región Austral (Fig. 9): Estaciones meteorológicas en Coyhaique, Balmaceda y Pta. Arenas, entre los 43° y 53°S.

En las figuras 6 a 9, además de los mapas horizontales con la topografía del modelo y las series de tiempo de las estaciones meteorológicas observadas (círculo verde) y el punto de grilla más cercano a la estación simulado con PRECIS (asterisco azul), se adiciona cortes transversales en la latitud de cada estación meteorológica con datos USGS (sombreado gris) (<http://www.usgs.gov/>) con una resolución de 5 minutos y se compara con la topografía de PRECIS (resolución de 25 km) para esa misma latitud representada por la línea roja. Si bien hay diferencias considerables en la altura de las estaciones con relación a la altura real de la estación, como por ejemplo sucede con las estaciones ubicadas en Arica, Copiapó, Valparaíso, Coyhaique y Balmaceda, se deja de manifiesto que esta diferencia se asociará a un error sistemático y por lo tanto, no interferirá en el análisis comparativo de los cambios de los indicadores extremos climáticos.

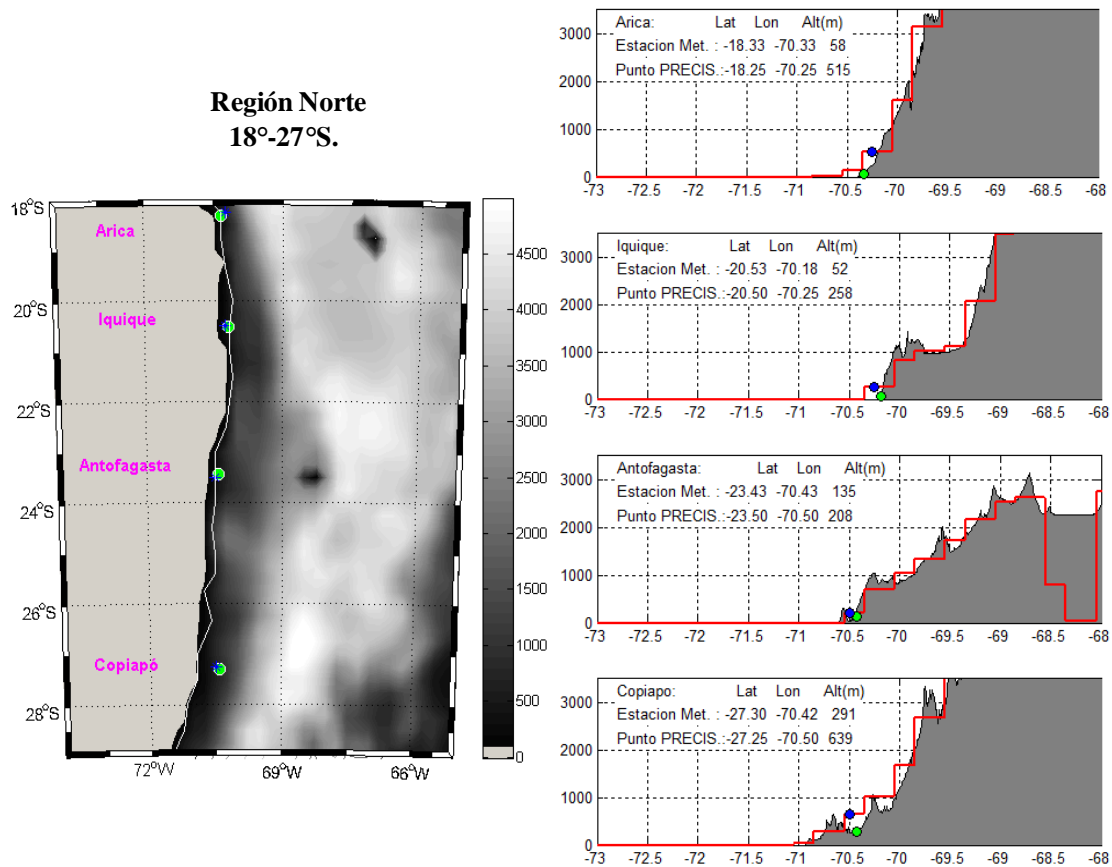


Fig.6: Ubicación geográfica de las estaciones de la región norte y corte topográfico USGS (sombreado) y PRECIS (línea roja). Estación meteorológica círculo verde y el punto más cercano a la estación de la grilla de PRECIS por asterisco azul.

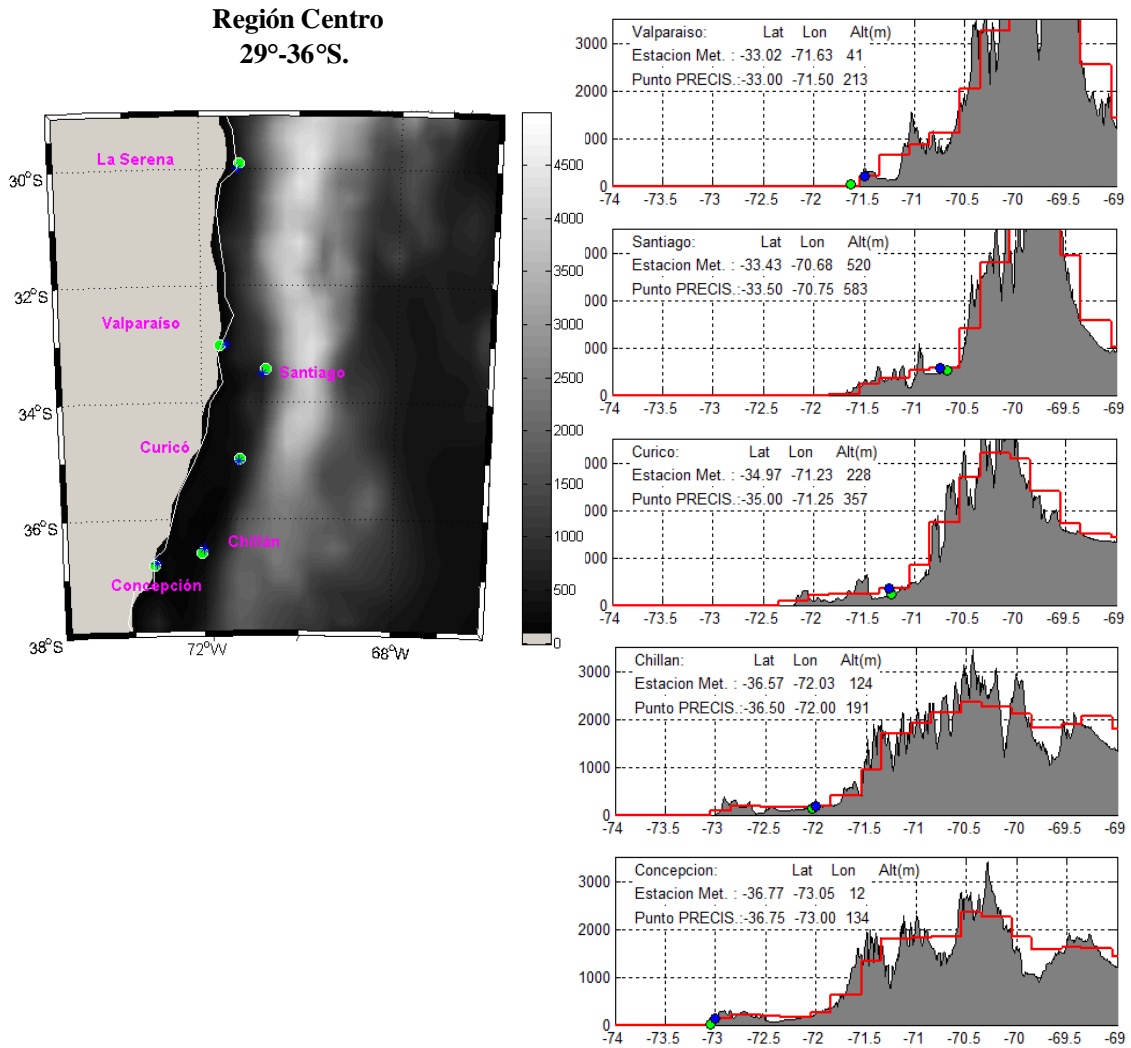


Fig.7: Lo mismo que la figura 6 pero para la región centro.

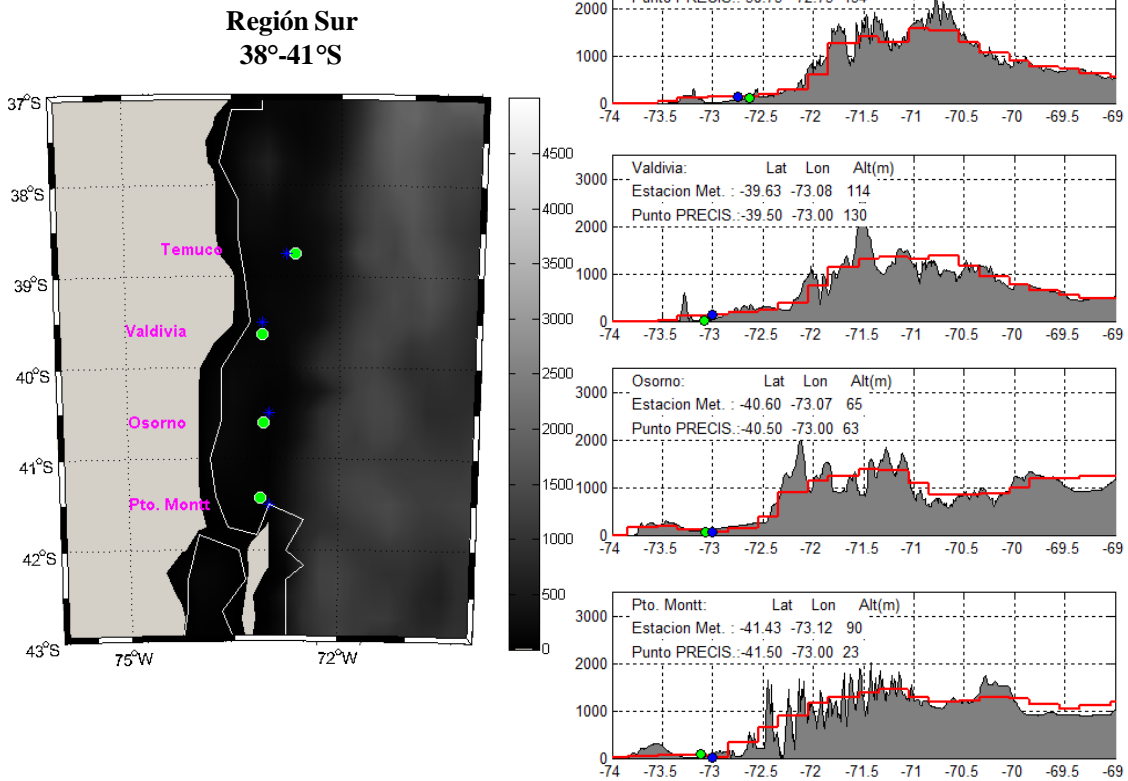


Fig. 8: Lo mismo que la figura 6 pero para la región sur.

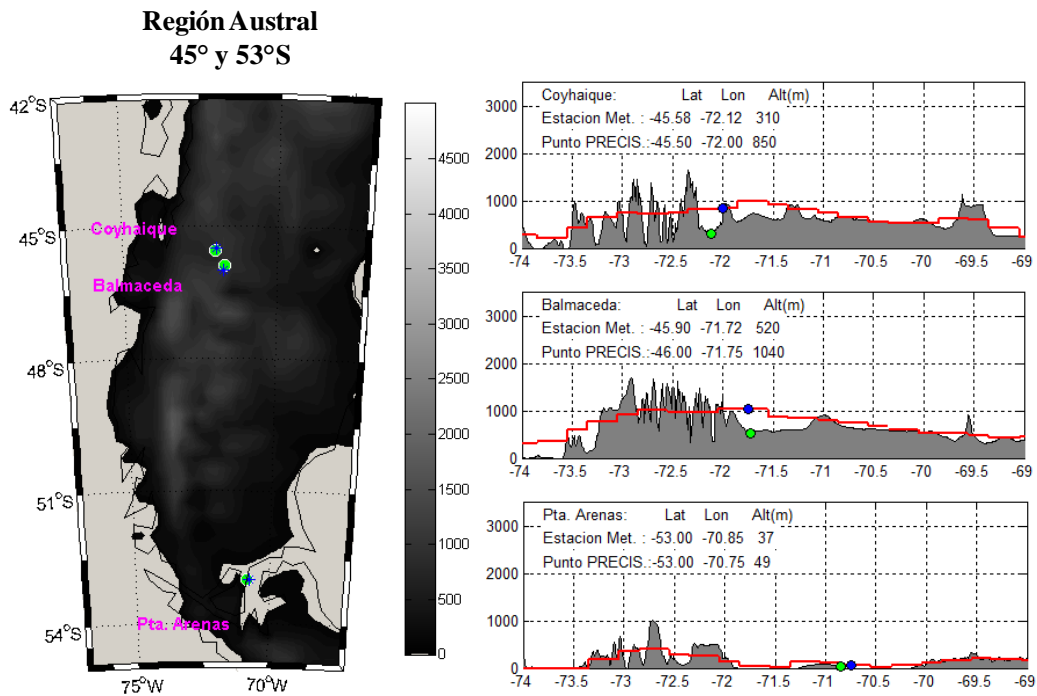


Fig.9: Lo mismo que la figura 6 pero para la región austral.

3.2 DATOS Y MÉTODOS.

3.2.1 Datos.

- *Observaciones:* se utilizó datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación de 17 estaciones meteorológicas, 16 de las cuales pertenecen a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Valparaíso- Punta Ángeles pertenece al Servicio Meteorológico de la Armada de Chile (SERVIMET) (Tabla 1). El largo de las series comprende entre diciembre de 1960 y diciembre de 1990, periodo utilizado para conocer el diagnóstico de las tendencias de eventos extremos y también para examinar la habilidad del modelo regional PRECIS. Independientemente, se extiende el periodo de las observaciones hasta diciembre del año 2010 sólo utilizado para obtener información acerca de la variabilidad de las series. Para el relleno y homogenización, se utilizó información mensual de otras estaciones que no son incluidas en el análisis final. La elección de las estaciones meteorológicas consideró principalmente que tuviesen datos de buena calidad y cantidad. El porcentaje límite de datos faltantes no es superior al 5% por cada estación (Tabla 1).

Tabla N°1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio. Se indica en porcentaje la cantidad de datos faltantes diarios para el periodo 1961-1990.

	<i>Estaciones</i>	<i>Latitud</i> (°S)	<i>Longitud</i> (°W)	<i>Altura</i> (m)	<i>Datos faltantes diarios (%)</i>		
					min	max	prec.
1	Arica	18°20'	70°20'	58	0.16	0.16	0.0
2	Iquique	20°32'	70°11'	52	0.04	0.16	0.6
3	Antofagasta	23°26'	70°26'	135	0.21	0.05	0.0
4	Copiapó	27°18'	70°25'	291	0.78	0.18	0.0
5	La Serena	29°54'	71°12'	142	0.09	0.08	0.0
6	Valparaíso	33°01'	71°38'	41	2.39	1.65	1.5
7	Santiago	33°26'	70°41'	520	0.00	0.01	0.0
8	Curicó	34°58'	71°14'	228	0.09	0.17	0.0
9	Chillán	36°34'	72°02'	124	3.44	3.44	2.8
10	Concepción	36°46'	73°03'	12	0.00	0.00	0.0
11	Temuco	38°45'	72°38'	114	3.77	3.74	3.6
12	Valdivia	39°38'	73°05'	19	6.11	3.84	3.1
13	Osorno	40°36'	73°04'	65	3.89	3.91	0.0
14	Pto. Montt	41°26'	73°07'	90	0.41	0.48	0.3
15	Coyhaique	45°35'	71°07'	310	0.68	0.32	0.1
16	Balmaceda	45°54'	71°43'	520	0.07	0.10	0.0
17	Pta. Arenas	53°00'	70°51'	37	0.07	0.38	0.0

- *Datos de modelos:* Los datos grillados son salidas del modelo regional HadCM3-PRECIS (Fuenzalida et. al, 2006), con un espaciamiento entre puntos de grilla de 25 km, en un dominio que abarca todo Chile (Fig. 5). El intervalo temporal es diario y los periodos simulados son entre diciembre de 1960 y noviembre de 1990 (línea base) y el periodo diciembre de 2070 y noviembre de 2100 (clima futuro). Este último periodo son los resultados de la simulación para un escenario de cambio climático A2. Con el fin de

comparar espacialmente la línea base con las observaciones se utiliza el conjunto de datos compilados en *Climatic Research Unit* (CRU) del periodo normal 1961-1990 de temperatura máxima, mínima, precipitación total mensual y número de días con precipitación (<http://www.cru.uea.ac.uk/>).

3.2.2 Métodos.

3.2.2.1 *Relleno de series*

En una primera etapa se efectuó una inspección a los anuarios y formularios históricos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) archivados en papel y se realizó el primer relleno y control de calidad de las series. El siguiente paso fue rellenar los datos mensuales de temperaturas extremas. Para este propósito se utilizó un método estadístico que consiste en calcular el promedio de las diferencias medias diarias ponderado por la correlación de la serie a rellenar con las de su entorno. En la correlación de las series a comparar se utilizó como límite el coeficiente de correlación 0.7, aunque en algunas estaciones de la zona sur se limitó a 0.6. Su expresión matemática es:

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^K c_{ij}(x_j - x_i)T_i}{\sum_{i=1}^K c_{ij}}$$

En el caso de la precipitación se realizó mediante el promedio de las razones medias mensuales, ponderado por la correlación anual de las series a rellenar con las de su entorno. Su expresión matemática es:

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^K c_{ij} \frac{x_j}{x_i} P_i}{\sum_{i=1}^K c_{ij}}$$

En que T_j y P_j es la temperatura y precipitación, respectivamente, de la estación a rellenar, K es el número de series utilizadas, c_{ij} es la correlación de la estación i con la estación j , x_i , x_j son las temperaturas (precipitaciones) medias mensuales de las estaciones i , j respectivamente y T_i (P_i) es la temperatura (precipitación) en la estación i .

3.2.2.2 *Control de calidad.*

El control de calidad es parte importante de este estudio debido a que por una parte se trabaja con datos diarios y por otro lado los extremos tienen que ser bien argumentados. Gran parte de la metodología empleada desde el control de calidad hasta el cálculo final de indicadores de eventos extremos se utilizó la rutina en R llamada `rclimdex_extraQC.r` (Aguilar et. al., 2003), desarrollada por *Environment Canada* para el *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) de tal manera de obtener consenso con otros estudios realizados a nivel global (Klein Tank A. et. al, 2009). Entre algunas de sus funciones, detecta datos aberrantes (por ejemplo, 500 mm en vez de 50.0 mm), 4 o más días consecutivos con el mismo valor (flatline), outliers (considerados ± 3 veces el rango intercuartílico en las temperaturas y ± 5 en la

precipitación), temperatura máxima menor que la mínima, duplicados (valores iguales de un periodo con otro), entre otros. Además, proporciona una interfaz gráfica para visualizar errores evidentes, de redondeo (diagramas de frecuencia de los 10 valores posibles del punto decimal) e identificar posibles saltos en las series de tiempo (ejemplo en la figura 10 con la estación de Valparaíso).

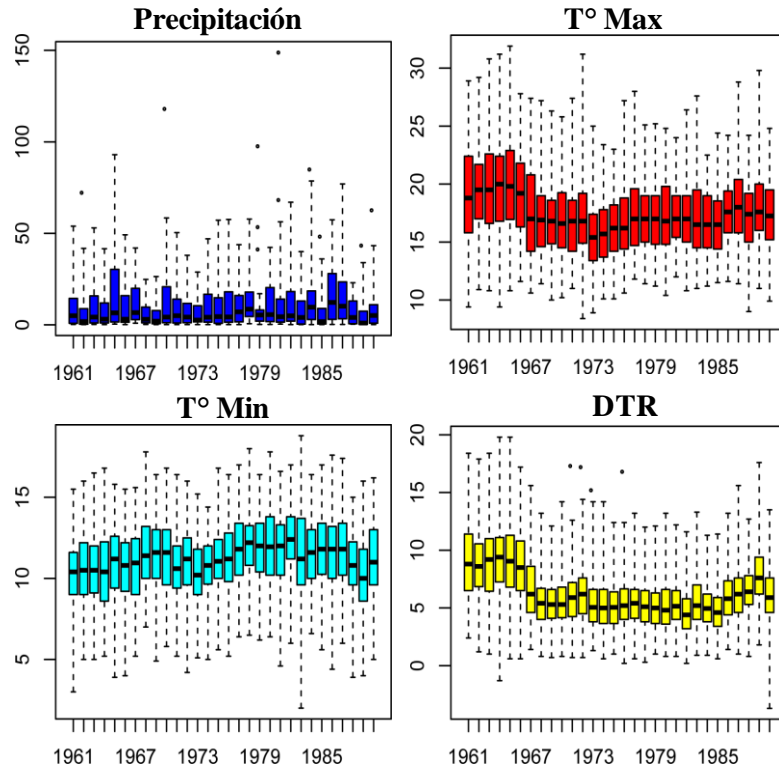


Fig. 10: Ejemplo de la interfaz gráfica de la rutina utilizada en el control de calidad rclimdex_extraQC.r (Aguilar et. al., 2003). Diagramas de caja de las series de precipitación mensual (a), máximas (b), mínimas (c) y DTR (d), con sus respectivos outliers de la estación meteorológica ubicada en Valparaíso.

3.2.2.3. Homogenización.

Para la homogenización de las series de tiempo de las 17 estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio, se aplica un Test de Homogenización Normal Standard (Alexanderson, 1986; Alexandersson and Moberg, 1997; Della-Marta and Wanner, 2006), el que se detalla en el anexo 1. El test necesita de estaciones vecinas a la serie a homogenizar para construir una serie patrón, las estaciones utilizadas no forman parte del estudio y solo se utilizan para hacer más robusta la correlación. Inicialmente, se emplea el test con valores anuales para luego corregirlos a nivel mensual en el periodo antes del punto de quiebre. La serie patrón o de referencia diferenciada es el promedio ponderado por cuadrado de las correlaciones entre la serie candidata y las series del entorno. Luego de obtener la serie patrón se realiza un test de comparación de medias con la serie a corregir. Su significancia estadística se obtiene utilizando un test de Montecarlo o de Bootstrap al 95% de confianza. Sólo se corrigen aquellas series en las que el año del salto según el test coincide ya sea con el mismo año del cambio de estación o con el siguiente (esto depende del mes en que se efectuó dicho cambio). Una vez corregidas las series mensuales

se realiza nuevamente el test de manera de verificar la presencia de otro punto importante (Rosenblüth B., comunicación personal, Anexo A).

Se verifican los años de los saltos significativos con un paquete estadístico RSNHT.r recomendado por el ETCCDMI (Aguilar E., 2011). En su esencia es el mismo método estadístico (Alessanderson) descrito anteriormente, pero su diferencia radica sólo en la construcción de la serie patrón a través de la primera componente principal. Además, tiene la ventaja de poseer una técnica de interpolación descrita en Vincent et. al. (2002) para el ajuste de datos diarios (aplicable a temperatura, Anexo B).

Para conseguir una buena homogenización de las series se necesita de la metadata de las estaciones para determinar de forma lo más certera posible los quiebres de la serie diferenciada. Si esta información es errónea o cambios no documentados se puede cometer un grave error en la interpretación de las tendencias de los indicadores. Debido a que no se contaba con la historia de las estaciones, se tuvo que confeccionar para este estudio. En su construcción se observó la bitácora que los instrumentistas de la DMC hacían para el mantenimiento a las estaciones y cuentan con información para algunas estaciones desde que su creación hasta mediados de los 80', luego se dejó de actualizar. Los cambios posteriores fueron documentados con los mismos formularios de datos desde donde se digita la información y/o por comunicación personal (telefónica) con los observadores a cargo de la estación. Sin embargo, aún existe incertidumbre con algunos cambios no documentados o factores externos que puedan influir en las mediciones. Aun así, la metadata confeccionada comprende todo el registro de las estaciones desde su creación hasta Marzo del 2011 y también algunas estaciones que no fueron consideradas en este estudio (Anexo C).

Una vez obtenidos los cambios de la estación se procede a efectuar la homogenización considerando primero, la homogenización “no guiada” del programa RSNHT.r (es decir, sin intervención de la metadata) para lo cual utiliza el método de comparación de medias por tramos, detecta un 78% de los saltos documentados pero 5 veces más quiebres que los observados, además detecta el año de cambio de régimen 1976 como un salto artificial (Tabla N°2). Por esta razón, la homogenización es conveniente hacerla en forma guiada, es decir con la metadata disponible, los resultados se pueden observar en la tabla 2. Algunas de las series no fueron homogenizadas a pesar de que hay cambios documentados, como el caso de Chillán, el factor de corrección es pequeño y además el cambio es en los últimos años de la serie lo que produce que prácticamente toda la serie se corrige no contribuyendo a un cambio significativo. Caso similar es la estación de Valdivia.

Tabla 2. Resultados de la homogenización de las series utilizadas en el estudio. La columna 2 muestra los años de cambios de estaciones y/o instrumentos. Las columnas siguientes muestran los quiebres detectados por el software sin intervención de la metadata y seguidamente las discontinuidades detectadas utilizando metadata. Cuando el método no detecta un salto significativo se le denomina “homog.”. Las series homogenizadas se denominan con “si”.

Estaciones	Metadata	Quiebres - No Guiada			Quiebres - Guiada			Series corregidas		
	Años	TN	TX	Precp.	TN	TX	Precp.	TN	TX	Precp.
1 Arica	-	1976-9 1982-9	1964-10 1972-2 1982-10 1986-4	-	homog.	1987	-	no	si	-
2 Iquique	1965 1981	1965-11 1966-7 1976-9	1969-1 1972-4 1981-3 1983-2	- -	1965 1965	1982 1982	-	si si	si si	- -
3 Antofagasta	-	1965-2 1970-4 1980-5 1988-2	1966-4 1975-1	-	homog.	homog.	-	no	no	-
4 Copiapó	1964-8	1962-5	1965-2 1982-7	-	1963	1964	homog.	si	si	no
5 La Serena	-	1966-9 1977-3	1966-3 1988-10	-	homog.	homog.	homog.	no	no	no
6 Valparaíso	1967	1966-9 1971-4 1974-2 1986-2	1967-3 1976-8 1984-1 1987-11	-	homog.	1966 1985	homog.	si	si	no
7 Santiago	-	1962-5 1971-9 1980-6	1964-4	homog.	homog.	homog.	homog.	no	no	no
8 Curicó	-	1970-9 1985-3	1977-4	homog.	homog.	homog.	homog.	no	no	no
9 Chillán	1989	1971-1 1974-1 1981-10	1969-8 1976-8 1983-5 1988-9	1966-6	homog.	homog.	homog.	no	no	no
10 Concepción	1968	1977-2 1987-1	homog.	homog.	homog.	homog.	homog.	no	no	no
11 Temuco	1967 1983	1968-12 1978-9 1986-2 1990-1	1961-3	homog.	homog.	homog.	homog.	no	no	no
12 Valdivia	1966	1966-10 1980-11	1972-2 1982-6	1966-5	1966	homog.	1966	no	no	si
13 Osorno	1967	1967-5 1976-7	1967-10	homog.	1966	1967	homog.	si	si	no
14 Pto Montt	1963	1963-5 1979-10	1962-3	1971-3	1963	homog.	1968	si	no	si
15 Coyhaique	1967	1977-3	homog.	homog.	1967	homog.	1968	si	no	si
16 Balmaceda	1974	1967-1 1977-3	1963-4	1967-3	homog.	homog.	homog.	no	no	no
17 Pta Arenas	1965	1966-8	1962-10	1967-10	homog.	homog.	homog.	no	no	no

3.2.2.4. *Cálculo de los Indicadores de Eventos Extremos de Cambio Climático.*

El cálculo de los indicadores extremos climático se genera a partir de la utilización del programa RCLimDex recomendado por ETCCDMI <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>, en las series de tiempo de precipitación, y temperaturas extremas de los datos observados de las 17 estaciones del estudio (periodo 1961-1990), además se calcula los indicadores para la serie de datos extendida hasta el año 2011 (50 años) a fin de proveernos de información acerca de la variabilidad de la serie. También, el programa fue corrido para las series simuladas por PRECIS de las mismas variables en periodos de 30 años (1961-1990 y 2071-2100). Por defecto, el programa calcula 27 índices para monitorear y detectar cambio climático a escala regional. En la tabla N°3 se aprecian los indicadores calculados para la presente tesis. Algunos de los indicadores no son representativos de las zonas geográficas y además tiene un sesgo hacia latitudes medias (Kiktev et. al., 2003), por ello el Growing Season Length (GSL) no fue considerado en el análisis. Otros indicadores como el número de días con heladas (FD) y los días gélidos (ID) son indicadores analizados sólo donde éstos son relevantes.

Se agrega al análisis variables básicas temperatura mínima (TN), máxima (TX) diaria, número de días con heladas intensas (FD-2), número de días de verano sobre 32°C (SU32) precipitación total estacional (PrcTOT) y número de días con precipitación sobre 1 mm. (RND). El programa provee cálculos anuales y en algunos de ellos son estacionales (periodos de 3 meses). La selección del periodo base para el cálculo de los percentiles fue 1961-1990. En la última versión del programa para los índices de percentiles incorpora el procedimiento de “bootstrap” para calcular los valores del periodo base que no genera inhomogeneidades (Zhang and Yang, 2004).

Tabla N°3. Lista de índices de extremos climáticos de temperatura máxima y mínima y precipitación utilizados en el estudio. Adaptados de <http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>.

ID	Indicador	Definicion	Unidades
TEMPERATURAS			
TX	Temp. Máxima	Temp. Máxima diaria	°C
TN	Temp. Mínima	Temp. Mínima diaria	°C
TN10p	Noches frías	Días en que TN10<10ptile calculados para cada día calendario (sobre la base del periodo 1961-1990) usando una ventana móvil de 5 días	%días
TN90p	Noches calidas	Ver TN10p, pero TN>90ptile	%días
TX10p	Días fríos	Ver TN10p, pero TX<10ptile	%días
TX90p	Días calidos	Ver TN10p, pero TX>90ptile	%días
TNn	T° Extrema mínima	Mínimo valor mensual de la TN diaria	°C
TNx	T° Extrema mínima	Máximo valor mensual de la TN diaria	°C
TXn	T° Extrema máxima	Mínimo valor mensual de la TX diaria	°C
TXx	T° Extrema máxima	Máximo valor mensual de la TX diaria	°C
SU25	Días de verano	Nro de días en que TX>25°C	Días
SU32	Días de verano	Nro de días en que TX>32°C	Días
TR20	Noches tropicales	Nro de días en que TN>20°C	Días
FD0	Dias con heladas	Nro de días TN < 0°C	Días
FD-2	Dias con heladas intensas	Nro de días TN < -2°C	Días
DTR	Rango diurno de temperatura	Promedio de los valores diarios de (TX-TN)	°C/dec
WSDI	Índice de duración del periodo cálido	Nro de días consecutivos al menos 6 cuando la TX>90percentil	Días
CSDI	Índice de duración del periodo frío	Nro de días consecutivos al menos 6 cuando la TN<10percentil	Días
PRECIPITACION			
PrcpTOT	Precipitacion diaria	Precip. Acumulada anual y estacional	mm
RND	Días c/precip.	Nro de días con precip.>1mm	Días
Rx1day	Máximo de precip. 1 día	Máximo de precipitacion mensual en 1 día	mm
Rx5day	Máximo de precip. 5 días	Máximo de precipitacion mensual en 5 días	mm
SDII	Índice de intensidad de la precipitación	Cantidad de precipitacion diaria dividido por los días c/precip>1mm	mm/día lluvioso
CWD	Máximo nro de días consecutivos lluviosos	Contar máximo nro. de días consecutivos con RR≥ 1mm	Días
CDD	Máximo nro de días consecutivos secos	Contar máximo nro. de días consecutivos con RR< 1mm	Días
R10mm	Días con precipitación fuerte	Nro de días con RR≥10 mm	Días
R20mm	Días con precipitación muy fuerte	Nro días con RR≥20 mm	Días
R30mm	Días con precipitación extrema	Nro días con RR≥40 mm	Días
R95p	Días lluviosos moderados	Días con RR>95ptile	%mm
R99p	Días lluviosos Fuertes	Días con RR>99ptile	%mm

3.2.2.5. *Verificación con observaciones.*

Para verificar la habilidad de modelo regional PRECIS para simular los eventos extremos climáticos en el clima presente (1961-1990), se evalúa inicialmente la correspondencia del ciclo anual de las variables base como, series diarias de temperatura máxima, mínima y precipitación total diaria del punto de grilla más cercano a las estaciones propuestas en este estudio (Tabla N°1). Para este propósito, se reunió la información estadística en diagramas de cajas mensuales construidos con la mediana, percentiles 25% y 75% y outliers para las series de temperatura. En la precipitación el análisis se realiza para aquellas estaciones en que se obtenga información del modelo razonable. Se analiza el ciclo anual y la relación entre la cantidad de precipitación anual observada y simulada junto con el número de días con precipitación sobre 1 mm, observado y simulado. En general colores verdes corresponden a las observaciones, azules a la simulación del clima actual y rojos a la simulación del clima futuro.

Las 17 estaciones cubren adecuadamente la distribución meridional (a lo largo de Chile) pero es pobre en determinar los cambios regionales en cortes transversales que en unos pocos kilómetros las alturas cambian de 6000 m. al nivel de mar. Por lo tanto, es necesario utilizar datos grillados mensuales CRU de temperatura máxima, mínima, precipitación total mensual y número de días con precipitación, para representar la estructura espacial del clima observado. Estos tienen una resolución de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>) en el periodo 1961-1990 en formato netCDF. Debido a que la grilla simulada con PRECIS tiene una resolución de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ se efectuó una interpolación de CRU mediante el método de latitud-longitud para obtener la misma grilla que el modelo climático.

3.2.2.6. *Otros métodos estadísticos utilizados.*

- *Índices regionales:* Los índices regionales se crean para obtener mejor interpretación regional de los índices calculados. Se construye una serie regional como el simple promedio diario, estacional, anual de las estaciones involucradas en las áreas definidas en el punto 3.1. En el caso de la precipitación, a la serie patrón se filtran las precipitaciones menores a 1 mm. En el caso particular de Copiapó y Punta Arenas se evalúa en forma independiente considerando sus diferencias geográficas con otras estaciones.
- *Estimación de la incerteza de la diferencia de medias:* Se evaluó la significancia de las diferencias entre medias mediante un Test de Montecarlo (o bootstrap) (Wilks, 1995). Se hizo la diferencia de medias de los indicadores entre i) Clima Actual (Simulado)-Observaciones (Estaciones Meteorológicas) y entre ii) Clima Futuro (Simulado)-Clima Actual (Simulado). Se construye una serie con los dos bloques de valores (por ejemplo, un índice anual del clima actual de 30 valores y luego los otros 30 años del índice de las observaciones, quedando una serie total de 60 valores); se desordena aleatoriamente en 1000 ensayos, se divide en 2 partes y se calcula la media y la diferencia (Δ). Se obtiene una serie de 1000 diferencias y su curva de probabilidad acumulada (CDF) permite conseguir el valor del límite superior con una significancia de 0.95 (0.90). De esta manera si la diferencia real es mayor o igual que el límite superior, las medias son significativamente distintas al 95% (90%) de confianza.
- *Comparación de la Función de Distribución (FD):* Las distribuciones de algunos indicadores de extremos no son gaussianas, la FD se muestra en este estudio con un

histograma tipo stairs igualmente espaciados. Se incluye la media y la desviación standard. La comparación de las distribuciones se hace en función de la distribución empírica acumulada (CDF) (Wilks, 1995) para las series regionales. Se aplica un test de Kolmogorov-Smirnov K-S para comparar objetivamente las curvas CDFs (kstest2.m), la hipótesis nula es que ambas series de datos vienen de la misma distribución continua, donde D_s es la distancia máxima entre una curva y otra:

$$D_s = \max |F_n(x_1) - F_m(x_2)|,$$

Luego, las CDF son significativamente diferentes a un nivel de 0.05, se cumple que:

$$D_s > \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \ln \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]^{1/2}$$

n y m , es el número total de datos de cada una de las series (Wilks, 1995). Para las series anuales el valor crítico es: 0.0184 ($n=10800$) y estacionales: 0.037 ($n=2700$) valores sobre este umbral se rechaza la hipótesis nula. En el caso de otros índices anuales, como el número de días con precipitación (RND) las series tienen un largo de 30 valores, luego su $D_s > 0.35$. Además, se realiza el mismo procedimiento para las series diferenciadas (es decir, series en la cual se le descuenta el valor medio y la tendencia) para así obtener información acerca de la diferencia de varianza.

- *Estimación de la incerteza del coeficiente de correlación:* en general se utiliza el coeficiente de correlación para las series de precipitación. Para la estimación de la incerteza o significancia del coeficiente de correlación (cc) se utiliza el procedimiento de bootstrap de la siguiente forma: se desordena aleatoriamente una de las series y se construye una matriz con 1000 realizaciones, luego se calcula el coeficiente de correlación entre las series y se obtiene un CDF con 1000 coeficientes con distribución normal y se extrae la probabilidad del coeficiente real para evaluar su significancia.
- *Análisis de tendencias:* La tendencia de los 27 indicadores las determina automáticamente el software RclimDex.r (ver, <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>). Sin embargo, para determinar las tendencias de los indicadores que adherimos y los calculados estacionalmente se utilizó el mismo método que el RclimDex. La tendencia lineal es calculada mediante regresiones lineales en las series individuales de cada índice y además en las series regionales. Debido a que en general los indicadores extremos son no-gaussianos, la estimación estadística de la significancia de la tendencia se realizó con el método de Montecarlo o Bootstrap, que consistió en desordenar la serie aleatoriamente 1000 repeticiones con la escala de tiempo fija y para cada una de ellas se calcula la pendiente, por lo tanto se obtiene una serie gaussiana de 1000 valores de pendientes a la cual se determina su CDF y se selecciona los umbrales de significancia al 10% y 5%. Las tendencias están definidas en unidades por década a excepción de la precipitación total anual y estacional que para efectos gráficos se utiliza unidades por año. Las tendencias de cada una de las estaciones están en las tablas del anexo 3. Se construye mapas de tendencias observadas con su respectivo nivel de significancia al 5% para aquellas estaciones que son sombreadas. Las tendencias significativas al 90% se observan en el anexo C.

- *Análisis espacial:* En cuanto al cálculo de los índices para su representación espacial, se seleccionan aquellos que tienen tendencias o cambios significativos anual y estacional. Además, algunos indicadores por ser eventos puntuales y muy regionalizados, como el FD, TR, CSDI, WSDI, CDD, CWD, se describen en forma individual. En el caso de los índices de percentiles, para efectuar la comparación futura es decir (Futuro-Actual), se calcula la matriz del percentil correspondiente del clima actual y luego con esta matriz se obtiene el porcentaje de días que están por encima (debajo) de ese percentil en el futuro. La diferencia será la cantidad de días mayor (o menor) en el 10%, 5% o 1% más alto de la función de distribución acumulada respecto al clima actual.

Capítulo IV

RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DEL MODELO PRECIS PARA SIMULAR EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN CHILE.

4.1.1 Análisis estadístico de temperatura máxima, mínima y precipitación.

4.1.1.1 Región Norte (Arica, Iquique, Antofagasta y Copiapó):

Temperatura: La simulación del régimen térmico mensual de la temperatura media máxima muestra una subestimación del ciclo anual regional (Fig. 11a), la diferencia promedio es de -1.2°C . Durante los meses del verano austral DEF el error medio es de $-3,3^{\circ}\text{C}$, mientras que en los meses de invierno JJA, el modelo logra una leve sobreestimación de 0.8°C (Tabla N°4). Por otro lado, la varianza de la serie es bien representada, aunque pequeñas diferencias en el rango intercuartílico que suele ser mayor en los meses de MAMJJA y menor en SONDEF, rasgo que no se observa en ciclo anual de las observaciones (Fig. 11a). El ciclo anual observado de los eventos extremos (percentil 5% - 95%) muestra una mayor ocurrencia de eventos extremos cálidos (Fig., 11a $>95\%$) que fríos ($<5\%$), en tanto el modelo subestima la porción superior en JJAS. Las estaciones que conforman la región norte se comportan similar al promedio, aunque las mayores diferencias se presentan en verano en las estaciones de Iquique y Antofagasta (Tabla N°4).

En relación a la temperatura mínima el modelo captura satisfactoriamente el ciclo anual regional con una ligera subestimación en el segundo semestre entre -0.6°C y -2.3°C (Fig. 11b). Sin embargo, esta subestimación está fuertemente influenciada por el error de las estaciones de Arica e Iquique (-3.5°C y 3.0°C , respectivamente) durante la primavera (Tabla N°4). Al igual que la temperatura máxima, se logra detectar que el extremo más cálido de la distribución de la temperatura mínima observada posee un mayor número de eventos en la primera mitad del semestre disminuyendo en los últimos meses del año, el modelo no logra detectar este cambio observado (Fig. 11b). Los ciclos anuales de las estaciones individuales se pueden observar en el anexo D.

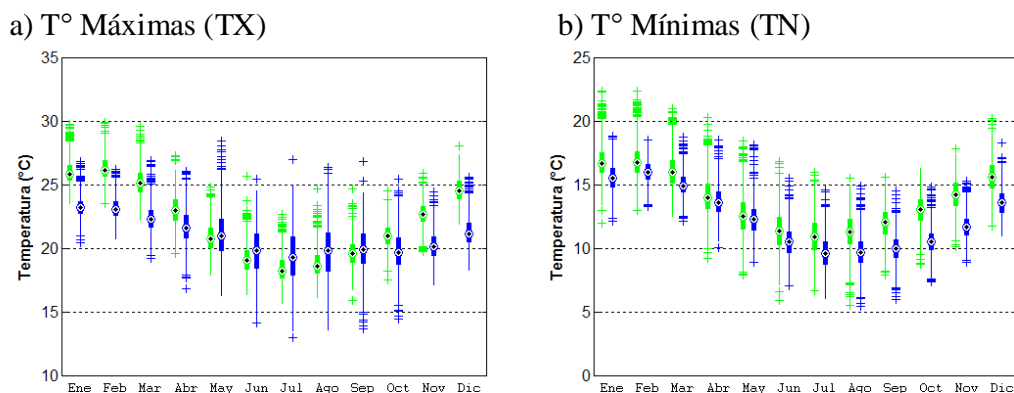


Fig. 11: Ciclo anual de a) temperatura media máxima mensual y b) temperatura media mínima mensual, en la región norte (Arica, Iquique, Antofagasta y Copiapó). Observaciones en color verde y simulación

con PRECIS en azul. Los símbolos del diagrama de caja indican: círculo es la mediana, caja es el rango intercuartílico, barras percentil 5% y 95% y cruces indican valores extremos.

Tabla N°4: Promedio (\bar{x}) y desviación estándar (σ) de las series de temperatura media máxima (TX) y mínima (TN), observadas y simuladas con PRECIS en la región norte. Las diferencias (simuladas – observadas) o error medio en negritas con significativas a un 95% de confianza, mientras que las cursivas lo son a un 90% de confianza.

		T° Máxima						T° Mínima					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
Arica	Anual	22,4	0,98	22,2	1,07	-0,2	0,09	16,0	1,15	13,5	0,84	-2,5	-0,31
	DEF	26,0	0,88	23,4	0,76	-2,6	-0,12	18,4	1,10	16,5	0,82	-1,9	-0,28
	MAM	23,9	0,98	22,8	0,75	-1,1	-0,22	16,4	1,04	15,2	0,81	-1,3	-0,23
	JJA	19,0	1,01	21,0	0,86	2,1	-0,14	13,8	1,15	10,4	0,75	-3,4	-0,40
	SON	20,9	0,81	21,6	0,82	0,6	0,01	15,3	0,80	11,8	0,67	-3,5	-0,14
Iquique	Anual	22,0	0,88	19,5	0,80	-2,5	-0,08	15,6	1,01	13,5	0,80	-2,1	-0,21
	DEF	25,4	0,76	21,3	0,71	-4,1	-0,05	18,0	1,01	16,2	0,77	-1,7	-0,24
	MAM	23,1	0,90	20,5	0,67	-2,6	-0,23	16,3	1,05	15,1	0,65	-1,2	-0,40
	JJA	18,7	0,87	18,1	0,68	-0,6	-0,20	13,5	0,92	11,1	0,74	-2,4	-0,18
	SON	20,7	0,64	18,1	0,63	-2,6	-0,01	14,8	0,64	11,8	0,69	-3,1	0,05
Antofagasta	Anual	20,2	0,80	18,4	0,83	-1,8	0,03	13,7	1,03	12,8	0,83	-1,0	-0,20
	DEF	23,5	0,75	19,4	0,74	-4,1	-0,01	16,4	1,10	15,0	0,74	-1,4	-0,36
	MAM	21,0	0,76	19,5	0,78	-1,5	0,02	14,1	0,99	14,0	0,78	-0,1	-0,21
	JJA	17,2	0,72	17,8	0,77	0,6	0,05	11,2	0,88	11,2	0,77	0,0	-0,11
	SON	19,0	0,56	16,7	0,67	-2,3	0,11	13,3	0,84	11,0	0,67	-2,3	-0,16
Copiapó	Anual	23,8	0,75	23,4	1,12	-0,4	0,38	9,4	1,12	9,4	1,04	0,0	-0,07
	DEF	27,6	0,57	25,2	0,86	-2,3	0,29	12,9	0,96	12,7	0,75	-0,3	-0,20
	MAM	23,9	0,70	23,9	0,80	0,0	0,10	10,0	1,04	10,3	0,87	0,2	-0,17
	JJA	20,0	0,60	21,2	0,84	1,1	0,24	6,0	1,08	7,0	0,97	1,0	-0,10
	SON	23,6	0,57	23,3	0,84	-0,3	0,26	8,7	0,81	8,2	0,81	-0,5	0,00
Regional	Anual	22,1	0,53	20,9	0,46	-1,2	-0,08	13,7	0,75	12,3	0,57	-1,4	-0,18
	DEF	25,6	0,67	22,4	0,68	-3,3	0,01	16,4	0,96	15,0	0,72	-1,5	-0,24
	MAM	23,0	0,77	21,7	0,67	-1,3	-0,10	14,2	0,92	13,6	0,73	-0,6	-0,19
	JJA	18,7	0,70	19,5	0,71	0,8	0,01	11,1	0,94	9,9	0,75	-1,2	-0,19
	SON	21,1	0,56	19,9	0,65	-1,1	0,09	13,0	0,70	10,7	0,67	-2,3	-0,03

Los histogramas junto con la función de distribución de probabilidad acumulada de las series anuales y estacionales de las temperaturas máximas y mínimas para el clima presente, aclaran la subestimación de PRECIS en la media y en la porción más cálida de las curvas (Fig. 12). Las observaciones manifiestan un comportamiento bimodal en la distribución de temperaturas máximas, el modelo en tanto tiene forma normal, caso contrario ocurre con las temperaturas mínimas (Fig. 12). Las distribuciones empíricas anuales acumuladas (CDFs) son significativamente diferentes principalmente en las máximas y los valores más cálidos por sobre la mediana (Fig. 12), de aquí se desprende que los indicadores de eventos extremos cálidos asociados a las temperaturas máximas, como el número de días de verano (SU) o los días cálidos (TX90p) serán subestimados por el modelo.

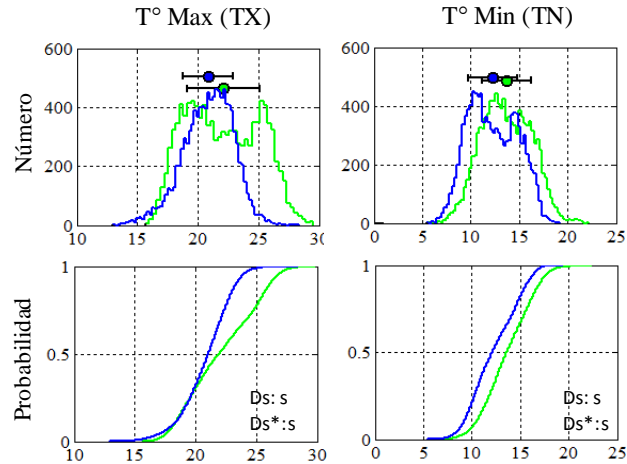
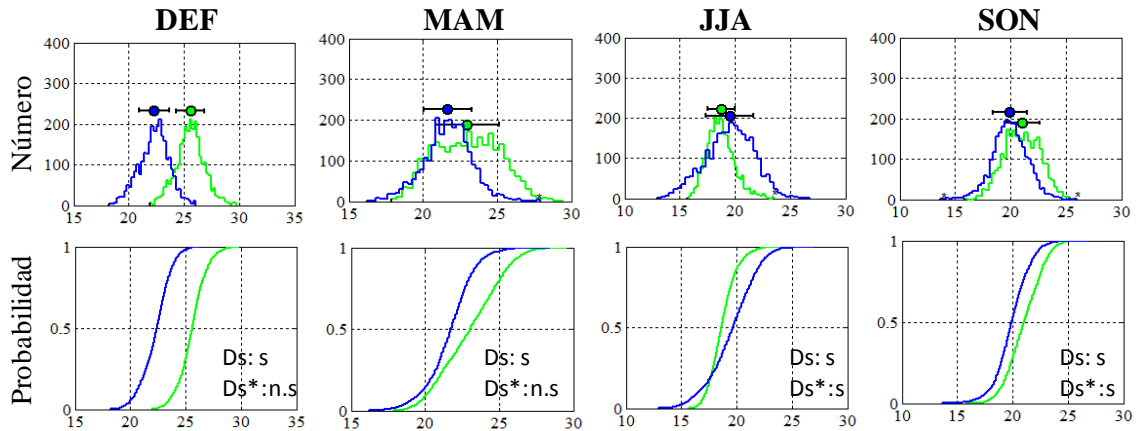


Fig. 12: Arriba: histogramas anuales empíricos del promedio de las estaciones de la zona norte. Línea verde datos observados y línea azul datos de la simulación PRECIS periodo 1961-1990. Abajo, función de distribución acumulada (CDFs). D_s es la significancia del factor del test K-S, D_{s^*} es el factor aplicado a las series diferenciadas.

Estacionalmente, los histogramas muestran una distribución normal bien simulada con PRECIS pero con un corrimiento hacia la izquierda debido a la subestimación de media, esto permite que la diferencia es significativa ($D_s: s$) (Fig. 13). Sin embargo, corrigiendo la media con las series diferenciadas es posible obtener valores críticos del test K-S no significativos ($D_{s^*}: n.s$), es decir, ambas distribuciones, modeladas y observadas, provienen de una misma población, tal es el caso de DEF y MAM en las temperaturas máximas. En las distribuciones de las temperaturas mínimas si bien la diferencia es menor, las CDFs son significativamente diferentes incluso con las series diferenciadas, a pesar de esto JJA y SON es mejor representadas por el modelo (Fig. 13).

Con relación a la función de distribución empírica acumulada CDFs individuales, en particular, Copiapó y Antofagasta revelan una simulación satisfactoria en la distribución de temperatura máxima y mínima (ver anexo E). El verano es en general, bien simulado respecto a su forma en Arica, Iquique y Antofagasta, pero con un importante corrimiento hacia la izquierda, es decir, condiciones más frías que lo observado. Por otro lado el invierno es totalmente contrario, el modelo no simula adecuadamente el sector más cálido de la distribución pero los valores estadísticos como la media, la desviación estándar y el error medio son correctamente simulados con las series diferenciadas (ver anexo E).

a) Temperaturas máximas (TX) estacional de la zona norte.



b) Temperaturas mínimas (TN) estacional de la zona norte.

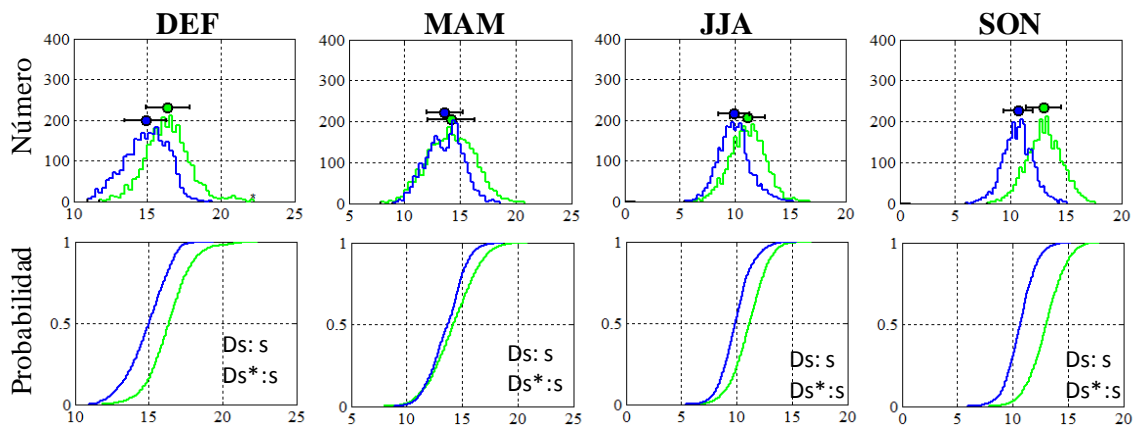


Fig. 13: Histogramas estacionales empíricos y su función de distribución empírica acumulada (CDF) de las a) temperatura máxima y b) temperatura mínima, de la serie regional norte, las curvas verdes son observadas y las simuladas con PRECIS de color azul en el periodo 1961-1990. Se muestra la mediana de la distribución y su rango intercuartílico.

Espacialmente, el comportamiento medio del régimen de la temperatura máxima en la zona norte simulado PRECIS (Mod) y el patrón observado (CRU) muestra una sobrestimación principalmente en altura y al lado Oeste de la cordillera de Los Andes (Fig. 14). El sesgo depende directamente de la altitud, sobre los 5000 m. el error absoluto puede alcanzar los 10°C, mientras que a 1000 m la diferencia disminuye a 2°C, aproximadamente. Bajo los 500 m el modelo subestima los valores de temperatura máxima. En la costa Oeste de Sudamérica, la baja resolución topográfica no permite observar con claridad el efecto pero durante los meses de DEF y SON se logra apreciar que en la línea costa las máximas son subestimadas por el modelo entre 1° y 2 °C, siendo esto coherente con el análisis de las distribuciones con el punto de grilla más cercano a la estación y la serie observada. Es importante señalar que CRU subestima los valores reales en 1°C, aproximadamente.

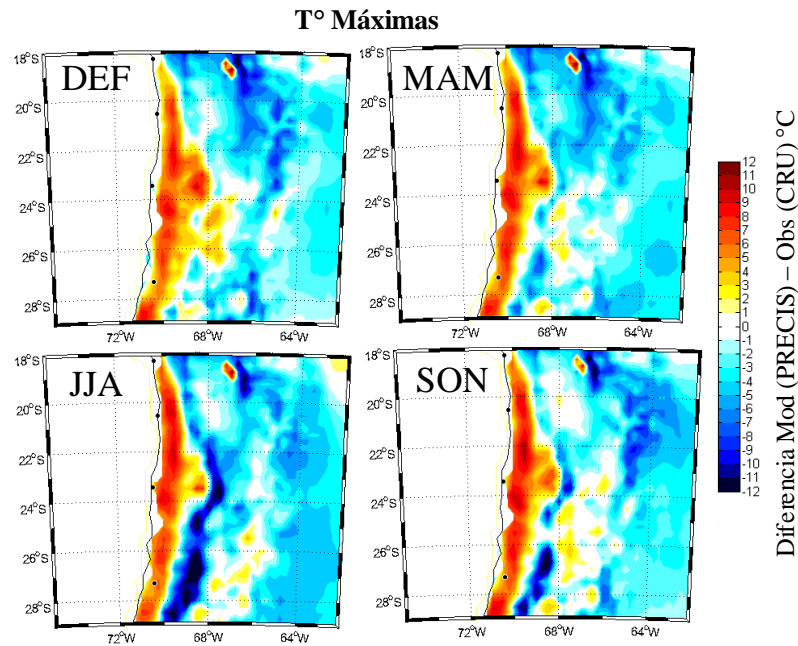


Fig. 14: Mapas de diferencias estacionales entre PRECIS (Mod) y observado (CRU), de la temperatura máxima. Los puntos representan la ubicación de las estaciones meteorológicas estudiadas.

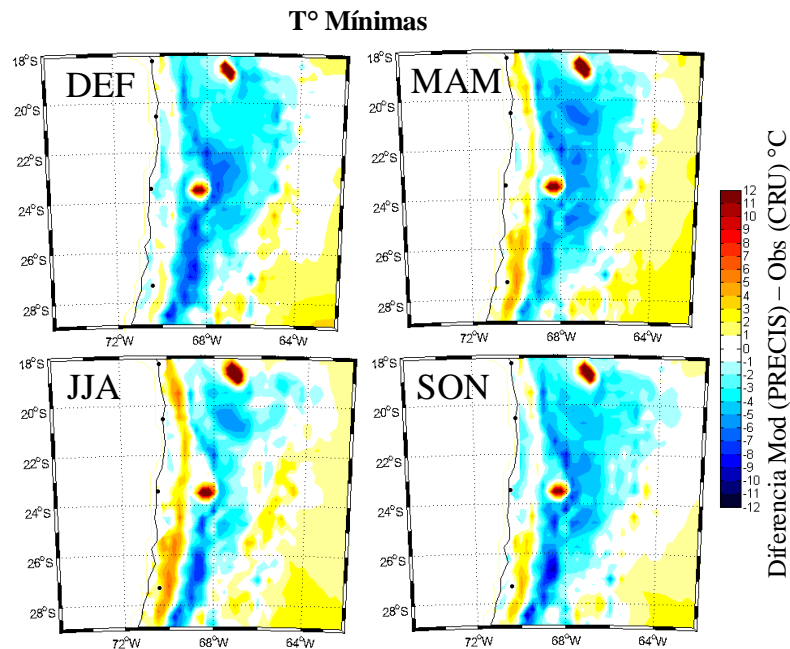


Fig. 15: Igual que la figura 14 pero para la temperatura mínima.

En cuanto a la distribución espacial de la temperatura mínima, el sesgo es menor que en la temperatura máxima, sobre todo en la sobreestimación en la cordillera (Fig. 15). Se aprecia una subestimación al lado Este de la cordillera de hasta 8-9°C. La costa Oeste a los 22°S aproximadamente se observa también una subestimación entre -1° y -3 °C, a diferencia de los que sucede con la temperatura máxima, esta subestimación se prolonga entre los 20° y 24°S y hacia el interior (Fig. 15).

Se hace notar, la presencia de dos núcleos de sobrestimación máxima que supera los 12°C, están ubicados en -23,5°S y -69,8°W y el otro en aproximadamente los -18.5°S y -65°W, tales núcleos pueden deberse a un error en el modelo PRECIS específicamente en la representación del terreno. Tal error se puede apreciar en el corte transversal de la cordillera de los Andes de la región norte a la latitud de 23°S cerca de Antofagasta (ver figura 6, capítulo 1), la topografía de PRECIS (línea roja) cae abruptamente en los 68.4°W y recuperándose en los 68°W.

Precipitación: Los escasos eventos de precipitación observados en la región norte de Chile, contrasta con los eventos simulados con PRECIS. En Arica el 100% de los días del año, PRECIS simula precipitación con promedio de 1.8 mm diarios lo que totaliza al año un promedio de 640 mm acumulados. Lo mismo sucede con Iquique (\bar{x} : 1.2 mm; total acum. anual: 446 mm) y Antofagasta (\bar{x} : 1.1 mm; total acum. anual: 390 mm). Tanto la cantidad de precipitación diaria como el número de días con precipitación (RND) disminuyen a medida que avanza hacia el Sur. Cabe destacar, que los puntos de grilla más cercanos de las estaciones estudiadas están sobre suelo (Fig. 6, 7, 8, 9, capítulo 1). Esta precipitación simulada por el modelo es apreciable en la costa y no al interior en la misma latitud. En los meses de verano DEF el monto de precipitación es mayor y menor en primavera (Fig. 16). Posiblemente la capa de estratocúmulos junto con la altura de la estación simulada, son los factores predominantes en los errores producidos por el modelo para la simulación de la precipitación en esta parte del dominio.

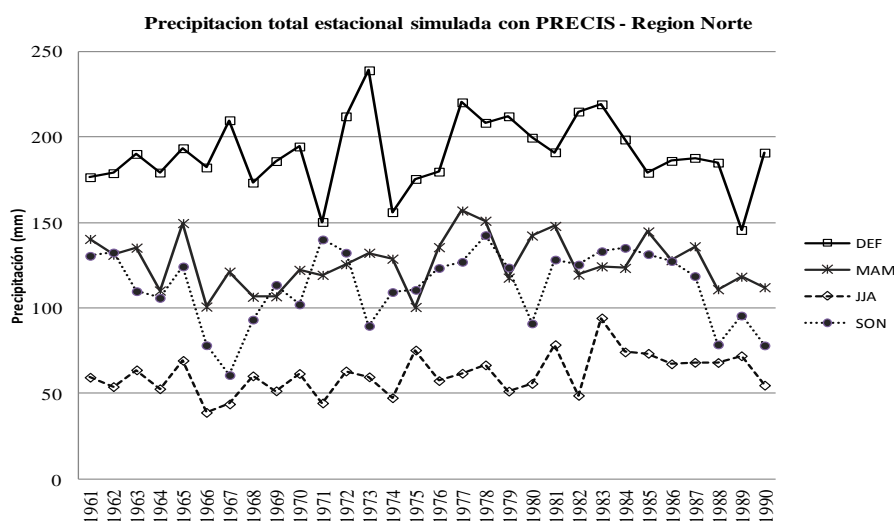


Fig. 16: Series de tiempo simuladas con PRECIS del clima actual (1961-1990) para el promedio regional norte de la precipitación acumulada estacional (excluida Copiapó).

No obstante, la precipitación simulada con PRECIS en el norte de Chile comienza a ser coherente alrededor de Copiapó (latitud 28°S), en cuanto a los montos de precipitación anual donde el error absoluto es de aproximadamente 5 mm, que corresponde a un 35% más de precipitación que la observada (Tabla N°5). La comparación de media es significativamente diferente en verano y otoño, el periodo estival prácticamente no hay precipitación, sin embargo, el modelo muestra precipitación no superior a 1 mm en aquellos meses (Fig.17), también sobrestima el número de días con precipitación (Tabla N°5). En invierno (JJA) en cambio es ligeramente mejor, principalmente en agosto, pero el máximo (junio con un total mensual de 5 mm) no coincide con el máximo observado de ~7 mm en julio. Finalmente, PRECIS no simula

adecuadamente el ciclo anual de la precipitación (PrpTOT) y del número de días con precipitación (RND), este último muestra una distribución uniforme en el primer semestre ya partir de junio disminuye gradualmente hasta noviembre (Fig.17).

Tabla N°5: Promedio (\bar{x}) y desviación estándar (σ) de precipitación (PrpTOT) y número de días con precipitación (RND), observadas y simuladas con PRECIS para Copiapó. Las diferencias (simuladas – observadas) o error absoluto en negrita son significativas a un 95% de confianza, mientras que las cursivas lo son a un 90% de confianza.

		Precipitación						Número de días con precipitación					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
Copiapó	Anual	13,4	2,5	18,2	2,7	4,7	0,2	1,8	0,3	8,5	1,0	6,6	0,7
	DEF	0,1	0,5	3,6	2,7	3,5	2,2	0,0	0,2	2,6	1,9	2,6	1,7
	MAM	1,7	3,8	8,0	11,3	6,3	7,5	0,4	0,7	3,2	2,9	2,8	2,2
	JJA	10,8	12,6	5,5	5,4	-5,3	-7,2	1,3	1,3	1,8	1,6	0,5	0,3
	SON	0,8	3,0	1,0	1,7	0,2	-1,3	0,1	0,3	0,8	1,2	0,7	0,9

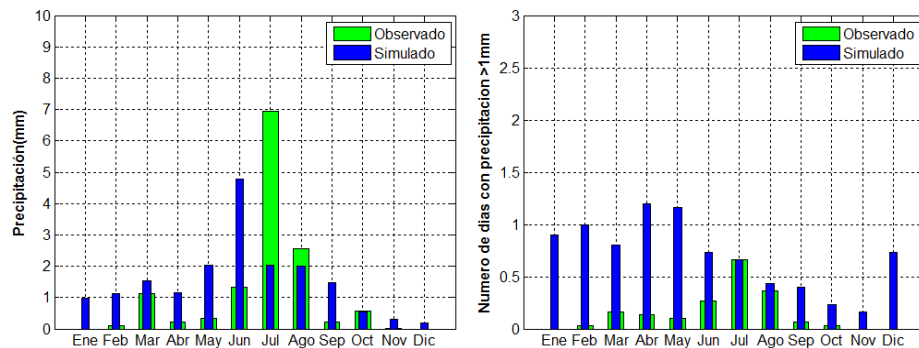


Fig. 17: Izquierda: ciclo anual (en base a la serie del clima actual 1961-1990) de la precipitación total mensual en Copiapó. Derecha: corresponde al ciclo anual del número de días con precipitación. Las barras verdes son datos observados y las barras azules son datos de la simulación PRECIS.

En la distribución de frecuencia absoluta anual se observa que efectivamente la cantidad de precipitación sobrestimada por el modelo corresponden a montos pequeños de precipitación entre 1-2 mm, con una frecuencia absoluta de hasta 200 días al año, luego los eventos simulados caen abruptamente con muy pocos episodios de precipitación, el evento máximo alcanza los 12 mm aproximadamente (Fig.18). En contraste, la distribución de los datos observados de Copiapó manifiesta una distribución de forma uniforme, con un rango máximo hasta 25 mm y una frecuencia no mayor a 13 días al año. La cantidad de eventos de precipitación en el año alcanza 55 días, el modelo simula 254 eventos un 450% más de días con precipitación.

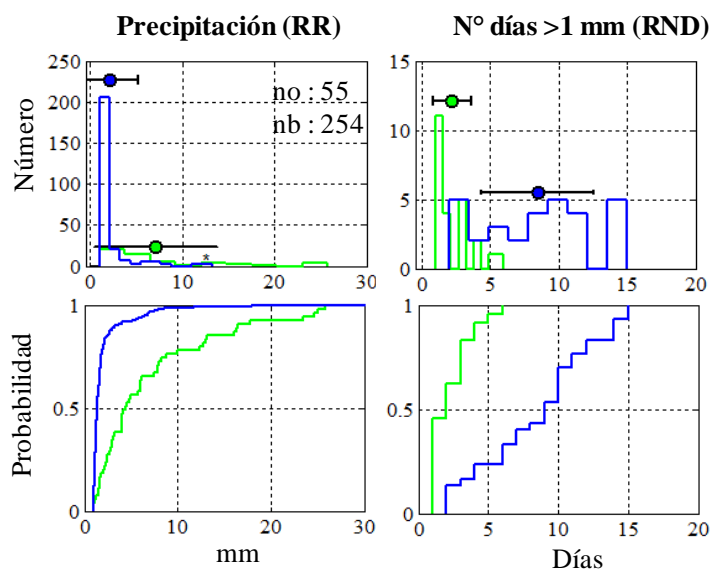


Fig. 18: Arriba, distribución de frecuencia absoluta para la precipitación (PrcpTOT) y el número de días con PrcpTOT>1 mm. Abajo: distribución acumulada empírica (CDF) del promedio de las observaciones (línea verde) y del modelo PRECIS (línea azul) para Copiapó.

Finalmente, PRECIS logra capturar el ciclo anual de la temperatura mínima (TN) y máxima (TX), así como también la forma de las distribuciones de frecuencia absoluta y empírica acumulada. Se observa una subestimación entre 1 y 4°C, siendo menor en TN que en TX y en el extremos más cálido de la distribución. En general, verano y otoño son las estaciones más pobremente representadas por el modelo. En relación a la precipitación, PRECIS no logra capturar el ciclo anual, ni su distribución de frecuencias, lo mismo sucede con el RND. En general, PRECIS sobrestima la frecuencia anual de los montos pequeños de precipitación.

4.1.1.2 *Región Centro (La Serena, Valparaíso, Santiago, Curicó, Chillán y Concepción).*

Temperatura: El ciclo anual de la temperatura mínima en la región central es mejor simulado con PRECIS que el de la temperatura máxima (Fig. 19). Ambas tienen una sobreestimación en el primer semestre del año entre 2,2°C y 1,2°C para la TX y TN, respectivamente. Entre julio y diciembre de las temperaturas mínimas (Fig. 19b) el modelo logra capturar satisfactoriamente las variables estadísticas mensuales como media, el rango intercuartílico (percentil 25-75%) y los valores extremos (percentil 5 y 95%).

Durante el periodo estival (DEF) se producen las mayores diferencias con relación a la simulación regional alrededor de 3.8 °C, mientras que en invierno JJA existe un error absoluto de 0.8°C con respecto a la TX y en primavera SON sólo alcanza los 0.4°C en la temperatura mínima (Tabla N°6).

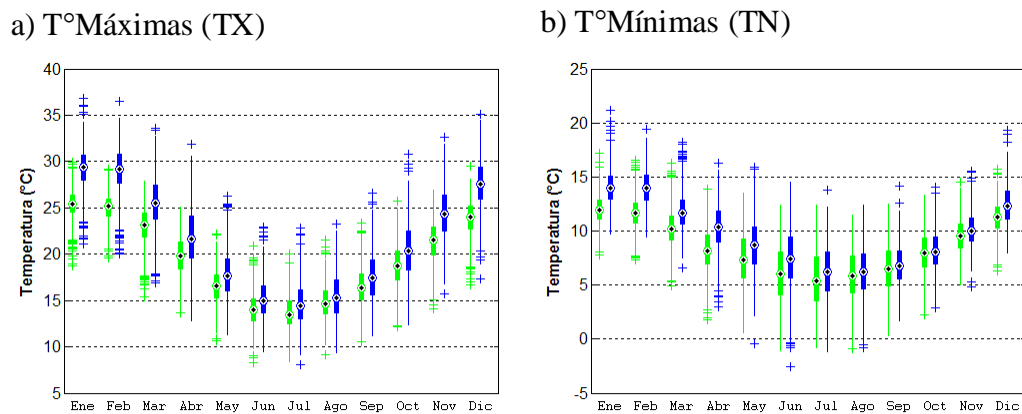


Fig. 19: Igual que la figura 11 pero para la región centro.

Este conjunto regional de estaciones se caracteriza por representar estaciones ubicadas en la costa como La Serena, Valparaíso y Concepción, y las ubicadas en los valles como Santiago, Curicó y Chillán, y por lo tanto, se observan diferencias importantes en la representación del ciclo anual. Precisamente, en La Serena y Valparaíso, los errores absolutos de la temperatura máxima son significativamente sobrestimados en contraste con aquellas que se ubican en los valles (ver Anexo D). En cambio, las diferencias de promedios anuales y estacionales de la temperatura mínima de las estaciones marítimas son inapreciables (Tabla N°6).

Con respecto a la distribución de frecuencias regionales de las temperaturas extremas regionales (Fig. 20), éstas se ajustan cómodamente a una distribución estadística normal, sin embargo, la media es sobrestimada en todas las estaciones del año, el modelo simula bien la porción fría de la distribución pero sobreestima la porción más cálida a diferencia de lo que sucede con la región norte, esto es más evidente en las temperaturas máximas que en las mínimas (Fig. 20). También se observa una buena simulación en la varianza a excepción del verano DEF, pero en general las temperaturas mínimas son mejor representadas por la distribución simulada mostrando sólo un corrimiento hacia la derecha (asimetría positiva), lo que implica que las series diferenciadas no sean significativas según el test K-S, es decir, luego de la corrección de la media las CDF son similares (Fig. 20 y ver Anexo F).

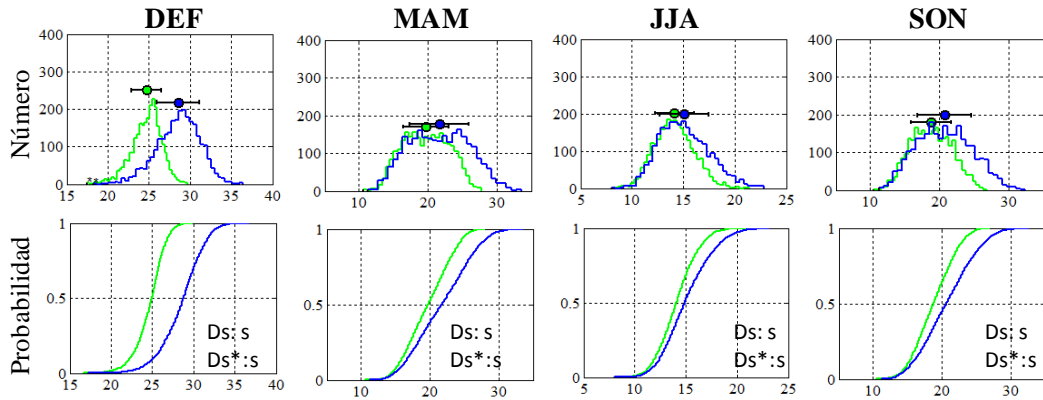
En el análisis de las CDFs individuales se observa que a excepción de Valparaíso y La Serena, el modelo refleja bien la distribución de extremos de temperaturas, aunque sigue siendo el periodo de DEF el que presenta mayores dificultades para representar los datos reales de las temperaturas máximas, incluso un 75% de las series diferenciadas siguen siendo significativamente distintas según el test K-S (Anexo E y F).

Por el contrario, la comparación de las distribuciones empíricas acumuladas de las temperaturas mínimas revela que el modelo es capaz de simular apropiadamente todas las estaciones del año en La Serena y Santiago, las diferencias comienzan a amplificarse en verano entre Curicó y Concepción (Anexo E y F).

Tabla N°6: Igual que la tabla 4 pero para las temperaturas extremas de la región centro.

		T° Máxima						T° Mínima					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
La Serena	Anual	18,2	0,81	22,4	0,94	4,2	0,13	10,3	0,91	10,4	0,94	0,1	0,03
	DEF	21,2	0,68	25,7	0,67	4,5	0,00	13,2	0,70	12,8	0,62	-0,4	-0,07
	MAM	18,5	0,72	22,8	0,51	4,4	-0,21	10,8	0,79	11,1	0,80	0,3	0,01
	JJA	15,7	0,58	18,8	0,67	3,1	0,09	7,6	0,81	8,3	0,84	0,7	0,03
	SON	17,5	0,68	22,3	0,72	4,8	0,04	9,5	0,66	9,2	0,78	-0,3	0,12
Valparaíso	Anual	17,0	0,92	20,8	1,05	3,8	0,13	11,3	0,86	10,9	0,90	-0,4	0,04
	DEF	19,9	0,85	25,7	0,80	5,9	-0,05	13,4	0,69	13,8	0,66	0,4	-0,03
	MAM	17,5	0,65	21,5	0,53	4,0	-0,12	11,8	0,73	11,7	0,67	0,0	-0,06
	JJA	14,5	0,69	15,9	0,62	1,4	-0,08	9,4	0,67	8,4	0,70	-1,1	0,03
	SON	16,2	0,87	20,1	0,85	3,9	-0,03	10,6	0,62	9,8	0,64	-0,9	0,02
Santiago	Anual	22,5	1,18	24,2	1,35	1,7	0,16	8,3	1,03	8,4	1,16	0,1	0,13
	DEF	29,1	0,71	32,4	0,94	3,3	0,23	12,5	0,68	12,4	0,84	-0,1	0,16
	MAM	23,0	0,60	24,6	0,82	1,5	0,22	8,4	0,80	8,8	0,88	0,5	0,08
	JJA	15,6	0,87	15,8	0,75	0,2	-0,12	4,3	1,03	4,8	0,96	0,4	-0,07
	SON	22,2	0,88	23,9	1,29	1,7	0,41	8,1	0,68	7,5	0,64	-0,6	-0,04
Curicó	Anual	20,8	1,00	22,4	1,34	1,6	0,34	6,6	1,32	8,8	1,16	2,2	-0,16
	DEF	28,7	0,68	32,1	1,10	3,4	0,42	10,3	0,96	13,5	0,81	3,2	-0,16
	MAM	20,9	0,72	22,3	1,07	1,4	0,36	6,2	1,18	9,3	0,85	3,1	-0,33
	JJA	12,9	0,60	14,0	0,58	1,0	-0,01	3,6	1,17	5,1	0,92	1,6	-0,25
	SON	20,6	0,75	21,3	1,22	0,7	0,47	6,4	0,92	7,4	0,60	<i>1,0</i>	-0,32
Chillán	Anual	20,1	1,18	21,7	1,47	1,6	0,28	6,7	1,19	9,0	1,16	2,3	-0,03
	DEF	27,7	1,00	31,8	1,36	4,2	0,36	10,1	0,77	14,0	0,88	3,9	0,11
	MAM	20,5	0,81	21,3	1,30	0,8	0,49	6,5	0,93	9,3	0,76	2,9	-0,16
	JJA	12,8	0,59	13,3	0,46	0,5	-0,13	4,0	0,91	5,2	0,91	<i>1,2</i>	0,00
	SON	19,5	0,82	20,4	1,27	0,8	0,45	6,1	0,78	7,4	0,60	1,3	-0,17
Concepción	Anual	17,6	0,70	17,7	1,02	0,1	0,32	7,8	1,12	10,5	0,90	2,7	-0,23
	DEF	22,0	0,61	23,8	1,08	1,8	0,48	10,2	0,69	14,2	0,79	4,0	0,10
	MAM	18,1	0,41	17,7	0,84	-0,4	0,43	8,0	0,76	11,1	0,64	3,1	-0,12
	JJA	13,4	0,51	12,8	0,37	-0,6	-0,14	5,9	0,91	7,7	0,62	1,8	-0,30
	SON	16,9	0,45	16,3	0,78	-0,6	0,33	7,0	0,71	9,0	0,47	2,1	-0,24
Regional	Anual	19,4	1,0	21,5	1,2	2,2	0,2	8,5	1,1	9,7	1,0	1,2	0,0
	DEF	24,8	0,8	28,6	1,0	3,8	0,2	11,6	0,7	13,5	0,8	1,8	0,0
	MAM	19,7	0,7	21,7	0,8	2,0	0,2	8,6	0,9	10,2	0,8	1,6	-0,1
	JJA	14,1	0,6	15,1	0,6	1,0	-0,1	5,8	0,9	6,6	0,8	0,8	-0,1
	SON	18,8	0,7	20,7	1,0	1,9	0,3	8,0	0,7	8,4	0,6	<i>0,4</i>	-0,1

a) Temperaturas máximas (TX) estacional de la zona centro.



b) Temperaturas mínimas (TN) estacional de la zona centro.

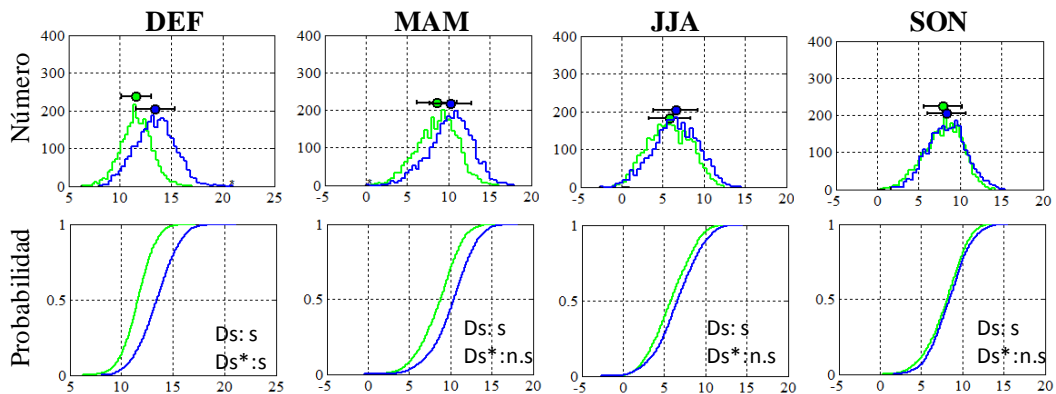


Fig. 20: Igual que la figura 13, pero para las distribuciones de la región central.

En cuanto a la distribución espacial de los errores absolutos de las temperaturas extremas simuladas, se puede mencionar que la comparación entre lo observado (CRU) y lo simulado con PRECIS son menores que las exhibidas en la región norte. En la temperatura máxima las mayores diferencias se observan en verano con sobrestimación entre los 30° y 35°S en especial en los valles del lado Oeste de la cordillera de Los Andes (Fig. 21). En otoño, invierno y primavera la sobrestimación se presenta hacia el norte de la región central entre los 28° y 32°S, mientras que en cordillera es cierta una subestimación mayor a 10°C, principalmente en primavera (Fig. 21). Durante el invierno PRECIS logra anular las diferencias con relación al patrón observado de las temperaturas máximas en la franja entre los 32° y 38°S, que involucran casi todas las estaciones estudiadas a excepción de La Serena (Fig. 21).

T° Máximas

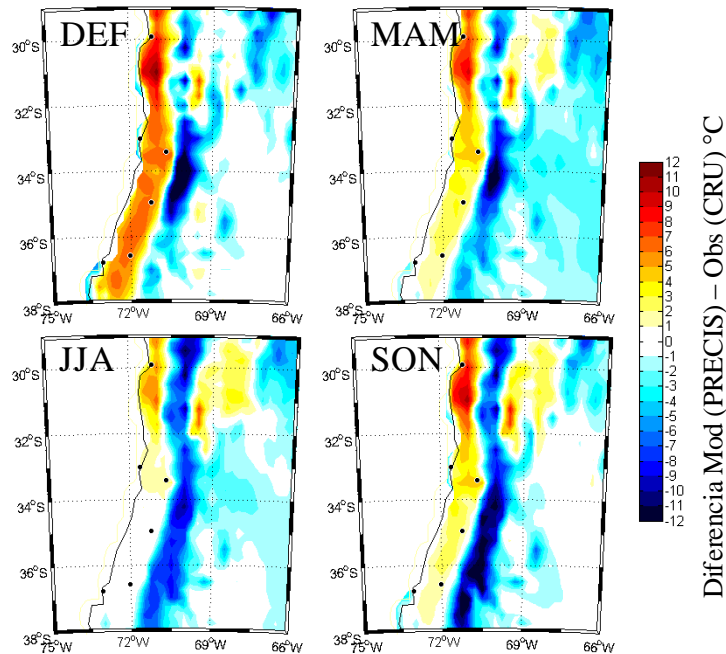


Fig. 21: Igual que la figura 14 pero para la región central.

En la temperatura mínima el patrón espacial de anomalías muestra una sobrestimación menor que la temperatura máxima y preferentemente entre los 34°-38°S, no supera los 4°C, éstas suelen ser más importantes en zonas donde la topografía juega un rol importante como por ejemplo en la cordillera de Nahuelbuta y el Cerro Caracol cerca de Concepción (~37°S). En altura la temperatura mínima son subestimadas por el modelo entre los 28°S y los 35°S, luego el error disminuye conforme con la altura de la cordillera (Fig. 22). En verano y otoño las anomalías positivas son mayores que en invierno y primavera.

Precipitación: El ciclo anual de la precipitación en la región central de Chile, es relativamente bien representado por el modelo PRECIS (Fig. 23 a). El total anual es sobrestimado por el modelo en un 7% (Tabla N°7). Mensualmente, el modelo subestima la precipitación entre enero y junio, principalmente en el mes de mayo (~40% menos), mientras que a partir de julio hasta octubre el modelo sobreestima la precipitación en un orden de 17% aproximadamente como promedio. Esta diferencia negativa en los primeros meses del año, se debe en parte a que PRECIS subestima el número de días con lluvia en 2 eventos por mes (Fig. 23). El RND total anual observado es de aprox. 44 eventos y el modelo indica 50 eventos, tan sólo un 17% más de eventos simulados (Tabla N°7). Luego, en el segundo semestre el RND es sobrestimado ligeramente en consistencia con el aumento de precipitación revelado en estos meses (Fig. 23 a y b).

T° Mínimas

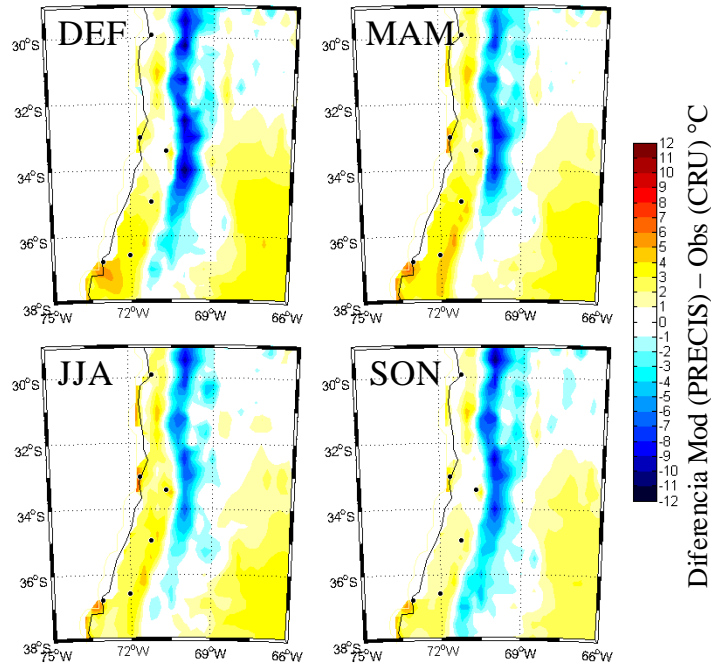


Fig. 22: Igual que la figura 14 pero para la temperatura mínima de la región central.

Analizando cada estación, el ciclo anual de La Serena es muy bien simulado con PRECIS en sus máximos y mínimos pero con subestimación en cada mes, por el contrario RND sobrestima los valores mensuales. Desde ahí al sur el comportamiento es equivalente en las restantes estaciones de la región central, es decir, subestima la precipitación y el número de días en el periodo estival (~50%) y los sobrestima en invierno y primavera en el mismo orden (ver anexo D). También hay que mencionar, que en Valparaíso durante enero, febrero y marzo el modelo sobrestima el RND en 4 veces su valor observado (ver anexo D).

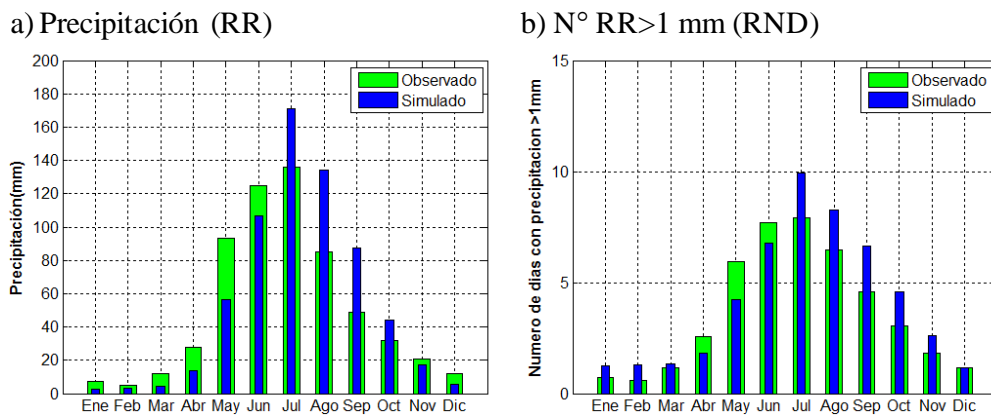


Fig. 23: Ciclo anual de a) la precipitación total mensual en mm para el promedio regional de la zona central y b) es el correspondiente al número de días con precipitación > 1 mm (RND). Las barras verdes corresponde a datos reales observados y las barras azules son los datos de las estaciones simuladas con PRECIS.

La distribución de frecuencia absoluta de la precipitación anual en la región central tiene forma exponencial la cual es correctamente simulada por el modelo PRECIS (Fig. 25a), a pesar de esto, el modelo tiende a sobrestimar la cantidad de valores pequeños de precipitación (de 1 a 2 mm) y a generar un mayor número de eventos extremos (mayores a 38 mm). Esto ocurre en el promedio regional, pero La Serena, Valparaíso y Santiago, muestran una sobrestimación de la cantidad de eventos concentrados entre 1 a 5 mm en casi un 200%, y en el extremo superior de la distribución de frecuencia los valores son subestimados (Fig. 24). Las estaciones ubicadas al sur de la región central, tiene el mismo comportamiento pero los eventos extremos son por el contrario, sobrestimados (ver anexo E). En relación al número de días RND, su distribución de frecuencias muestra un comportamiento no bien definido, pero se puede determinar que el rango mínimo y máximo ésta sobrestimado por el modelo (corrimiento hacia la derecha), esta diferencia es de aproximadamente 5 eventos más por año como promedio (Fig. 24), tan sólo un 15% de diferencia de los extremos mínimos y máximos de la distribución empírica (Tabla N°7).

En definitiva, entre los 30° y 36°S el modelo PRECIS muestra ligeras diferencias entre un 10% y un 20% menos de precipitación anual que CRU (observado) en los valles, pero hacia la cordillera el modelo presenta importantes errores medios que sobrepasan en más del 100% la cantidad de precipitación observada (Fig. 25). Favorablemente, las estaciones estudiadas se encuentran justo en el límite de altura donde el error comienza a ser significativo (~ 500 m). El error % de la precipitación es poco homogéneo respecto a la geografía y a la estacionalidad, así las principales diferencias porcentuales se observan en verano entre los 34°-38°S mostrando casi un 90% menos de precipitación que la observada (Fig. 25).

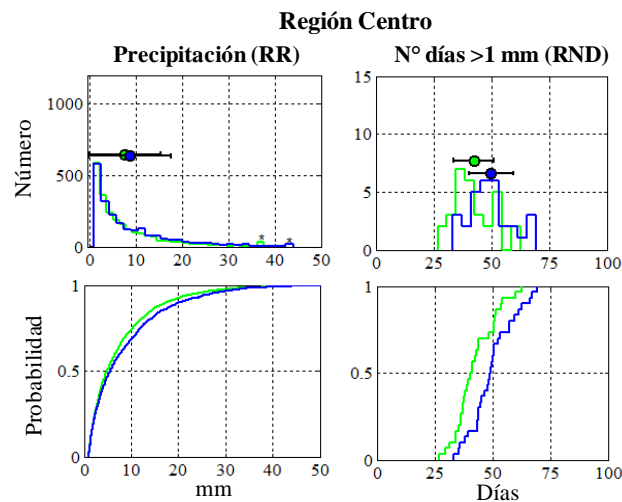


Fig. 25: Arriba, distribución de frecuencia absoluta para la precipitación (PrpTOT) y el número de días con PrpTOT>1 mm. Abajo: distribución acumulada empírica (CDF) del promedio de las observaciones (línea azul) y del modelo PRECIS (línea verde) para la región centro.

Por el contrario, en MAM dominan las diferencias positivas por sobre los 33°S en una delgada franja que corresponde a la cordillera de la costa, los errores fluctúan entre el 20% y 90% más de precipitación que la observada. En invierno es la estación del año que presenta las menores diferencias respecto del año que no excede el 20% (Fig.25).

Tabla N°7: Igual que la tabla 5 pero para precipitación y número dos días con precipitación en la región centro.

		Precipitación						Número de días con precipitación					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
La Serena	Anual	78,3	10,8	62,8	7,0	-15,5	-3,8	7,1	0,8	10,6	0,9	3,5	0,1
	DEF	0,1	0,2	0,0	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
	MAM	6,3	9,7	15,4	15,1	9,1	5,5	0,8	1,0	3,1	2,3	2,3	1,3
	JJA	62,5	59,2	44,9	32,8	-17,7	-26,4	5,1	3,4	6,4	2,6	1,3	-0,8
	SON	9,4	14,8	2,5	5,2	-6,9	-9,6	1,1	1,6	1,0	1,2	-0,1	-0,4
Valparaíso	Anual	375,5	34,8	653,8	25,4	278,3	-9,3	26,1	1,7	142,3	3,5	116,1	1,8
	DEF	1,7	3,7	178,6	31,3	176,9	27,6	0,4	0,8	57,5	9,7	57,1	8,9
	MAM	68,2	75,6	141,6	42,4	73,4	-33,2	5,1	3,0	31,0	7,2	25,9	4,2
	JJA	261,3	146,9	236,6	86,0	-24,7	-61,0	15,9	6,5	23,4	4,9	7,6	-1,5
	SON	44,2	39,0	94,9	21,4	50,7	-17,6	4,8	3,1	30,3	5,5	25,6	2,4
Santiago	Anual	310,7	26,7	313,5	20,9	2,8	-5,8	26,8	1,8	33,4	1,8	6,5	0,0
	DEF	3,2	7,1	3,1	7,2	-0,2	0,1	0,7	1,1	0,8	1,4	0,1	0,3
	MAM	54,0	43,2	65,1	45,4	11,1	2,2	5,2	2,6	7,7	3,6	2,5	0,9
	JJA	208,6	120,5	215,1	76,7	6,4	-43,8	15,3	6,0	18,7	5,6	3,4	-0,4
	SON	44,8	30,0	30,3	28,7	-14,6	-1,3	5,6	3,4	6,2	4,1	0,6	0,7
Curicó	Anual	695,8	50,3	736,0	40,8	40,2	-9,5	47,2	2,5	50,0	2,2	2,8	-0,2
	DEF	14,8	21,9	3,3	7,6	-11,5	-14,4	1,8	2,4	0,8	1,4	-1,1	-0,9
	MAM	152,2	108,2	202,2	102,6	50,1	-5,6	10,2	5,1	12,8	5,2	2,6	0,2
	JJA	411,6	174,3	462,5	152,0	50,9	-22,3	24,8	7,3	27,9	6,3	3,1	-1,1
	SON	117,0	66,2	68,0	50,8	-49,0	-15,5	10,3	5,1	8,5	5,7	-1,8	0,6
Chillán	Anual	1067,2	61,1	1131,1	56,9	63,9	-4,2	72,1	3,0	71,9	2,9	-0,2	-0,1
	DEF	61,5	57,9	14,8	20,5	-46,7	-37,4	5,2	3,6	2,4	2,4	-2,8	-1,2
	MAM	260,9	165,8	327,5	167,6	66,6	1,8	17,1	7,0	19,2	6,9	2,0	0,0
	JJA	544,8	188,4	664,8	187,6	120,0	-0,8	32,8	8,1	36,5	7,7	3,7	-0,4
	SON	199,0	99,3	123,9	60,6	-75,1	-38,7	16,9	5,8	13,8	6,4	-3,2	0,6
Concepción	Anual	1096,8	56,7	1229,0	58,8	132,2	2,1	82,0	2,9	90,0	3,2	8,0	0,3
	DEF	63,0	50,8	25,6	27,4	-37,4	-23,3	6,4	3,9	7,0	3,6	0,6	-0,3
	MAM	255,0	140,1	360,8	166,9	105,8	26,8	19,4	6,1	25,0	7,4	5,6	1,3
	JJA	585,8	168,1	695,0	163,0	109,2	-5,1	38,5	6,8	41,3	7,8	2,8	1,0
	SON	192,9	83,7	147,4	64,1	-45,5	-19,6	17,7	5,4	16,6	5,8	-1,1	0,4
Regional	Anual	604,1	40,0	687,7	35,0	83,6	-5,1	43,6	2,1	66,4	2,4	22,8	0,3
	DEF	24,1	23,6	37,6	15,7	13,5	-7,9	2,4	2,0	11,4	3,1	9,0	1,2
	MAM	132,8	90,4	185,4	90,0	52,7	-0,4	9,7	4,1	16,5	5,4	6,8	1,3
	JJA	345,8	142,9	386,5	116,3	40,7	-26,6	22,1	6,4	25,7	5,8	3,7	-0,5
	SON	101,2	55,5	77,8	38,5	-23,4	-17,0	9,4	4,1	12,7	4,8	3,3	0,7

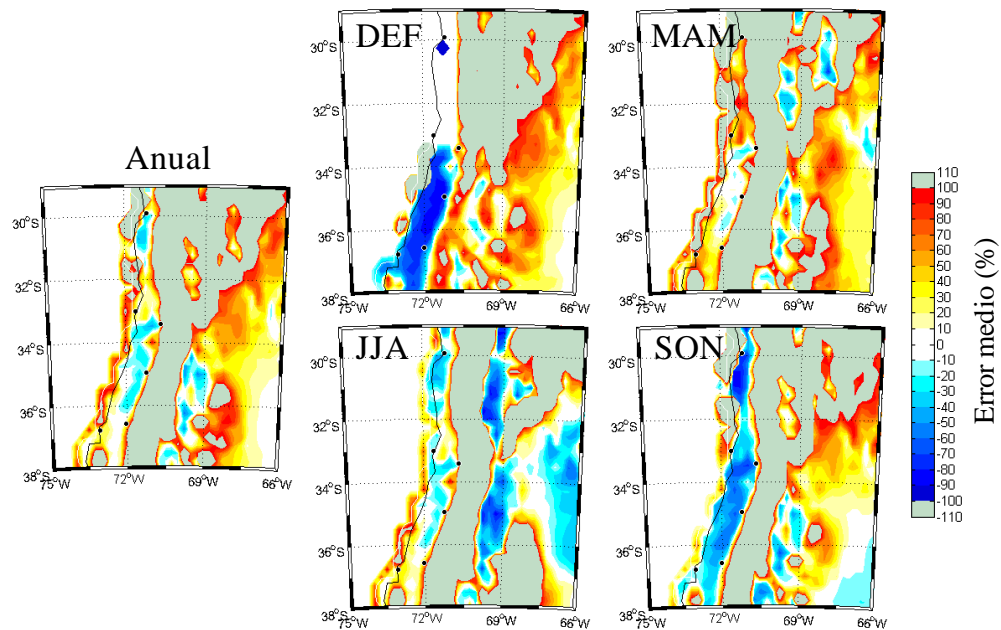


Fig. 25: Distribución espacial de las diferencias porcentuales (o error medio) entre el campo simulado con PRECIS y el campo observado (CRU) para el periodo 1961-1990 de la cantidad de precipitación anual y estacional (PrcptOT) para la región centro.

En conclusión la región centro, la verificación de las observaciones con las series de tiempo del modelo PRECIS para el periodo 1961-1990, sugieren que el modelo es capaz de simular satisfactoriamente el ciclo anual y las distribuciones de frecuencia (aunque al respecto, el modelo sobrestima la parte cálida de la distribución principalmente en la TX). Gran parte de las distribuciones individuales muestra un comportamiento normal y las diferencias con relación a la simulación es sobre la media y no sobre la varianza. De este análisis se excluye Valparaíso, que muestra el mayor porcentaje de errores medios. Además, DEF es la estación que compromete las mayores diferencias entre el observado y simulado. Por su parte, la TN es mejor simulada que TX. Con relación a la precipitación, el modelo PRECIS se ajusta de manera adecuada a la distribución mensual o ciclo anual de la precipitación en la región central (obviando nuevamente a Valparaíso). En general, el modelo subestima la precipitación total anual en la parte sur de la región entre un 10-20%, siendo más importante DEF con una subestimación que alcanza el 90%, pero se destaca que los pocos eventos que ocurren en esta zona hace que estadísticamente no sean significantes. Durante otoño en tanto, el modelo sobrestima la precipitación entre un 30 y 70% al norte de los 33°S. A partir de aproximadamente los 600 m de altitud, PRECIS sobrestima la precipitación anual y estacional en más del 100%.

4.1.1.3 *Región Sur (Temuco, Valdivia, Osorno y Pto. Montt).*

Temperatura: La forma del ciclo anual de las temperaturas extremas es correctamente simulada con PRECIS (Fig. 26). Se observa sobrestimación de $\sim 1.2^{\circ}\text{C}$ en enero y febrero en la temperatura máxima y sobre 3°C en la temperatura mínima (Tabla N°8). La temperatura mínima es sobrestimada desde enero hasta julio, en los meses siguientes disminuye su diferencia. También, en los meses más cálidos del año el modelo sobrestima el rango intercuartílico, es decir, PRECIS simula una varianza mayor que la observada en este periodo del año, igualmente los extremos

cálidos tienen una mayor frecuencia simulada con PRECIS (Fig. 26). Las mayores diferencias de TX positivas se presentan en Temuco y Valdivia con 2,6°C y 2,1°C, respectivamente. Del mismo modo, modelo sobrestima la TN en todas las estaciones de la zona sur y superan los 2,9°C (Tabla N°8). En Puerto Montt, es la estación en la que se observan las mayores diferencias respecto al valor observado que pueden alcanzar +4°C durante invierno (Tabla N°8).

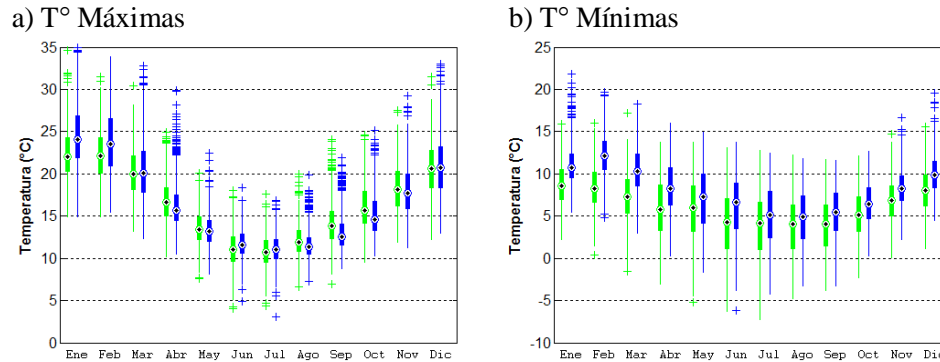


Fig. 26: Igual que la figura 11 pero para el ciclo anual de la región sur.

Definitivamente, en la región sur la temperatura máxima es mejor simulada que en el resto del país en cuanto a la comparación de la media y varianza, como también a la representación del ciclo anual que es más acentuado en los meses fríos indicando una mayor estacionalidad (Fig. 26). El ciclo anual de la temperatura mínima es más suave, y si bien el modelo sigue adecuadamente el patrón mensual, las diferencias entre el modelo y la observación son más significativas que en la región centro, aunque gran parte de esta diferencia es producto de los errores absolutos de la estación de Puerto Montt (ver anexo D para los ciclos anuales individuales). A la par, con la bien ajustada simulación del ciclo anual por el modelo PRECIS, la representación de las distribuciones de frecuencia absoluta y distribuciones empíricas acumuladas también son apropiadas. En efecto, se observa que las curvas simuladas y observadas del promedio regional exhiben un perfil normal con sesgo a la izquierda (asimetría negativa), a excepción del periodo JJA que no tiene sesgo importante, este rasgo es correctamente simulado por el modelo (Fig. 27). Se observa también un mayor número de eventos cálidos en el extremo derecho de la distribución en DEF simulados por el modelo, en concordancia con lo observado en el ciclo anual (Fig. 27). En relación a las temperaturas mínimas, las distribuciones también son normales pero con sesgo hacia la derecha (asimetría positiva) y el modelo también lo simula apropiadamente, en esta zona la diferencia mayor se debe solamente a una sobrestimación de la media, por consiguiente, la corrección usando las series diferenciadas demuestran que la simulación de PRECIS es similar a las observadas según el test K-S (ver anexo F, para los valores del test K-S).

Al igual como ocurre en las otras zonas del país, el verano es el que presenta mayores dificultades para el modelo en simular sus características. En la distribución acumulada de la temperatura máxima el modelo sobrestima el sector cálido de la distribución por sobre la media entre Temuco y Puerto Montt (ver anexo E), mientras que en las CDFs de la temperatura mínima simulada sólo exhiben un corrimiento hacia la derecha, es decir el modelo muestra condiciones más cálidas en Temuco, Valdivia y Osorno. Puerto Montt en tanto, la parte fría de la distribución,

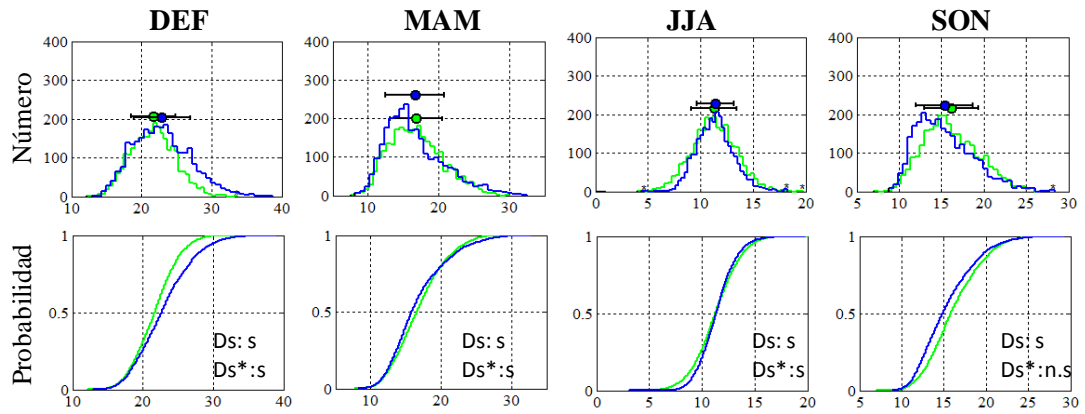
bajo la mediana entre los -10 a 10 °C, el modelo sobrestima en más de 5°C el valor observado (ver anexo E).

Tabla N°8: Igual que la tabla 4 pero para las temperaturas extremas de la región sur.

		T° Máxima						T° Mínima					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
Temuco	Anual	17,8	1,01	18,2	1,39	0,4	0,38	6,0	1,13	7,5	1,17	1,4	0,04
	DEF	23,5	0,89	26,1	1,38	2,6	0,49	8,5	0,68	11,3	0,69	2,8	0,00
	MAM	18,2	0,61	18,1	1,14	-0,2	0,53	6,2	0,82	8,0	0,86	1,8	0,05
	JJA	12,1	0,59	11,9	0,48	-0,3	-0,12	4,0	0,82	4,5	0,92	0,5	0,10
	SON	17,3	0,52	16,9	0,90	-0,5	0,38	5,4	0,67	6,1	0,52	0,7	-0,14
Valdivia	Anual	16,9	1,08	17,2	1,41	0,3	0,33	5,8	1,17	7,2	1,17	1,4	0,00
	DEF	22,5	1,07	24,6	1,55	2,2	0,48	8,2	0,72	10,8	0,71	2,7	-0,01
	MAM	17,3	0,69	17,1	1,11	-0,2	0,43	6,1	0,82	7,8	0,84	1,7	0,01
	JJA	11,4	0,61	11,4	0,42	0,0	-0,19	4,1	0,82	4,4	0,88	0,3	0,07
	SON	16,7	0,55	15,9	0,87	-0,7	0,31	5,0	0,78	5,8	0,51	0,8	-0,27
Osorno	Anual	16,5	1,02	16,9	1,28	0,5	0,26	5,6	1,09	7,3	1,12	1,8	0,02
	DEF	21,8	0,95	23,7	1,47	1,8	0,52	7,9	0,78	10,7	0,62	2,9	-0,16
	MAM	16,7	0,72	16,9	1,09	0,2	0,37	5,8	0,68	7,9	0,79	2,2	0,11
	JJA	11,1	0,58	11,3	0,41	0,2	-0,17	3,5	0,75	4,6	0,83	1,0	0,08
	SON	16,2	0,49	15,8	0,70	-0,4	0,21	5,1	0,57	6,2	0,51	1,1	-0,05
Pto. Montt	Anual	14,8	0,89	14,0	0,65	-0,8	-0,24	6,3	1,01	9,8	0,66	3,6	-0,35
	DEF	19,1	0,79	17,4	0,65	-1,7	-0,14	8,9	0,61	12,4	0,43	3,5	-0,18
	MAM	15,2	0,58	14,6	0,55	-0,5	-0,03	6,8	0,62	10,6	0,52	3,8	-0,10
	JJA	10,5	0,56	11,0	0,37	0,6	-0,19	3,9	0,77	7,7	0,47	3,8	-0,30
	SON	14,5	0,44	12,9	0,28	-1,6	-0,16	5,6	0,62	8,7	0,34	3,1	-0,29
Regional	Anual	16,5	1,0	16,6	1,2	0,1	0,2	5,9	1,1	8,0	1,0	2,0	-0,1
	DEF	21,7	0,9	22,9	1,3	1,2	0,3	8,4	0,7	11,3	0,6	3,0	-0,1
	MAM	16,8	0,6	16,7	1,0	-0,2	0,3	6,2	0,7	8,6	0,8	2,4	0,0
	JJA	11,3	0,6	11,4	0,4	0,1	-0,2	3,9	0,8	5,3	0,8	1,4	0,0
	SON	16,2	0,5	15,4	0,7	-0,8	0,2	5,3	0,7	6,7	0,5	1,4	-0,2

Otro inconveniente para el modelo PRECIS es la cordillera, a pesar la disminución de altura en esta zona de ~3000 metros, igualmente ocasiona efectos tales como la subestimación de la temperatura máxima especialmente en invierno y primavera entre 3° y 10°C (Fig. 28). A pesar de los efectos en cordillera, en los valles donde se ubica la mayor parte de la población las diferencias son casi nulas, con una ligera sobrestimación no mayor a 2°C en verano (Fig. 28). El error absoluto de la temperatura mínima se detectan muy pocas diferencias en cordillera, pero en verano y otoño se obtienen errores entre 2°C y 7°C en los valles y especialmente en el seno de Reloncaví (~42°S) (Fig. 28).

a) Temperaturas máximas (TX) estacional de la zona sur.



b) Temperaturas mínimas (TN) estacional de la zona sur.

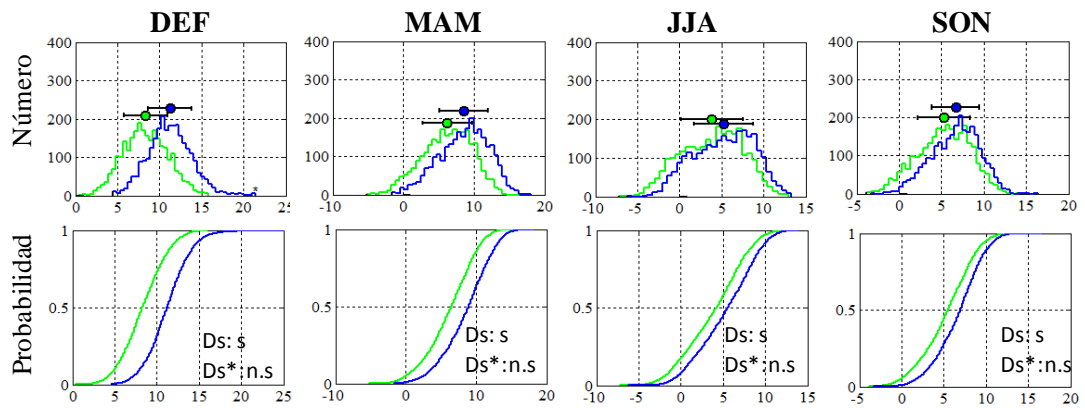


Fig. 27: Igual que la figura 14, pero para las distribuciones de la región sur.

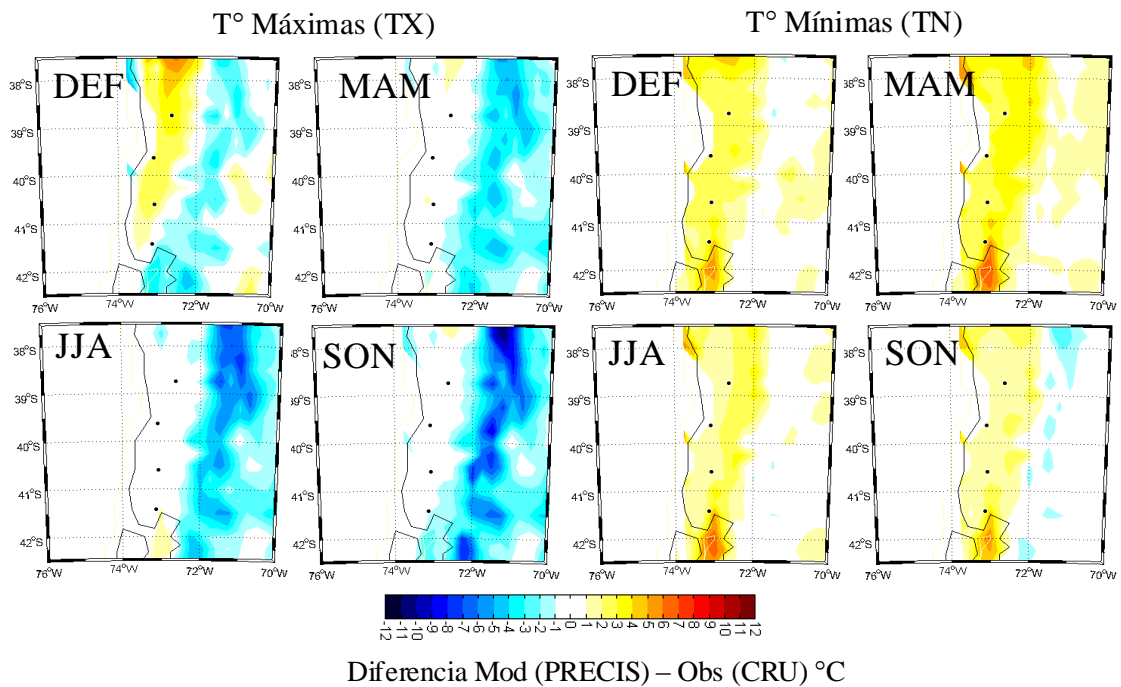
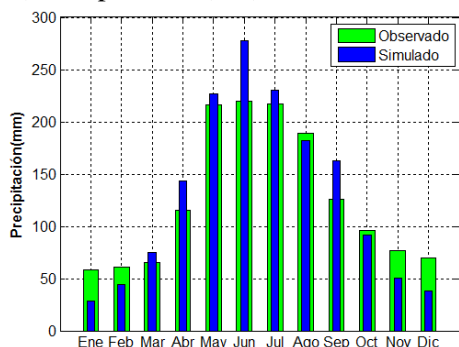


Fig. 28: Mapas de diferencias estacionales entre el patrón modelado con PRECIS y el patrón observado (CRU), de la temperatura máxima (izquierda) y mínima (derecha) en grados Celsius. Los puntos representan la ubicación de las estaciones meteorológicas estudiadas.

Precipitación: El modelo sigue la forma mensual del ciclo anual de la precipitación en la región sur, pero subestima la cantidad mensual de agua caída (PrcpTOT) en los meses de verano incluyendo noviembre en aproximadamente un 50%, durante invierno el modelo sobrestima el mes de junio en 25% (Fig. 29a). Con respecto al ciclo anual del número de días con precipitación (RND) el modelo se ajusta a la forma del ciclo anual observado pero subestima considerablemente los eventos de precipitación, anualmente el modelo muestra un 50% menos de días coincidente con la comparación de RR (Fig. 29b).

En general el modelo representa bien el ciclo anual entre Temuco y Osorno, pero Puerto Montt (al igual como sucede con las temperaturas extremas) es la estación meteorológica donde el ajuste no es adecuado, el modelo sobrestima la precipitación entre mayo y octubre en más de un 60%, sin embargo, el RND es bien simulado (ver ciclos anuales de RR y RND individuales en el anexo D).

a) Precipitación (RR)



b) N° RR>1mm (RND)

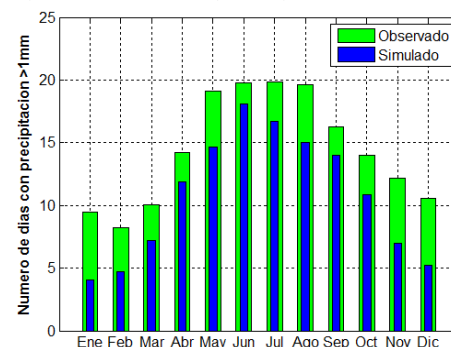


Fig. 29: Igual a la fig. 24, pero para la región sur.

Tabla N°9: Igual que la tabla 7 pero para la región sur.

		Precipitación						Número de días con precipitación					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
Temuco	Anual	1129,8	48,4	1096,1	48,4	-33,7	0,0	118,9	3,5	98,0	3,2	-20,9	-0,3
	DEF	130,9	70,4	40,0	36,8	-90,9	-33,5	15,3	5,9	6,4	3,6	-8,8	-2,3
	MAM	291,9	112,7	317,5	130,2	25,5	17,5	28,7	6,8	26,3	6,7	-2,4	-0,1
	JJA	469,9	96,3	557,7	110,7	87,8	14,4	45,7	7,4	42,8	6,8	-2,9	-0,6
	SON	236,5	79,3	180,5	60,4	-56,0	-19,0	29,0	7,9	22,5	7,4	-6,5	-0,5
Valdivia	Anual	1832,7	75,5	1488,4	63,9	-344,3	-11,6	139,0	3,7	111,8	3,5	-27,2	-0,2
	DEF	172,4	87,1	62,4	52,5	-110,0	-34,6	18,9	5,9	8,3	4,1	-10,6	-1,8
	MAM	484,1	181,6	421,6	163,1	-62,5	-18,5	34,2	7,4	29,9	7,7	-4,4	0,3
	JJA	837,6	225,8	746,3	172,5	-91,3	-53,4	52,8	7,5	47,4	7,5	-5,4	-0,1
	SON	337,6	107,9	257,4	83,0	-80,2	-24,9	32,7	6,9	26,1	7,6	-6,6	0,7
Osorno	Anual	1312,1	53,5	1244,1	49,9	-68,0	-3,6	139,0	3,7	125,5	3,6	-13,5	-0,1
	DEF	169,0	71,5	80,0	42,3	-89,0	-29,3	20,7	6,6	12,7	5,3	-8,0	-1,3
	MAM	349,6	122,6	369,1	120,4	19,5	-2,1	34,6	6,3	32,9	7,6	-1,7	1,3
	JJA	550,5	116,8	546,1	117,3	-4,4	0,5	50,1	6,3	48,2	6,5	-1,9	0,3
	SON	241,9	64,1	248,0	70,8	6,1	6,7	33,4	7,5	31,7	7,4	-1,7	-0,2
Pto. Montt	Anual	1764,5	55,7	2369,6	80,0	605,1	24,3	178,7	3,7	182,5	4,0	3,8	0,2
	DEF	280,6	92,4	256,2	104,0	-24,4	11,6	32,1	7,2	28,1	8,5	-4,0	1,3
	MAM	461,4	107,3	669,5	181,4	208,2	74,1	44,6	5,6	45,9	8,1	1,3	2,5
	JJA	642,9	118,3	906,5	144,2	263,6	25,9	56,8	6,2	60,9	5,7	4,2	-0,5
	SON	376,4	74,4	534,3	135,7	157,9	61,3	44,7	6,4	47,2	7,3	2,5	0,9
Regional	Anual	1509,8	58,2	1549,6	60,5	39,8	2,3	143,9	3,6	129,4	3,6	-14,4	-0,1
	DEF	188,2	80,3	109,7	58,9	-78,6	-21,5	21,8	6,4	13,9	5,4	-7,9	-1,0
	MAM	396,8	131,0	444,4	148,8	47,7	17,7	35,6	6,5	33,7	7,5	-1,8	1,0
	JJA	625,2	139,3	689,2	136,2	63,9	-3,1	51,3	6,8	49,8	6,6	-1,5	-0,2
	SON	298,1	81,4	305,0	87,5	6,9	6,0	35,0	7,2	31,9	7,4	-3,1	0,2

Ligera sobrestimación de valores entre 1 y 4 mm de la precipitación muestra la simulación de PRECIS en la distribución de frecuencias absolutas de la región sur. La comparación de CDFs

entre la observada y simulada demuestra la similitud entre ellas (ver anexo F). No tan clara es la distribución del número de días con precipitación, sin embargo, los rangos mínimos y máximos son bien detectados, entre 105 y 155 días con precipitación al año (Fig. 30).

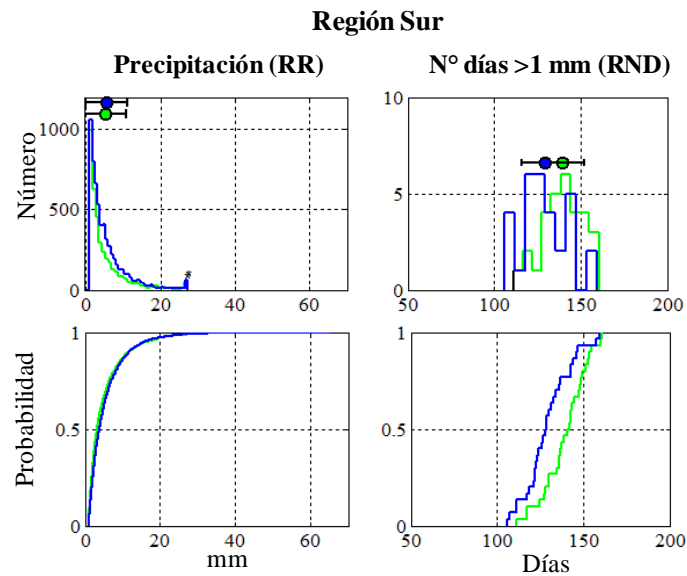


Fig. 30: Igual que la figura 24 pero para la región sur.

Las mayores diferencias en la representación espacial de las diferencias porcentuales de la precipitación se producen en enero, donde claramente el modelo subestima la precipitación en toda la zona sur en aproximadamente del orden de 50%, y el patrón es similar a las otras regiones donde se sobrestima a partir de los 500 metros de altura alcanzando valores por sobre 100% (Fig. 31). El periodo de otoño e invierno tienen un patrón similar, ligeros errores de sobrestimación (~ 20 a 30%) alrededor de los 39° de latitud Sur y errores negativos bajo los 40°S entre 10 y 20% (Fig. 31).

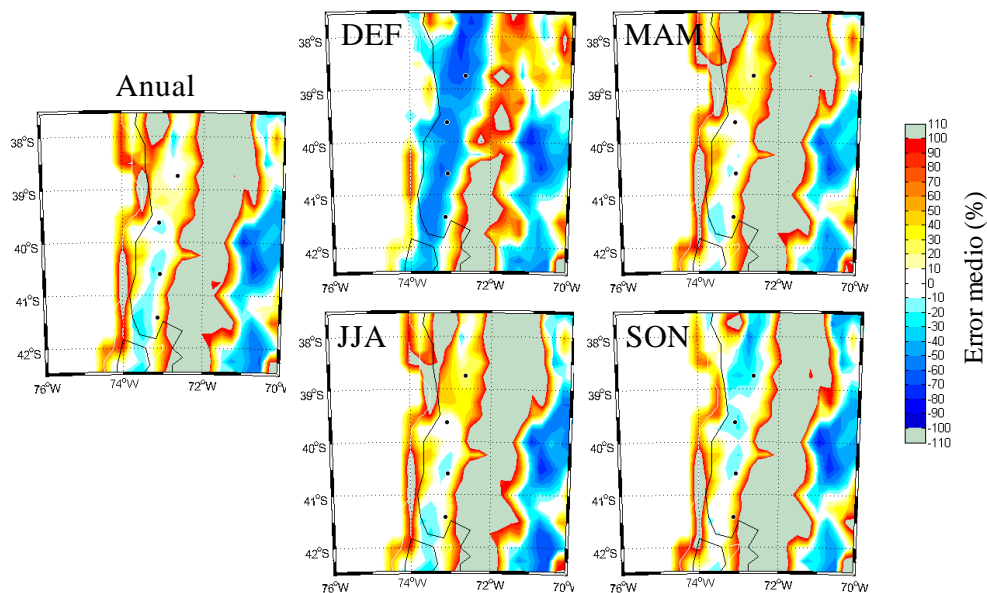


Fig. 31: Igual a la figura 25 pero para la región sur.

4.1.1.4 *Región Austral (Coyhaique, Balmaceda y Punta Arenas).*

En esta área de estudio, la estación de Punta Arenas es significativamente diferente a Coyhaique y Balmaceda, además la escasez de información meteorológica es sustancial en el análisis. Así y todo, por conveniencia latitudinal y por una cierta similitud geográfica y climática, se acoplaron para realizar el análisis regional, sin embargo, los valores y gráficos individuales se pueden consultar en los anexos D, E y F.

Temperaturas: El modelo PRECIS captura adecuadamente el ciclo anual de las temperaturas extremas, enfatizando que es una zona de clima extremo, con un marcado ciclo anual y gran amplitud estacional principalmente en la temperatura máxima (Fig. 32). No obstante, el modelo subestima la temperatura máxima y mínima en la segunda mitad del año, especialmente entre agosto y octubre (entre 2° y 3°C, aproximadamente). Tanto el rango intercuartílico como los valores extremos también se observan bien ajustados, destacando por ejemplo los eventos extremos fríos de la temperatura mínima, bajo los -10°C (Fig. 32). Las diferencias más extremas se observan en Balmaceda en la temperatura máxima el modelo sobrestima en SON en casi 6°C. Por otro lado, en Punta Arenas el promedio estacional es bien ajustado en la temperatura mínima, con errores menores a 1°C (Tabla N°10).

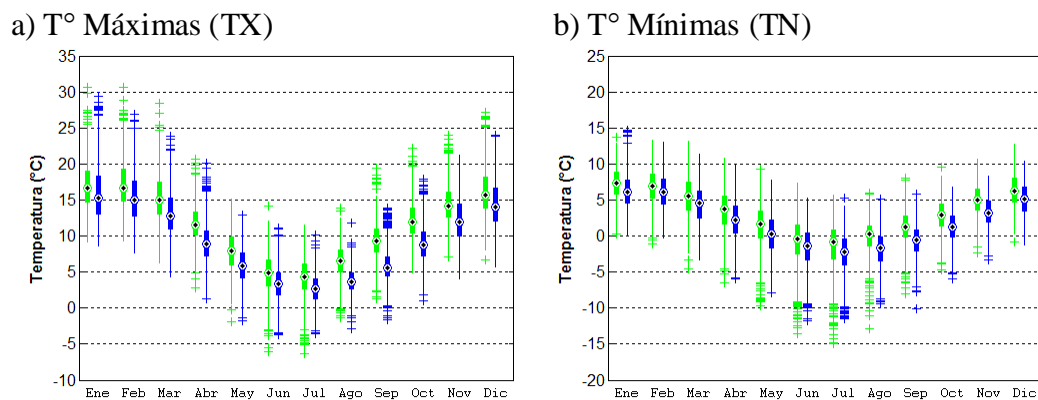


Fig. 32: Igual que la figura 11 pero para el ciclo anual de la región.

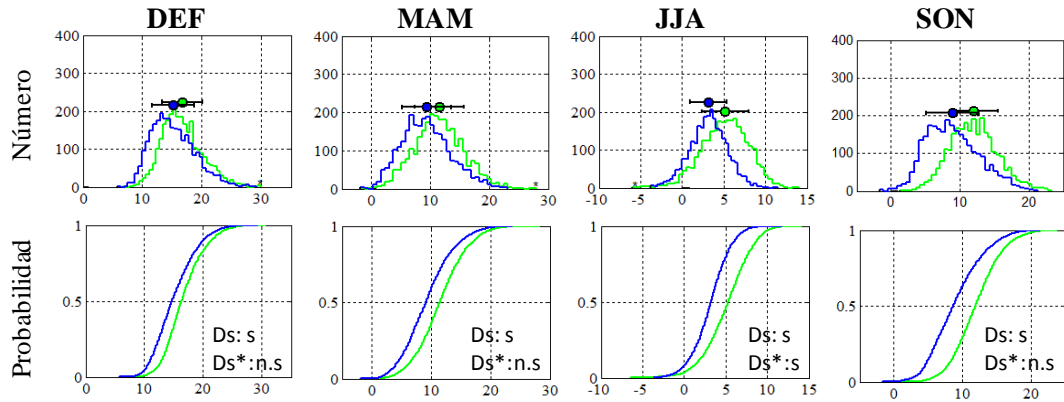
Tabla N°10: Igual que la tabla 4 pero para las temperaturas extremas de la región austral.

		T° Máxima						T° Mínima					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\bar{\sigma}$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\bar{\sigma}$
Coyhaique	Anual	13,0	1,43	11,6	1,52	-1,3	0,09	4,2	1,12	1,9	1,05	-2,3	-0,07
	DEF	18,6	1,22	19,2	1,39	0,6	0,17	8,0	0,79	6,6	0,65	-1,4	-0,14
	MAM	13,2	0,86	11,6	0,96	-1,6	0,10	4,6	0,68	2,2	0,69	-2,3	0,01
	JJA	6,5	1,05	4,2	0,96	-2,3	-0,09	0,2	1,05	-2,4	0,79	-2,6	-0,27
	SON	13,6	0,66	11,5	1,07	-2,1	0,41	4,0	0,54	1,2	0,56	-2,8	0,02
Balmaceda	Anual	11,5	1,48	7,0	1,53	-4,5	0,05	2,3	1,27	-0,2	1,09	-2,5	-0,17
	DEF	17,2	1,19	13,5	1,63	-3,7	0,45	6,1	0,78	3,8	0,59	-2,4	-0,19
	MAM	11,8	0,84	7,3	0,92	-4,5	0,08	2,6	0,77	0,3	0,66	-2,3	-0,11
	JJA	4,6	1,20	0,6	0,65	-4,0	-0,55	-1,9	1,48	-3,9	0,81	-2,0	-0,67
	SON	12,1	0,67	6,4	1,04	-5,7	0,37	2,3	0,52	-1,0	0,56	-3,3	0,04
Pta. Arenas	Anual	9,7	0,89	8,9	0,84	-0,8	-0,05	2,8	0,91	3,7	0,82	0,9	-0,09
	DEF	14,4	0,71	12,8	0,59	-1,6	-0,12	6,2	0,63	7,1	0,46	0,9	-0,18
	MAM	9,7	0,62	9,2	0,55	-0,5	-0,07	3,2	0,66	4,2	0,55	1,0	-0,11
	JJA	4,3	0,63	4,7	0,61	0,4	-0,02	-0,7	0,73	0,3	0,71	1,0	-0,02
	SON	10,3	0,54	9,0	0,49	-1,3	-0,05	2,7	0,46	3,4	0,57	0,8	0,11
Regional	Anual	11,4	1,3	9,2	1,3	-2,2	0,0	3,1	1,1	1,8	1,0	-1,3	-0,1
	DEF	16,8	1,0	15,2	1,2	-1,6	0,2	6,8	0,7	5,8	0,6	-1,0	-0,2
	MAM	11,6	0,8	9,4	0,8	-2,2	0,0	3,4	0,7	2,2	0,6	-1,2	-0,1
	JJA	5,2	1,0	3,2	0,7	-2,0	-0,2	-0,8	1,1	-2,0	0,8	-1,2	-0,3
	SON	12,0	0,6	9,0	0,9	-3,0	0,2	3,0	0,5	1,2	0,6	-1,8	0,1

La forma de las distribuciones de frecuencia es similar a los mostrados en la zona sur, es decir, tienen distribución normal con asimetría positiva en la TX y negativa en TN, que es bien simulado por el modelo aunque tiende a tener una asimetría mayor que la observada especialmente en primavera (Fig. 33). Otra característica es la representación de la distribución en invierno de las temperaturas mínimas que muestra una curtosis menor que la observada por el modelo, sin embargo, en general el modelo sigue el patrón de las distribuciones regionales observadas, pero con subestimación homogénea en todo el rango de temperaturas (Fig. 33).

Individualmente, en la simulación de las CDFs de temperatura máxima el modelo se logra ajustar a las observadas en Coyhaique y Punta Arenas, el test K-S comprueba que las diferencias entre ellas no son significativas en las series de anomalías (ver anexo E), sin embargo, en Balmaceda durante JJA y SON la simulación PRECIS exhibe una gran cantidad de valores extremos máximos y mínimos, con un rango intercuartílico disminuido, esto produce que la distribución no sea normal y en este único caso PRECIS no logra representar la distribución de la temperatura máxima (ver anexo E). Este no es el caso de las CDFs de la temperatura mínima, que en las tres estaciones de esta zona el modelo es capaz de capturar su distribución (ver anexo E.10).

a) Temperaturas máximas (TX) estacional de la zona austral.



b) Temperaturas mínimas (TN) estacional de la zona austral.

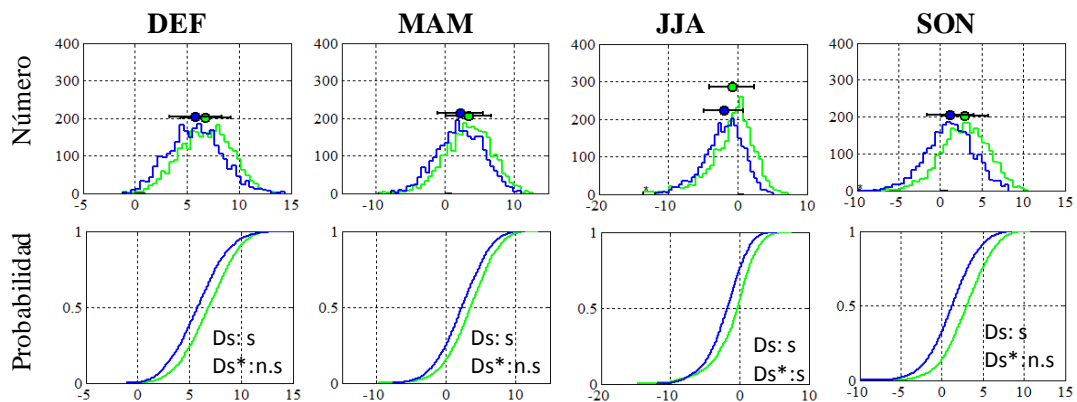


Fig. 33: Igual que la figura 14, pero para las distribuciones de la región austral.

Finalmente, los errores significativos en la región austral se despliegan en la cordillera entre los 46°S y los 51°S en la TX mostrando subestimación por sobre los 12°C, principalmente en DEF y MAM. El patrón general espacial sin considerar la parte más alta de la cordillera, una subestimación no mayor a 3°C en todas las estaciones del año (Fig. 34). Con relación a la distribución espacial de los errores en la temperatura mínima, evidentemente son menores que las presentadas en la temperaturas máxima, sólo se destaca focos de sobrestimación entre 2 y 3°C en la línea de la costa norte entre 42°S y 45°S y la costa sur entre los 51°-54°S (Fig. 35).

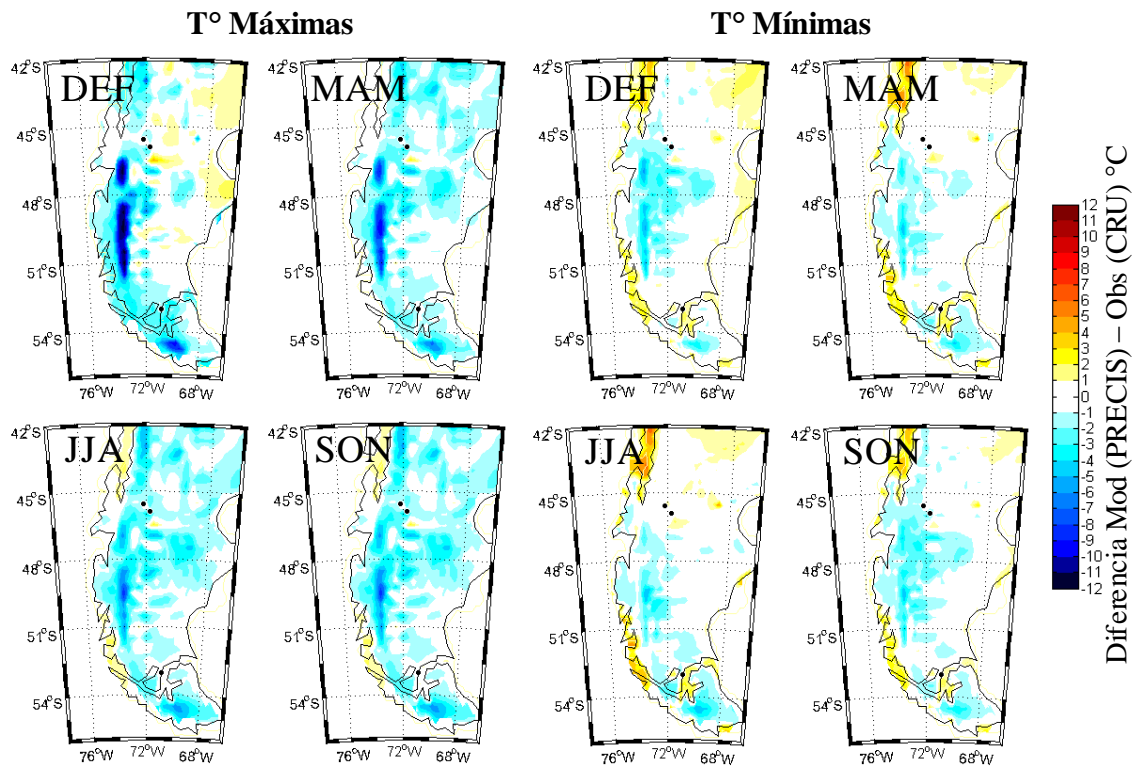


Fig. 34: Igual que la figura 28 pero para la región austral.

Precipitación: En esta zona el ciclo anual de la precipitación es altamente sobrestimado tanto en cantidad de precipitación como en el número de días con eventos de precipitación. La figura 35 muestra importantes diferencias en todos los meses del año siendo más extrema la sobrestimación sobre el 200% en octubre. Aunque el ciclo anual de la precipitación no tiene una estacionalidad marcada, entre abril y septiembre se presentan los meses con mayor cantidad de precipitación que en promedio es de 75 mm y los restantes meses precipita en promedio 35 mm. PRECIS logra reproducir el ciclo anual pero con sobrestimación principalmente en invierno, como se mencionó anteriormente (Fig. 35). En cuanto a la distribución mensual del RND tiene características uniformes que es bien representada por el modelo, pero sobrestimados al igual que la precipitación.

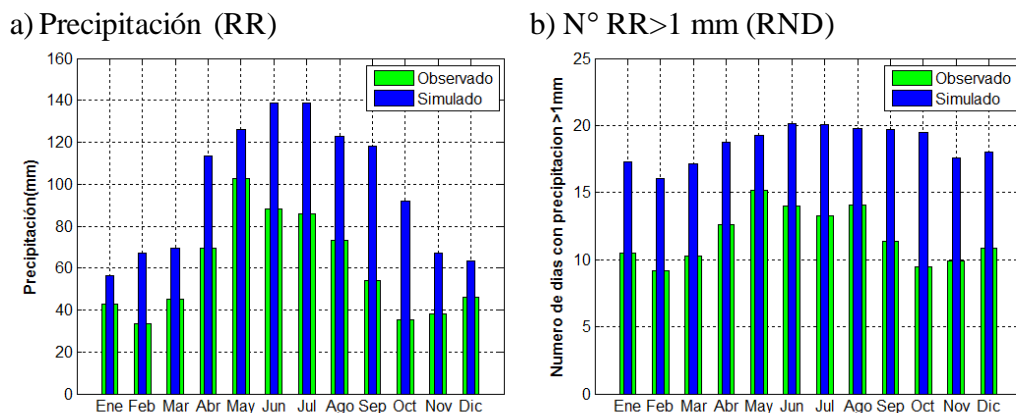


Fig. 35: Igual que la figura 23 pero para la región austral.

La frecuencia absoluta de precipitación y su función de distribución empírica acumulada es correctamente simulada por PRECIS, a excepción de la sobrestimación en el rango de 5 a 15 milímetros (Fig. 36). Es en la frecuencia de eventos al año donde se producen las mayores diferencias entre lo observado y lo simulado. El límite inferior de la distribución es de 70 mm versus los 150 eventos obtenidos desde PRECIS, del mismo modo, el límite máximo observado es de 110 días al año versus los 190 días simulados con el modelo (Fig. 36).

En Coyhaique la distribución de frecuencias muestra que el modelo no logra representar los eventos extremos observados y por el contrario, aumenta los eventos de precipitación entre 1 y 3 mm y subestima todos los demás rangos de precipitación (Tabla N°11). Balmaceda en cambio, sobrestima la precipitación en todo el rango de distribución, mientras que Punta Arenas el modelo logra seguir el patrón de distribución (ver anexo E).

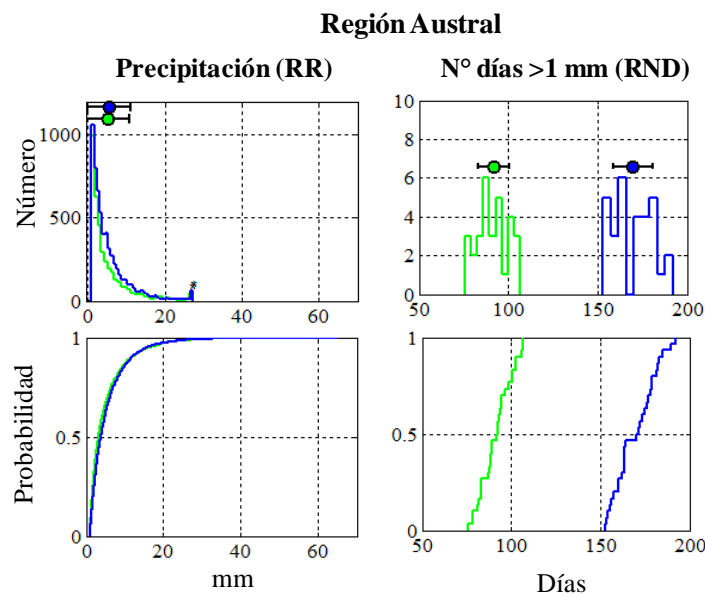


Fig. 36: Igual que la figura 24 pero para la región austral.

Tabla N°11: Igual que la tabla 5 pero para la precipitación y el número de días con precipitación de la región austral.

		Precipitación						Número de días con precipitación					
		Observado		Simulado		Diferencias		Observado		Simulado		Diferencias	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	$\Delta\bar{x}$	$\Delta\sigma$
Coyhaique	Anual	1026,2	50,7	269,2	22,6	-757,0	-28,1	121,0	3,5	52,8	2,8	-68,2	-0,7
	DEF	168,9	73,2	21,8	25,3	-147,1	-47,9	23,2	7,0	7,0	5,3	-16,3	-1,7
	MAM	313,3	119,3	77,7	39,9	-235,6	-79,4	33,1	6,3	13,8	5,3	-19,3	-1,0
	JJA	367,0	102,8	114,2	62,0	-252,8	-40,8	39,5	5,7	19,0	6,0	-20,6	0,3
	SON	175,7	64,8	55,4	44,8	-120,4	-20,1	24,9	6,3	13,0	5,5	-11,9	-0,8
Balmaceda	Anual	599,3	35,1	1630,5	63,0	1031,2	27,9	84,7	3,2	200,6	4,2	115,9	1,0
	DEF	80,6	42,0	208,5	114,6	127,9	72,6	12,4	4,5	32,5	9,6	20,1	5,1
	MAM	179,0	75,2	424,7	133,9	245,7	58,7	23,2	5,7	48,3	6,9	25,1	1,1
	JJA	233,8	93,6	612,2	105,9	378,4	12,4	31,5	7,2	66,3	5,3	34,9	-1,8
	SON	105,2	46,7	382,7	102,6	277,5	55,9	17,5	5,3	53,0	7,3	35,5	2,0
Pta. Arenas	Anual	360,9	17,4	453,3	18,8	92,3	1,4	79,6	2,8	117,2	3,2	37,6	0,4
	DEF	89,3	34,4	117,9	26,8	28,6	-7,6	20,7	5,5	35,2	6,2	14,5	0,7
	MAM	109,3	39,7	123,3	51,5	14,0	11,7	23,4	4,7	28,8	6,1	5,4	1,5
	JJA	84,7	37,0	109,6	37,1	24,9	0,1	18,4	5,2	24,0	5,2	5,6	-0,1
	SON	76,0	29,3	101,1	27,1	25,2	-2,3	16,9	5,0	28,8	4,9	11,9	-0,1
Regional	Anual	662,2	34,4	784,3	34,8	122,2	0,4	95,1	3,2	123,5	3,4	28,5	0,2
	DEF	112,9	49,9	116,1	55,6	3,1	5,7	18,8	5,7	24,9	7,0	6,1	1,4
	MAM	200,5	78,1	208,6	75,1	8,0	-3,0	26,6	5,6	30,3	6,1	3,7	0,5
	JJA	228,5	77,8	278,6	68,4	50,2	-9,4	29,8	6,0	36,4	5,5	6,6	-0,5
	SON	119,0	46,9	179,7	58,1	60,8	11,2	19,8	5,5	31,6	5,9	11,8	0,4

La figura 37 muestra la distribución espacial del error medio de la precipitación anual y estacional (simulado menos observado en porcentaje) de la región austral durante el clima presente, y que a diferencia de las otras zonas de Chile, ésta presenta errores poco homogéneos con variaciones negativas y positivas, pero aquellos errores más abultados corresponden a la sobrestimación en la franja oeste de la cordillera de Los Andes entre 48° y 51°S, que en su mayor parte supera el 500% con relación a la cantidad de precipitación estimada en esta zona. Lamentablemente, esta diferencia es solo inferida producto de la falta de estaciones meteorológicas en aquellos sectores donde el error es mayor. Debido de que el ciclo anual de la precipitación no tiene una marcada estacionalidad, los errores son parejos anual y estacionalmente (Fig. 37).

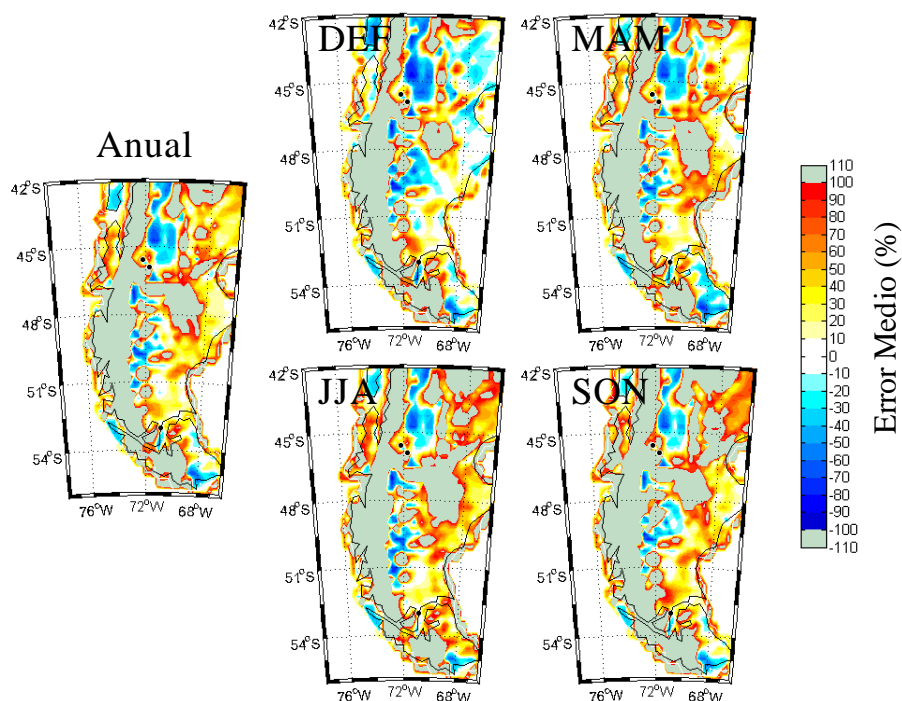


Fig. 37: Igual a la figura 24 pero para la región austral.

En definitiva, la TX y TN son bien simuladas con el modelo regional PRECIS en cuanto al ciclo anual como a las distribuciones con errores en la media de la distribución negativos, es decir el modelo subestima las temperaturas en promedio entre 3 y 2 °C, respectivamente. Estas diferencias son menores que en las otras regiones del país. Sin embargo, en la TX de la estación de SON y DEF la distribución simulada tienen una asimetría positiva mayor que la observada, concluyendo que PRECIS simula una mayor frecuencia en la porción fría de la distribución. Especialmente se observa una subestimación de TX y TN más homogénea donde el efecto cordillera no es tan marcado como ocurre en las otras regiones del país. Con relación a la precipitación, PRECIS no logra capturar la distribución mensual de la precipitación y sobrestima grandemente (>200%) los montos anuales y estacionales, principalmente en Coyhaique y Balmaceda. Punta Arenas sin embargo, se aprecia una relativa correspondencia a los montos observados.

4.1.2 Diagnóstico de las tendencias de los indicadores de eventos extremos climáticos en el clima actual (1961-1990).

4.1.2.1 Indicadores asociados a la temperatura mínima observada.

La temperatura mínima (TN) aumenta significativamente a lo largo de Chile en el periodo de 1961-1990. Entre Arica y La Serena (18°S y 30°S) el incremento es de ~0.5°C/década. Arica y Antofagasta poseen el mayor aumento en invierno JJA de 0.64 y 0.69°C/década, respectivamente. Desde los 30°S hasta los 53°S, las tendencias son también significativas pero con un incremento

menor de $0.25^{\circ}\text{C}/\text{década}$, a excepción de Curicó que aumenta alrededor de $0.8^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Fig. 39), en esta estación, verano y otoño tienen los cambios más importantes ($0.83^{\circ}\text{C}/\text{década}$). Entre Puerto Montt y Balmaceda las tendencias positivas de TN no son significativas.

Con respecto a los extremos, se evidencia un significativo aumento del extremo más frío, es decir, la temperatura más baja del año (TNn) ha aumentado en un rango de 0.7° - $0.9^{\circ}\text{C}/\text{década}$, en la zona norte y las estaciones de La Serena y Curicó, especialmente en DEF y SON. El efecto contrario se observa en la zona sur, el TNn disminuye su valor entre 0.2 -y $0.6^{\circ}\text{C}/\text{década}$, los mayores cambios se aprecian en JJA. Nuevamente, el indicador TNn en la zona austral aumenta pero no significativamente debido a la gran variabilidad que experimenta la serie. Por otra parte, el extremo más cálido (TNx) se observan tendencias más homogéneas entre los 18°S a 41°S , la temperatura mínima más alta del año aumenta a razón de 0.3° - $1^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Fig. 39). Valparaíso, si bien presenta una tendencia anual positiva en TNx de $0.17^{\circ}\text{C}/\text{década}$, es importante señalar que en invierno y primavera se observan tendencias negativas significativas de $-0.39^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Rasgo similar se presenta en Coyhaique y Balmaceda.

Indicadores de frecuencia como las noches cálidas (TN90p), manifiestan cambios en la tendencia del clima actual dominando en absoluto un mayor número de días con temperaturas sobre el percentil 90%. Sin lugar a dudas, en la zona norte las tendencias se amplifican en dos con relación a la zona sur o austral, en Arica y Antofagasta el porcentaje de noches cálidas anual aumenta en 7-8 %días por década, la zona centro y sur varían entre 2-5 %días por década. Las tendencias estacionales son preferentemente mayores en DEF y SON (ver anexo G).

Por su parte, en este periodo se observan cada vez menos noches frías (TN10p) en la zona norte y centro, disminuyendo entre 2% y 4.5 % las noches frías por cada 10 años. Así como en las noches cálidas, las tendencias negativas estacionales dominan en DEF y SON. Entre los 38°S y 41°S , existe un tipo de “corredor” donde el comportamiento especialmente de los indicadores asociados a la temperatura mínima es distinto al resto del país, se puede indicar que al igual que las tendencias positivas de TNn, las noches frías se están incrementando entre 0.4% y 1 % de días por década (Fig.40), aunque estos valores no son significativos estadísticamente es interesante hacer la mención a fin de incluirlo en la discusión.

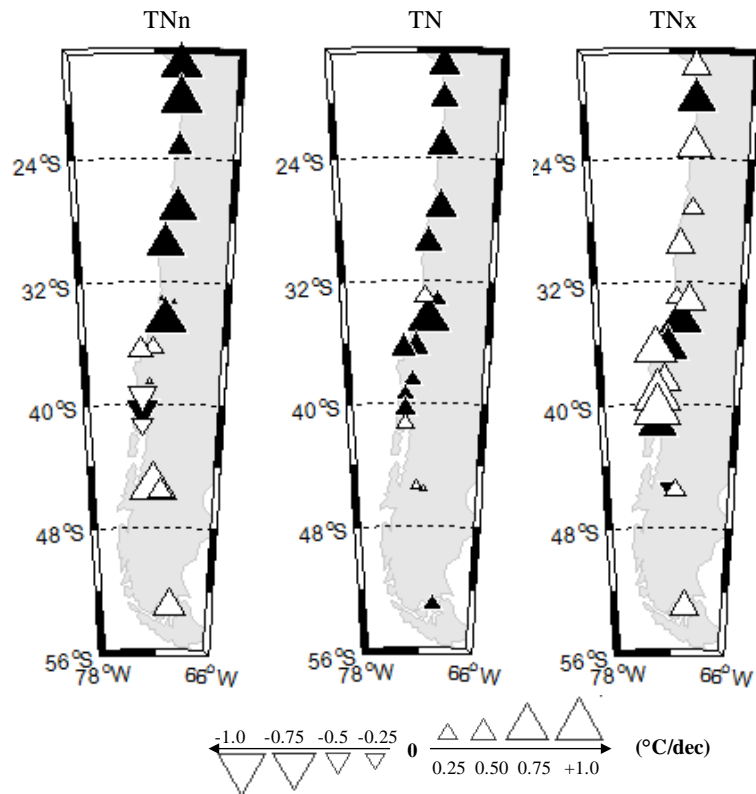


Fig. 38: Tendencias anuales observadas en el clima actual (1961-1990) de mínimo valor anual de la temperatura mínima (TNn), temperatura mínima media anual (TN) y máximo valor de la temperatura mínima (TNx). Las tendencias están en unidades por década. Tendencias significativas al 90% de confianza son sombreadas.

Otro punto importante de destacar, es aquel relacionado con los patrones de variabilidad decadal. En otros estudios (Villarroel et. al., 2006; Falvey y Garreaud, 2009; Quintana y Aceituno, 2011; Schulz, 2011) se ha evidenciado la vinculación de las tendencias a largo plazo con los cambios de regímenes asociados a la variabilidad natural del clima. Por ejemplo, en la figura 39 (adaptada de Villarroel et. al, 2006) se observa el cambio en la significancia estadística de la tendencia de la temperatura mínima, en el primer panel se muestra las tendencias significativas hasta los 40°S en el período 1961-2007, pero la significancia de la tendencia pierde fuerza cuando se obtienen las tendencias sin el salto climático de 1976 (Fig. 39). Estos cambios en la tendencia se evidencian no solo en la temperatura mínima sino también en sus extremos como las TN90p, TNx, TNn y especialmente todas aquellas relacionadas con TN y menos evidentes en los indicadores asociados a TX.

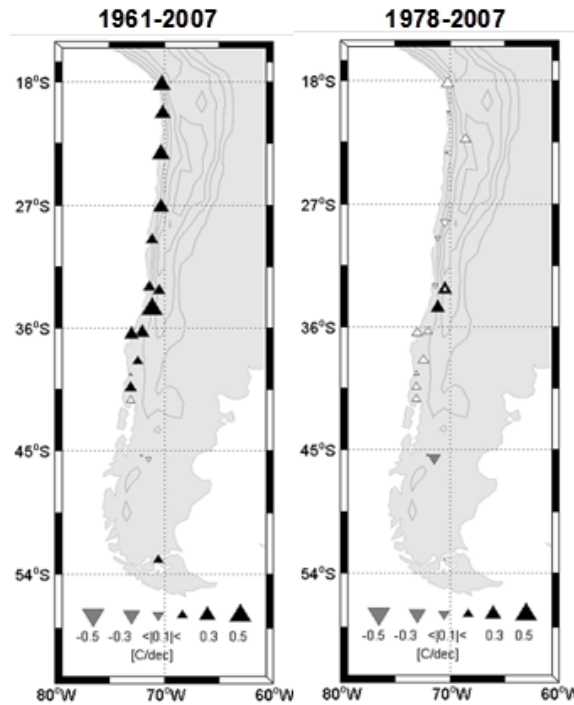


Fig. 39 Tendencias de la TN en el periodo 1961-2007 (izquierda) y 1978-2007 (derecha). Los triángulos indican el sentido de la tendencia (positiva hacia arriba). Las tendencias significativas al 5% son los triángulos rellenos. Figura adaptada de Villarroel, et. al 2006.

Otros indicadores, asociados a la temperatura mínima son el número de días con heladas (FD0) y con heladas más intensas bajo los -2°C (FD-2). Estos indicadores exhiben preferentemente tendencias anuales negativas, es decir, las heladas bajo 0°C disminuye entre 1 y hasta 9 días por década, siendo significativas en Copiapó, Curicó y Concepción (Fig. 39), mientras que las heladas más intensas (bajo -2°C) disminuyen entre 1 y 4 días por década. Las estaciones que conforman la zona sur muestran que el número de días con heladas se incrementa, aunque sólo en Valdivia el incremento es significativo (FD0: +4.5 días/dec y FD-2: +2.4 días/dec) (Fig. 40).

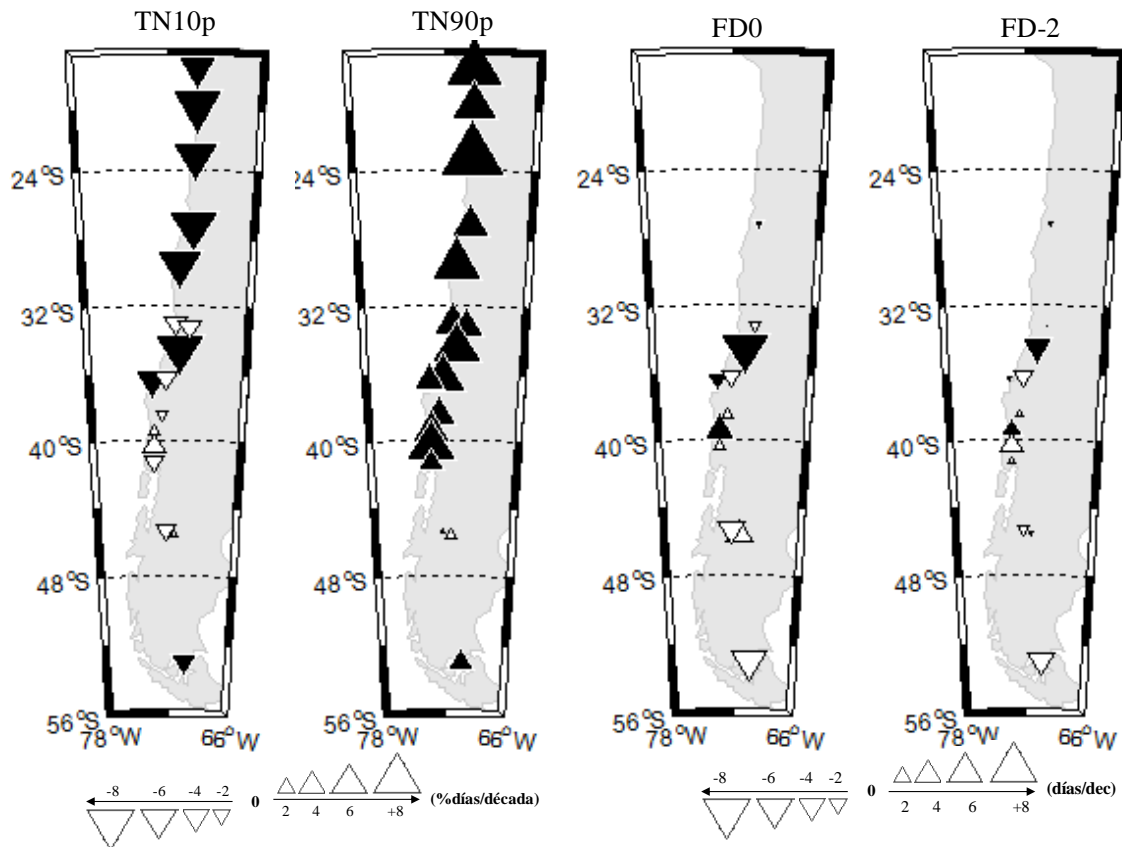


Fig. 40: Igual a la figura 38, pero para las noches frías (TN10p), noches cálidas (TN90p), número de días con heladas (FD0) y número de días con heladas intensas $TN < -2^{\circ}\text{C}$ (FD-2).

4.1.2.2 *Indicadores asociados a la temperatura máxima observada:*

En general los indicadores de temperatura máxima poseen tendencias menos significativas que los asociados a las temperaturas mínimas. La temperatura media máxima anual (TX) aumenta entre ~ 0.15 a $0.25^{\circ}\text{C}/\text{dec}$. (Fig. 41) donde el 41% de las estaciones son significativas. De ellas, Iquique, La Serena, Santiago, Concepción son significativas al 95% de confianza, mientras que, Temuco, Pto. Montt y Balmaceda, lo hacen al 90% de confianza (ver anexo G). También se aprecia tendencias anuales negativas en Copiapó y Curicó pero no consiguen la significancia estadística. Estacionalmente, se observa una mayor discordancia respecto a las tendencias anuales; en la zona norte, por ejemplo, Antofagasta y Copiapó muestra una disminución de TX, principalmente en verano. Con relación al mismo punto, desde Santiago a Coyhaique (a excepción de Concepción) el invierno (JJA) exhibe también una disminución de la temperatura máxima en contraste a la tendencia anual (ver anexo G).

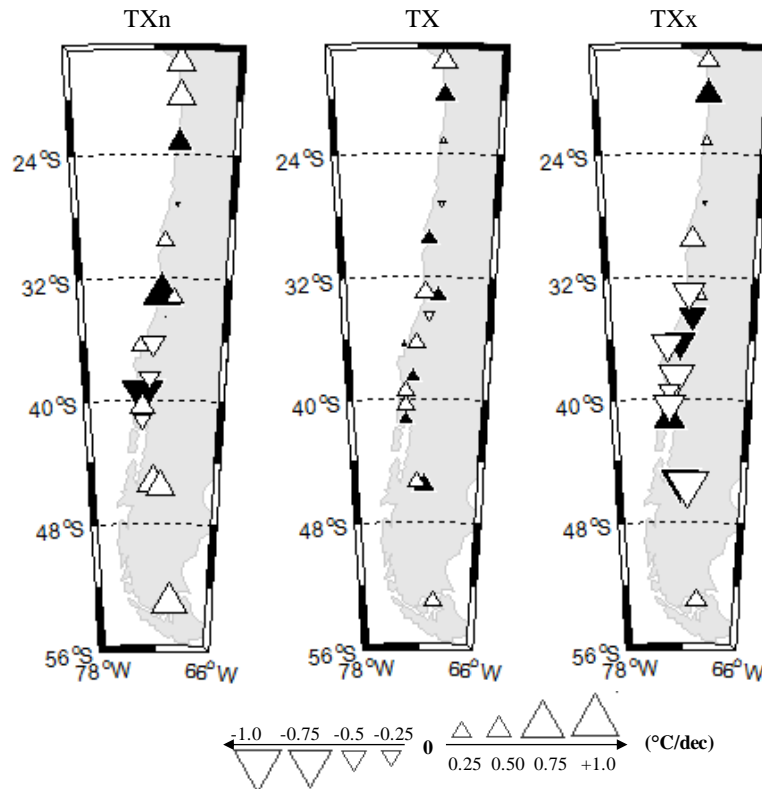


Fig. 41: Igual a la figura 38, pero para los indicadores del mínimo valor anual de la temperatura máxima (TXn), temperatura máxima media anual (TX) y máximo valor anual de la temperatura máxima (TXx).

Los extremos de TX como la temperatura máxima del año (TXx) no presenta un patrón homogéneo en cuanto al signo de la tendencia y no son significativas (Fig. 41). Algunas excepciones son Iquique donde se aprecia un aumento de TXx de $0.42^{\circ}\text{C}/\text{dec}$, mientras que en Curicó y Chillán se observa un decrecimiento de TXx de $0.42\text{-}0.58^{\circ}\text{C}/\text{dec}$, respectivamente. Los cambios observados son preferentemente en invierno JJA en la zona central. La zona sur también presenta tendencias negativas a excepción de Pto. Montt que crece en $0.57^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ (Fig. 41). El mínimo de la temperatura máxima (TXn), no muestra valores significativos, sólo en Antofagasta y Valparaíso aumenta entre 0.3 y $0.7^{\circ}\text{C}/\text{dec}$, mientras que en Valdivia decrece en $0.88^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ (Fig. 41). Un patrón espacial uniforme de tendencias anuales negativas se observa en el comportamiento de los días fríos (TX10p), aunque sólo el 35% de las estaciones son significativas al 90% de confianza. Estas varían entre -2 y -5 %días por década (Fig. 42), y son dominadas principalmente por las tendencias observadas en la estación de DEF (ver anexo G).

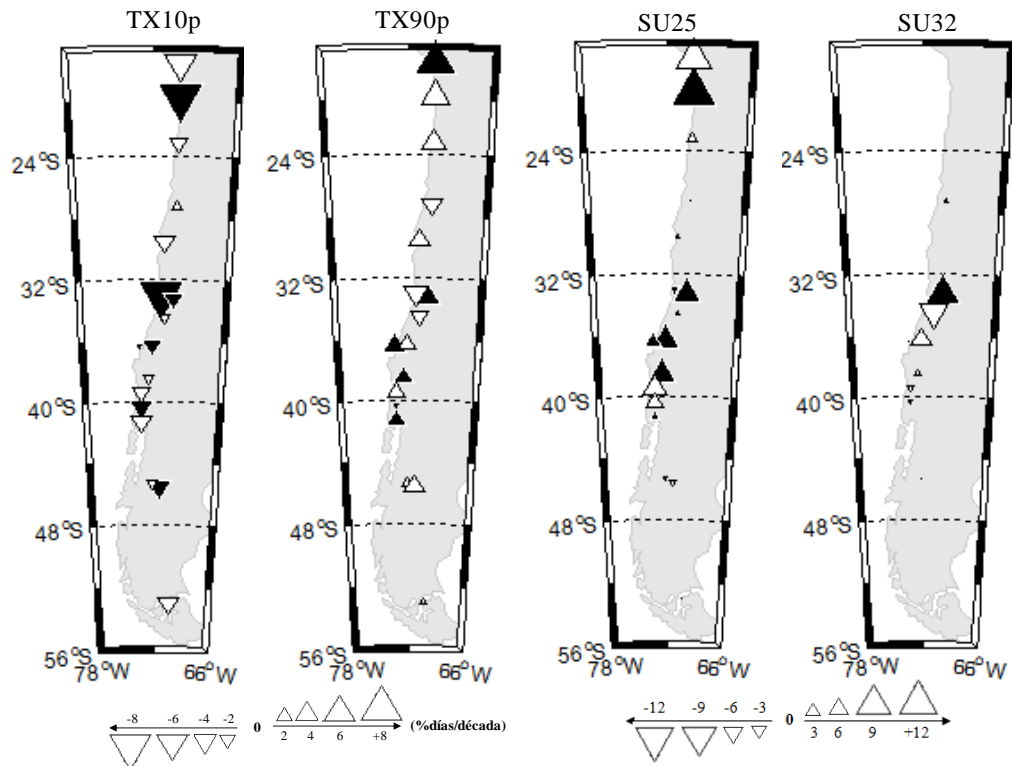


Fig. 42: Igual a la figura 38, pero para los días fríos (TX10p), días cálidos (TX90p), días de verano (SU25) y días con TX>32°C (SU32).

Los días cálidos (TX90p) por su parte, se incrementan a razón de 2 a 4 días por década en la zona norte de Chile (Fig. 42). En la región centro, Santiago y Concepción los días cálidos crecen en ~ 1.8 % de días por década. Los días cálidos (TX90p) aumentan más en invierno (ver anexo A7). Siguiendo con los eventos cálidos, los días de verano SU25, muestra que el número de días al año de TX por sobre 25°C se incrementa entre ~ 4 y 10 días por década, en la región norte, centro y sur (Fig. 42). En Arica, Iquique, Santiago, Chillán y Temuco, el indicador se amplifica con relación a las otras estaciones. Cabe destacar, que en Valparaíso existe una mengua significativa de los días de verano de ~ 1 día por década. La región austral también presenta este rasgo pero no es significativo (Fig. 42). Otro indicador extremo calculado específicamente para observar los cambios para la zona central en relación al bienestar de la población es el SU32 (número de días por año de TX superior a 32°C) y como tal este indicador presenta un rasgo muy local, por ejemplo en Santiago el SU32 se incrementa en casi 4 días por década, mientras que en Curicó disminuye en 2 días por década, ambos son significativos (Fig. 42). El indicador umbral de “días gélidos” ID0, que corresponde al número de días con TX<0°C muestra una ligera tendencia negativa en Coyhaique y Balmaceda (ver anexo G).

4.1.2.3 *Otros indicadores asociados a las temperaturas.*

Con relación a otros indicadores calculados se puede mencionar que el rango diurno de temperatura DTR refleja un decrecimiento anual homogéneo desde los 18°S a 40°S (Fig. 43), dominando en la zona norte. Esto es consecuente con el aumento más rápido de la temperatura mínima TN que de la temperatura máxima TX. Por el contrario, en algunas estaciones de la zona

sur y austral el DTR incrementa (aunque no significativamente) debido a que la temperatura máxima aumenta más rápidamente que la temperatura mínima (ver anexo G). Enfocándose, en la zona norte y central, los mayores cambios surgen indistintamente en cualquier estación del año, aunque hay una leve preferencia a la estación de invierno para la zona norte y verano-otoño para la región central.

Entre los indicadores de duración los periodos cálidos y fríos (WSDI y CSDI, respectivamente); definidos como el conteo de 6 días consecutivos menor al percentil 10% de la temperatura media en el caso del CSDI y mayor al percentil 90% en el caso del WSDI; las tendencias en general no son significativas producto de los pocos eventos extremos presentes en la zona de estudio. Estos indicadores están basados principalmente en los factores adversos en el bienestar humano y también en el sector agro-ganadero, por ello la cantidad de 6 días consecutivos es menos probable que ocurra en un territorio con fuerte influencia marítima. A pesar de esto, se constata el aumento significativo de 1.4 días por década a la suma de los periodos cálidos en Santiago, por otra parte, se observa una disminución de ~2 días por década en la suma de días de los periodos fríos en Arica y un incremento de ~2 días en Valparaíso (Fig. 43). El indicador de días gélidos ($TX < 0^{\circ}C$) muestra una disminución (no significativa) en Coyhaique y Balmaceda (ver anexo G).

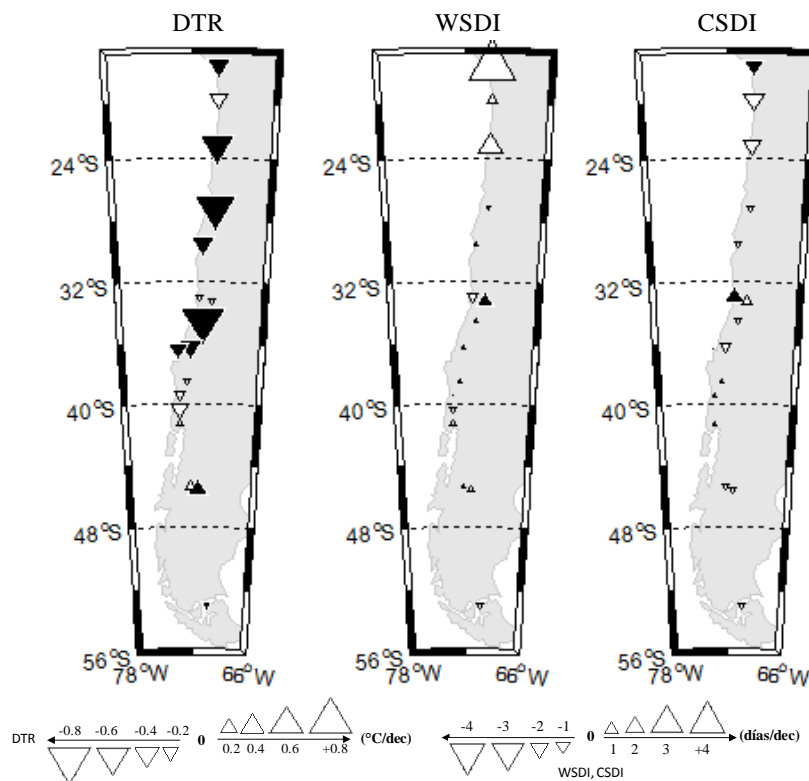


Fig. 43: Igual a la figura 38, pero para el rango diario de temperatura (DTR), períodos cálidos (WSDI) y períodos fríos (CSDI).

4.1.2.4 *Indicadores asociados a la precipitación.*

A diferencia del comportamiento de las tendencias de temperaturas, los indicadores de precipitación manifiestan en general, un comportamiento espacial más heterogéneo y sus tendencias suelen ser menos robustas estadísticamente. Sin embargo, localmente estaciones individuales revelan interesantes cambios.

Los resultados de las observaciones indican que la cantidad total de precipitación anual (PrpTOT) entre los 27°S y los 36°S en el clima actual (1961-1990) muestran tendencias mezcladas entre positivas y negativas (Fig. 44). Chillán es la única estación de este tramo que tiene un incremento de ~100 mm/dec significativa al 90% de confianza. A partir de los 38°S hasta los 45°S, las tendencias observadas son negativas y significativas, la precipitación disminuye entre 90 y 380 mm/década. Estacionalmente, se observa que las tendencias en otoño (MAM) son más significativas que en otro periodo del año, en cambio la zona sur el invierno (JJA) prevalecen las disminuciones de la cantidad de precipitación (ver anexo G). En cuanto a la frecuencia, el número de días con precipitación mayor a 1 mm (RND) muestra una disminución enfocada principalmente entre los 30° y 41°S, las estaciones de Temuco y Osorno presentan una disminución entre 11 y 7 días por década, respectivamente (Fig. 44). El comportamiento estacional es coherente con el indicador de cantidad de precipitación, es decir, mengua en la zona sur y tendencias positivas pero no significativas en la parte norte de la zona central (ver anexo G).

Indicadores absolutos como el máximo de precipitación en 1 día (RX1day) en el tramo entre los 27° y 38°S exhibe una tendencia positiva (de 2 a 4 mm/dec.), principalmente en Chillán y Concepción el máximo de precipitación en 1 día (RX1day) aumenta en ~10 mm por cada 10 años, exceptuando Curicó (Fig. 44). Desde 38°-45°S se observa una disminución de éste máximo, pero sólo en Coyhaique es destacable un decremento de 19 mm/dec. Los cambios en el indicador RX5day, es similar al RX1day (Fig. 44), por ejemplo en Chillán se incrementa en ~19 mm/dec, mientras que en Puerto. Montt y Coyhaique decrece en 12.8 y 22.8 mm/dec, respectivamente

El indicador de intensidad de la precipitación SDII muestra que esta aumentado entre los 25° y 38°S (Fig. 45), aunque no todas las estaciones tiene estadística robusta. Por el contrario, entre Valdivia y Balmaceda se observa un decremento entre 1 a 3 mm/día por década (Fig. 45). Los eventos de precipitación extrema sobre el percentil 95% y 99% (R95p y R99p) también disminuyen en este tramo entre ~65-126 %días/dec (ver anexo A7).

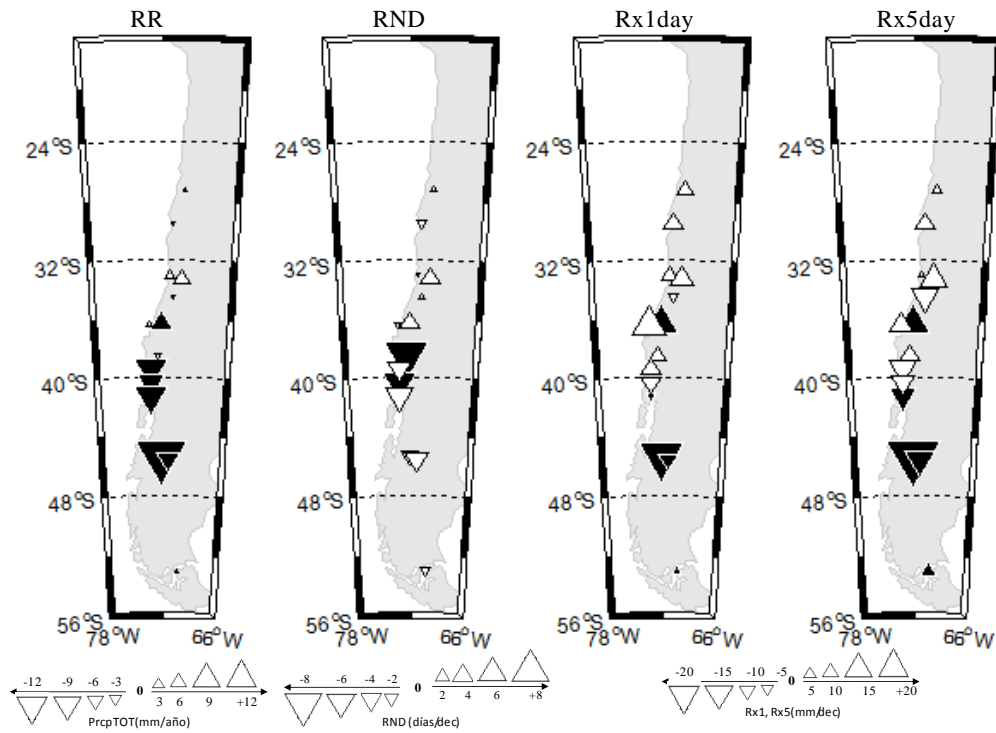


Fig. 44: Tendencias observadas en el clima actual (1961-1990) para los indicadores de precipitación. PrcpTOT: precipitación total anual (mm/año), RND: número de días con precipitación anual (días/dec), Rx1day: máximo de precipitación anual en un día (mm/dec) y Rx5day: máximo de precipitación anual en 5 días (mm/dec). Tendencias significativas al 90% de confianza son sombreadas.

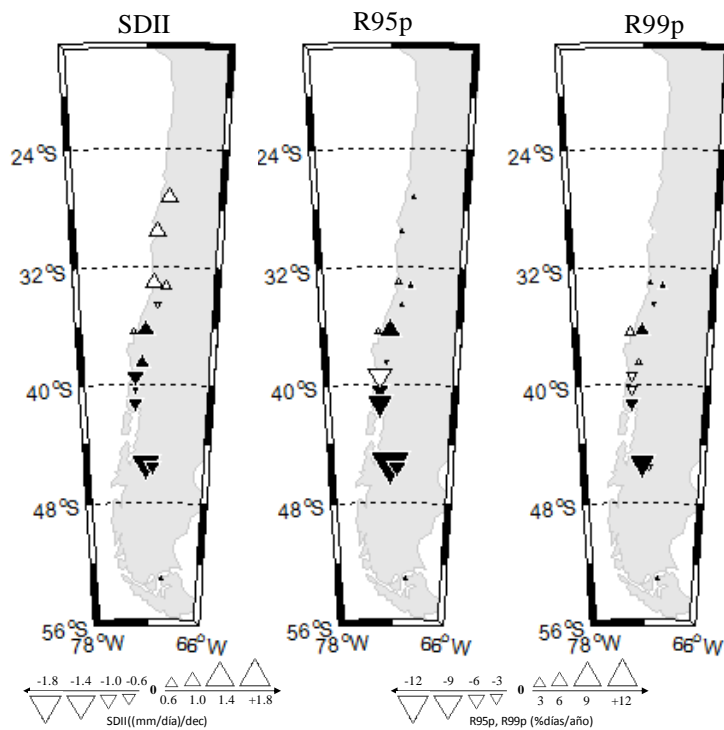


Fig. 45: Igual a la figura 44 pero para el SDII: indicador de intensidad diaria (mm/día)/dec, el porcentaje anual del percentil 95% (%días/año.) y el porcentaje del percentil 99% (%días/año).

Otros indicadores de precipitación, son los días con precipitaciones mayores a 10 mm (R10mm), mayores a 20 (R20mm) y mayores a 30 (R30mm), las tendencias observadas indican que el número de días con precipitación fuerte (R10mm) disminuye significativamente en la región sur y parte de la región austral, entre los 38°S y 45°S, a razón de 4 a 10 días por década, pendientes similares se observan en la precipitación muy fuerte (R20mm) y la precipitación extrema disminuye entre 2 y 6 días por década (Fig. 46). El número de días consecutivos secos CDD, aumentan en la zona centro y sur, pero tales cambios no son importantes, a excepción de Temuco y Valdivia (ver anexo G). Por otro lado, el número de días consecutivos lluviosos CWD tienden a disminuir a lo largo del territorio, aunque no significativamente. Se destaca la disminución en medio día por década en la duración de los eventos (CWD) de precipitación en La Serena (ver anexo G).

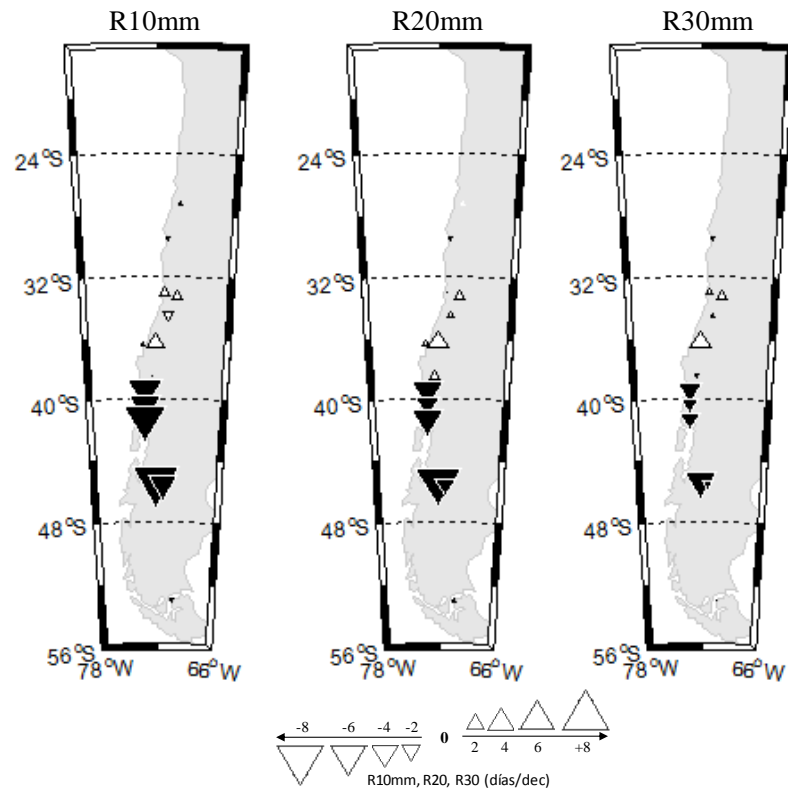


Fig. 46: Igual a la figura 44 pero para los indicadores de días con precipitación fuerte (R10mm), muy fuerte (R20mm) y extrema (R30mm), en unidades de días por década.

4.1.3 Selección de indicadores extremos de cambio climático.

En resumen se puede mencionar que ciertamente el cambio en la temperatura es más evidente que los cambios en la precipitación, sin embargo, la precipitación es un factor fundamental al momento de analizar eventos extremos ya que contribuye grandemente en los daños y pérdidas de vidas humanas. Así y todo, se seleccionan los indicadores de acuerdo a las tendencias significativas que experimentan en el clima actual según los datos observados que se pueden chequear en el anexo H. Un segundo filtro para seleccionar los indicadores, es verificar si

el modelo PRECIS es capaz de capturar la tendencias de eventos extremos seleccionados, es decir, sin error de cambio de signo, tal comparación de tendencias anuales y estacionales se pueden observar en el anexo G.

Por último, en el análisis anterior de las tendencias del clima actual se concluye que los mayores cambios se observan en los ICE asociados a la TN en el periodo (1961-1990), como las noches cálidas (TN90p), el 88% de las estaciones tienen tendencias significativas, el máximo valor de TN (TNx~60% de las estaciones), entre otros. En la tabla 12, se muestra los indicadores con los porcentajes de estaciones que tienen tendencias significativas al 90% de confianza.

Tabla N°12: Porcentaje de estaciones con tendencias significativas anuales y estacionales de los ICE en el periodo 1961-1990. Las negritas es la cantidad de estaciones que supera el 50%. Los cuadros sombreados es la estación del año que presenta los mayores cambios.

ID						ID	%
	Anual	DEF	MAM	JJA	SON		
TN	76.5	70.6	58.8	41.2	76.5	SU25	41.2
TN10p	47.1	64.7	47.1	41.2	47.1	SU32	10.0
TN90p	88.2	76.5	76.5	47.1	76.5	ID0	-
TNx	58.8	76.5	52.9	23.5	64.7	TR20	-
TNn	41.2	52.9	29.4	41.2	41.2	WSDI	6.3
TX	41.2	47.1	17.6	5.9	29.4	CSDI	12.5
TX10p	35.3	58.8	17.6	11.8	35.3	FD0	33.3
TX90p	29.4	5.9	5.9	23.5	17.6	FD-2	16.7
TXx	29.4	11.8	5.9	23.5	17.6	SDII	50.0
TXn	17.6	35.3	17.6	23.5	47.1	R95p	42.9
DTR	52.9	58.8	35.3	41.2	23.5	R99p	38.5
						R10mm	35.7
Rx1	17.7	17.6	35.3	11.8	29.4	R20mm	42.9
Rx5	29.4	29.4	41.2	29.4	23.5	R30mm	38.5
RND	11.8	11.8	29.4	17.6	5.9	CDD	14.3
RR	35.3	17.6	41.2	29.4	23.5	CWD	7.1

Finalmente, los indicadores por región que serán analizados para los cambios futuros son:

- Región Norte: Indicadores de temperatura extrema mínima al año (TNx y TNn), rango diurno de temperatura (DTR) y días de verano (SU25).
- Región Centro: Indicadores de temperatura extrema mínima al año (TNx y TNn), rango diurno de temperatura (DTR), días de verano (SU25) y número de días con heladas (FD0). En los indicadores de precipitación, se analizan: la precipitación total anual y estacional (PrcTOT), el número de días con precipitación (RND), la cantidad de precipitación acumulada en 1 y 5 días (Rx1day y Rx5day, respectivamente), el número de días al año con precipitación por sobre 10mm, 20mm y 30mm (R10mm, R20mm y R30mm, respectivamente) y el indicador de intensidad de precipitación (SDII).
- Región Sur: En los indicadores de precipitación, se analizan: la precipitación total anual y estacional (PrcTOT), el número de días con precipitación (RND), la cantidad de precipitación acumulada en 1 y 5 días (RX1day y RX5day, respectivamente), el número

de días al año con precipitación por sobre 10mm y 20mm (R10mm y R20mm, respectivamente) y el indicador de intensidad de precipitación (SDII).

- Región Austral: Número de días con heladas (FD0). En los indicadores de precipitación, se analizan: la precipitación total anual y estacional (PrcTOT), el número de días con precipitación (RND), la cantidad de precipitación acumulada en 1 y 5 días (RX1day y RX5day, respectivamente), el número de días al año con precipitación por sobre 10mm, 20mm y 30mm (R10mm, R20mm y R30mm, respectivamente) y el indicador de intensidad de precipitación (SDII).

4.2 SIMULACIÓN DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS PROYECTADOS PARA FINES DEL SIGLO XXI EN CHILE.

4.2.1 Análisis de los cambios futuros de ICE en la región norte.

4.2.1.1 Análisis basado en la temperatura:

La comparación de las distribuciones de frecuencia absoluta anual de las temperaturas extremas exhibe una distribución normal con corrimiento hacia la derecha en el futuro. El cambio en la distribución es esencialmente producto de un cambio positivo significativo entre la diferencia del promedio del periodo 2071-2100 (Clima Futuro) y el promedio del periodo 1961-1990 (Clima Actual).

En la figura 47 se muestran las distribuciones de frecuencia absoluta y las distribuciones acumuladas empíricas (CDF) anuales y estacionales de la temperatura máxima (TX) simulada en el clima actual (línea azul) y clima futuro (línea roja). Estas distribuciones están compuestas por el promedio de las series de tiempo simuladas con PRECIS de los puntos de grilla cercanos a las estaciones de la región norte. En ellas se observa que las distribuciones son similares en cuanto a su forma (distribución normal), pero la distribución futura está desplazada hacia la derecha con respecto al clima actual en 3.2°C en el periodo anual, estos cambios son similares en todas las estaciones del año y significativos (Fig.47). Se puede aseverar que las significativas diferencias entre CDFs se deben los cambios en la media y no en la varianza, debido a que el test K-S sobre las series diferenciadas demuestran que ambas distribuciones (Futuro y Actual) son semejantes (factor D_s^* : no significativo). Las estaciones de la zona norte tienen un pequeño rango de variación, el cambio mínimo es de +2.9°C en Arica y el máximo es en Antofagasta de +3.5°C (ver anexo H).

Las distribuciones de la temperatura mínima (TN) tienen igual comportamiento que en las TX, es decir, en el futuro la distribución se desplaza hacia las temperaturas más altas con un desplazamiento de 3.9°C (Fig. 48). Las diferencias más importantes con respecto al análisis de las TX, es que los cambios en el futuro de las TN son considerablemente más notorias, de hecho, el cambio mínimo es de 3.7°C y el máximo es de 4.1°C para Copiapó y Arica, respectivamente (ver anexo H).

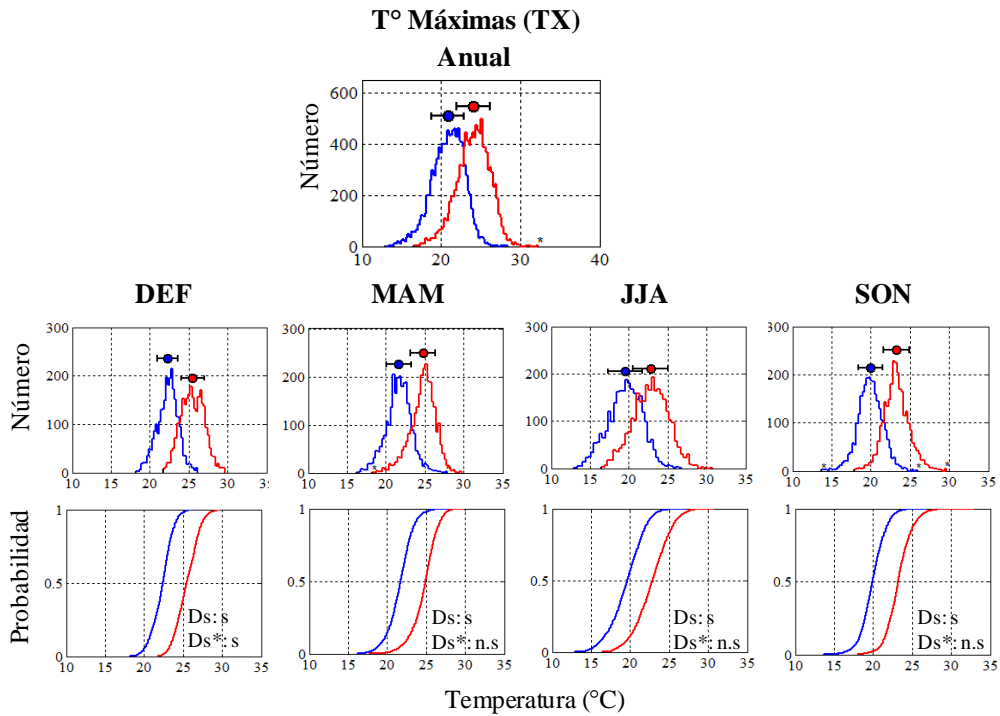


Fig. 47: Distribución de frecuencia absoluta (arriba) y distribución empírica acumulada (abajo), anual y estacional para el clima actual (línea azul) y el clima futuro (línea roja) de la temperatura máxima (TX).

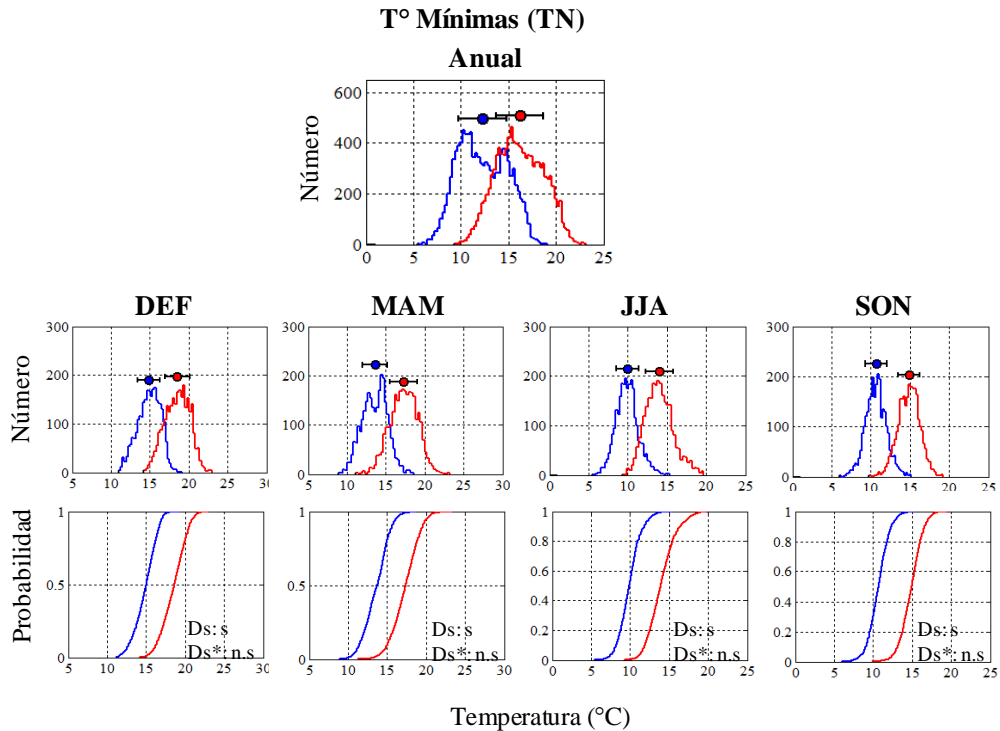


Fig. 48: Igual que la figura 48 pero para la temperaturas mínima (TN).

Observando las distribuciones espaciales de la zona norte de las TN se puede apreciar que los cambios mayores ($>4.1^{\circ}\text{C}$) suceden en JJA y SON, principalmente en las estaciones ubicadas al norte como Arica e Iquique (Fig. 48 y fig. 49), posiblemente en asociación con el comienzo de

los eventos cálidos de Pacífico tropical, la cual se observa una buena correlación con las temperaturas en la zona norte. Se observa además la disminución espacial de la cobertura de temperatura mínima por debajo de los 0°C en el clima futuro por sobre los 3000 metros en la cordillera de Los Andes (Fig.49).

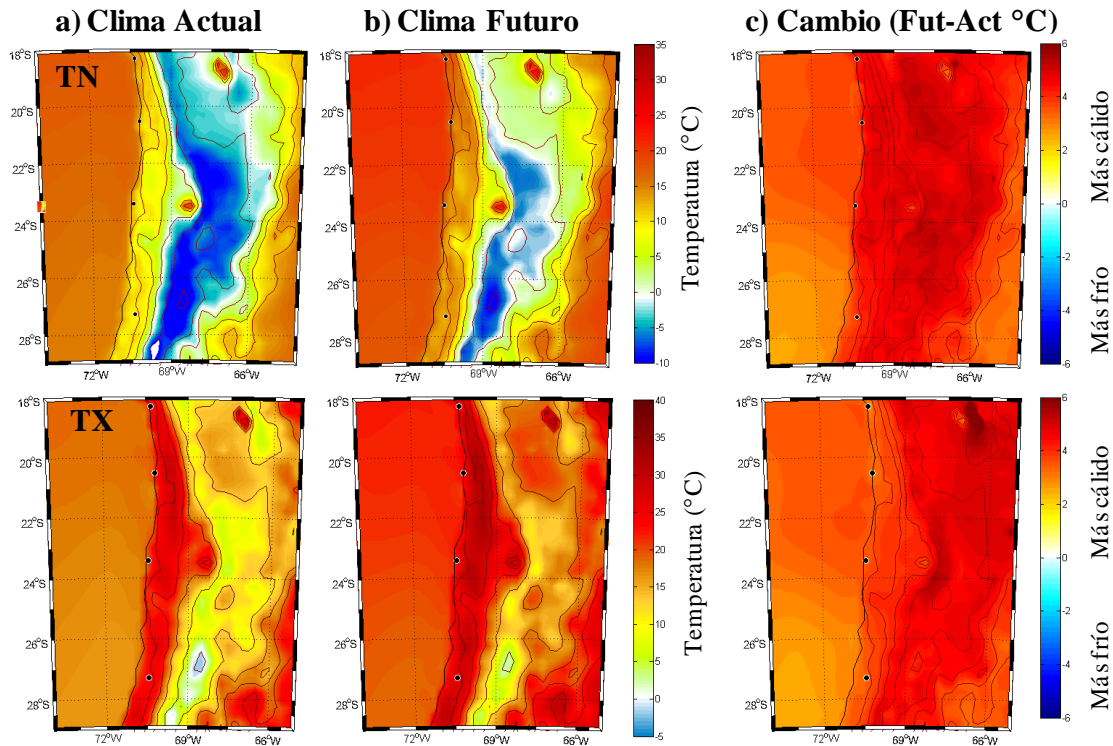


Fig. 49: Distribución espacial simulada con PRECIS de temperaturas mínimas y máximas para el a) clima actual (1961-1990), b) clima futuro (2071-2100) y c) cambio futuro (diferencia del futuro-actual, en °C).

El crecimiento más rápido de la temperatura mínima que de la máxima en relación a las tendencias observadas anuales (de $+0.56^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y $+0.14^{\circ}\text{C}/\text{década}$, para TN y TX respectivamente), causa un decrecimiento del rango diurno de temperatura (DTR), que tal como se observa en la distribución espacial simulada con PRECIS del DTR, es posible apreciar que la disminución, principalmente entre los 18°S y los 24°S es de aproximadamente 7 décimas de grado menor que el clima actual (Fig. 50a). En invierno y primavera es cuando se producen los mayores cambios en el futuro (ver anexo H).

Las consecuencias del desplazamiento de la distribución de TX es el incremento de los días de verano SU25 en el futuro, cubriendo toda la zona norte de Chile, especialmente bajo los 3000 metros de altura y al lado oeste de la cordillera. En Arica el promedio los SU25 es de aproximadamente 32 días al año, en el futuro incrementa a 187 días, es decir el cambio refleja un crecimiento del $\sim 50\%$ en el número de días mayor a 25°C (Fig.50b). Si bien las tendencias observadas en las otras estaciones de la región norte son significativas (~ 35 días/dec) el modelo subestima este indicador por lo tanto no es posible inferir acerca del cambio en las estaciones individuales, a pesar de esto se puede observar el mapa de distribución espacial que SU25 serán más frecuentes en todo el área norte del país (Fig. 50b).

Otros indicadores significativos pero bastante más locales son en relación a las temperaturas mínimas son las noches tropicales (TR20) que se incrementan a un ritmo de 11 días por década en Arica y se proyecta a futuro un drástico incremento de ~20 días al año con TR20 a 77 días en el escenario más pesimista, sin embargo este cambio se refleja sólo en entre los 18°S y 23°S. Un segundo indicador significativo son el número de días al año con heladas (FD0), en Copiapó (~27°S) por ejemplo, el FD0 ocurre 1 evento cada 16 años con un máximo de 7 eventos por cada 30 años en el futuro el riesgo de heladas desaparece completamente.

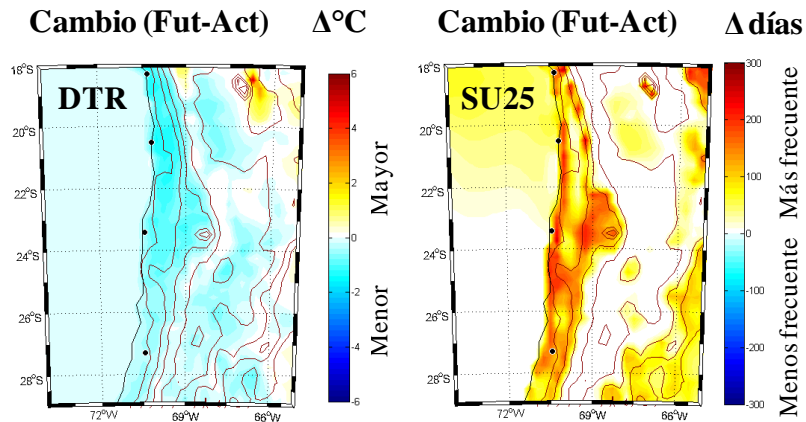


Fig. 50: Cambios futuros (Futuro-Actual) simulados con PRECIS para a) el rango diurno de temperatura (DTR) y los días de verano (SU25).

Un factor común en la región norte fueron las tendencias significativas observadas y simuladas adecuadamente con PRECIS, en los extremos de TN, estas aumentan entre 0.47°C y 0.72°C/década para TNx y TNn en el clima actual (ver anexo 7), así en el futuro se proyecta que estos extremos aumentarían entre 3.5°C y 5°C con respecto a su valor actual, respectivamente. Los mayores cambios de la zona se observan en Antofagasta en el mínimo de TN que se incrementa en casi 7°C (Fig. 51). Nuevamente, las diferencias más notables ocurrirán entre los 20°S y 25°S.

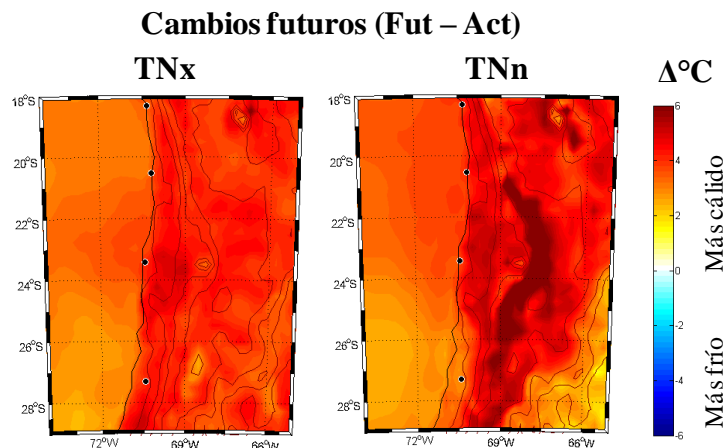


Fig. 51: Igual a la figura 50, pero para las temperaturas extremas máximas (TNx) y mínimas (TNn) de la temperatura mínima.

Asimismo, este corrimiento de la distribución de temperaturas permite que en la porción fría los eventos sean menos frecuentes y en correspondencia la porción cálida admite que los eventos cálidos aumenten su frecuencia en el futuro. Así, de los indicadores climáticos de eventos extremos seleccionados en el capítulo 4 que presentan los mayores cambios en las tendencias significativas en el clima actual, además de ser estadísticamente robustos con la simulación PRECIS, son los que se distribuyen en las colas de la distribución, estos son las noches y días cálidos (TN90p y TX90p, respectivamente) y noches y días fríos (TN10p y TX10p, respectivamente). En un futuro con un escenario de cambio climático A2, se proyecta que las noches cálidas se incrementen en ~120% y los días cálidos en ~50% anual, con relación al límite del percentil 90% del clima actual (en promedio la diferencia de los límites del clima actual y el clima futuro es de 3.6°C). La mayor frecuencia de TN90p se aprecian mejor entre los 18°S y 24°S y durante DEF que pueden llegar a tener un 200% más de noches cálidas (Fig. 52). Por otro lado, los TX90p también incrementan su frecuencia pero en un rango menor que TN90p, ambos están fuertemente ligados a la gran diferencia que existe en océano, por lo tanto se hace notar que la costa es la que presenta los cambios más significativos (Fig. 52). Los cambios futuros negativos en la porción fría de la distribución son consistentes con el aumento en la porción cálida, de este modo las noches frías (TN10p) y días fríos (TX10p) serán menos frecuentes en el mismo orden de magnitud que lo hace la cola derecha de la distribución (Fig. 52).

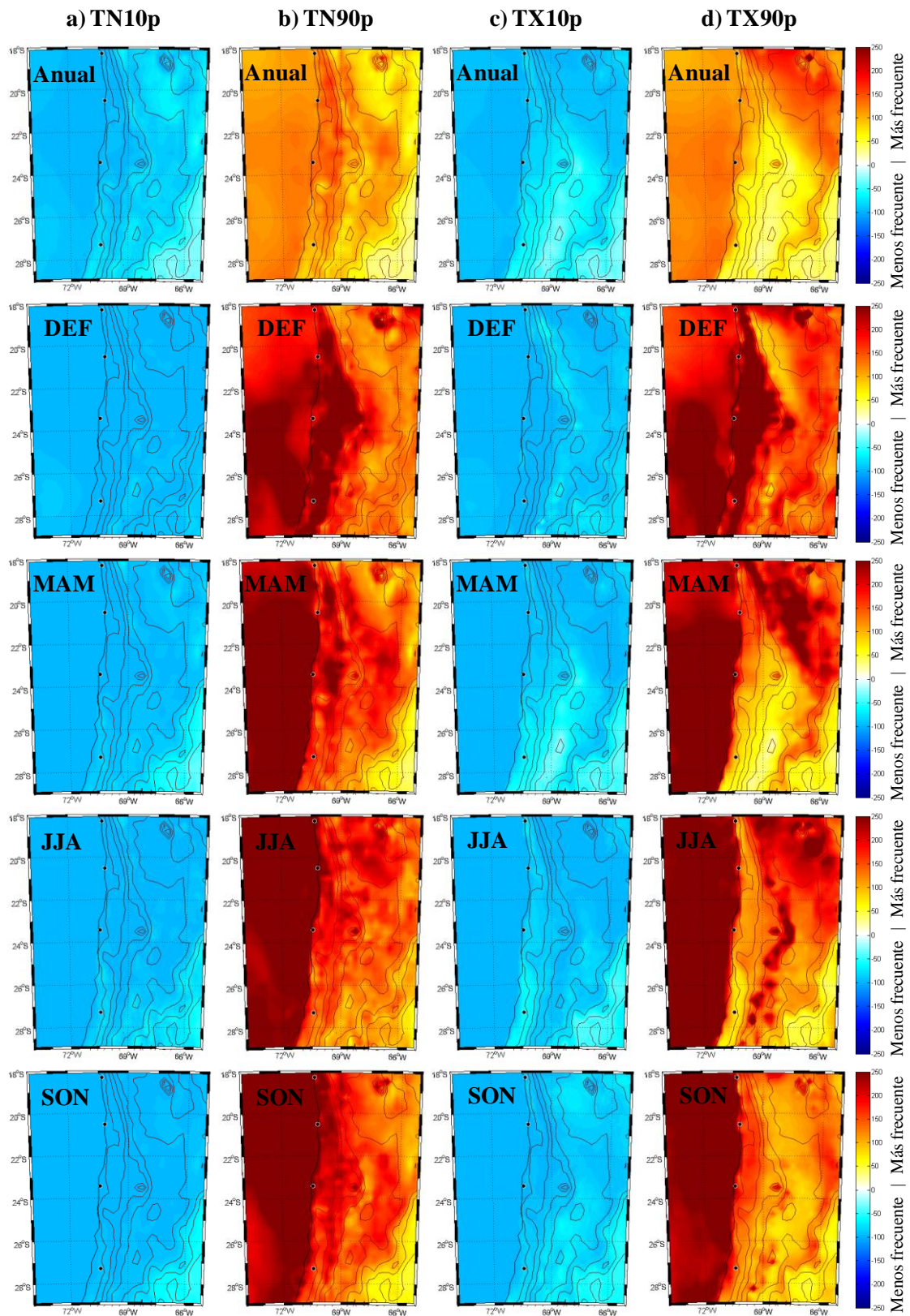


Fig. 52: Cambios porcentuales futuros en, de a) noches frías (TN10p), b) noches cálidas (TN90p), días fríos (TX10p) y días cálidos (TX90p).

4.2.2 Análisis de los cambios futuros de ICE en la región centro.

4.2.2.1 **Análisis basado en la temperatura:**

El comportamiento de las distribuciones simuladas del clima actual y del futuro, son básicamente el mismo que en la región norte sólo que el cambio es menor (aunque igualmente significativo). La distribución anual binormal de TX se mantiene en el futuro con un cambio positivo de 1.8°C más cálido que el clima actual (Fig. 53). La estación de invierno es la que mayor aporta a este cambio con una diferencia de 2,2°C en la media. Sin embargo, la asimetría positiva que presenta las distribuciones de TX (a excepción de DEF) permite inferir que el extremo frío de la distribución sufrirá una disminución más abrupta en la frecuencia en comparación con el aumento menos significativo del extremo cálido, que se corrobora con los cambios de indicadores de días cálidos y fríos (TX90p y TX10p, figura 57).

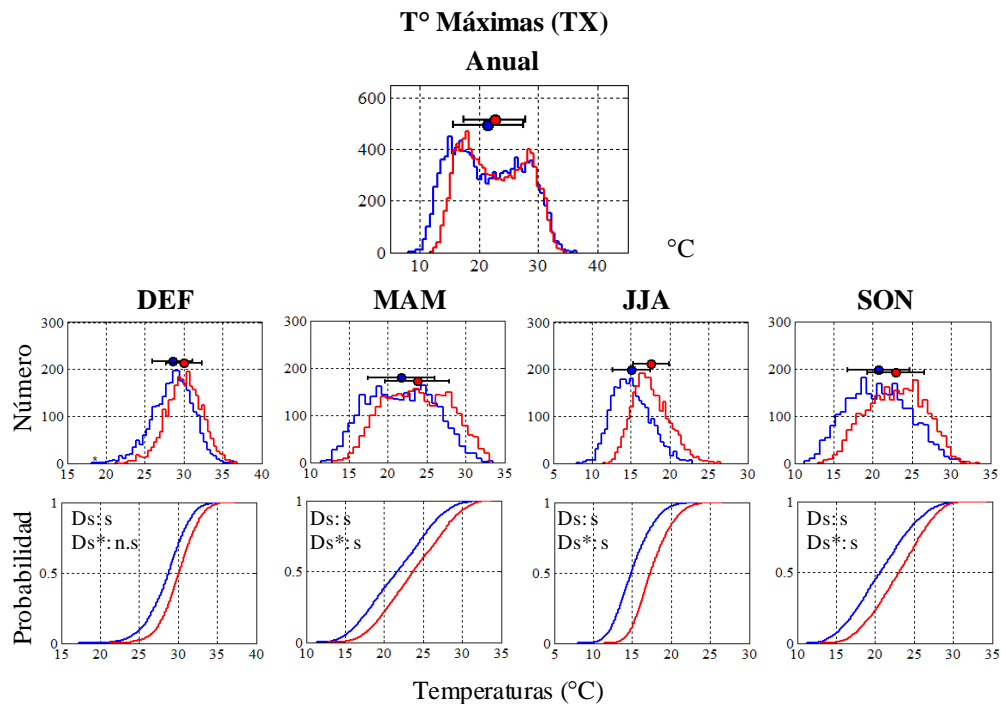


Fig. 53: Distribución de frecuencia absoluta (arriba) y distribución empírica acumulada (abajo), anual y estacional para el clima actual (línea azul) y el clima futuro (línea roja) simulados con PRECIS de las temperatura máxima (TX) en la zona central.

En el caso de los cambios futuros de la distribución de frecuencias de la temperatura mínima en la región central, se observa como rasgo general el desplazamiento hacia de la derecha de la distribución sin cambiar su forma ni varianza. En un clima futuro bajo un escenario de cambio climático la TN se incrementará significativamente en +3.1°C como promedio anual, sin grandes variaciones durante las estaciones (el rango varía entre +2.8°C en SON y 3.3°C en MAM). Todas las distribuciones empíricas son significativamente diferentes según un test K-S, mientras que la para las series sin su valor medio, las distribuciones empíricas son idénticas

según el test K-S, con lo cual se deduce que no hay cambios significativos en la varianza durante el periodo 2071-2100.

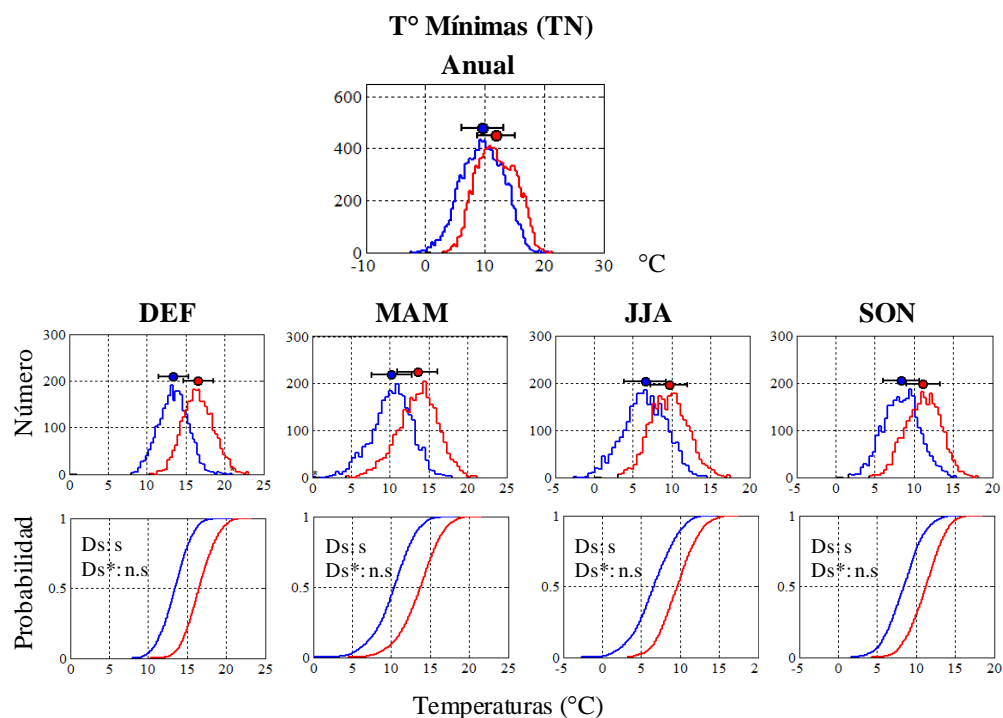


Fig. 54: Igual a la figura 53 pero para la temperatura mínima (TN).

En general la comparación de distribuciones del clima actual y futuro de las estaciones individuales son similares entre sí, la particularidad es Valparaíso, ya sea con los cambios de las TX como con TN. Es la única estación que presenta cambios negativos en TX y cambio positivos que salen del rango de la región en las TN (por ejemplo, una disminución de -8.7°C TX en DEF y un aumento de $+6.7^{\circ}\text{C}$ de TN en JJA). Ya se señalaba en el capítulo anterior que la simulación de PRECIS en esta estación no es satisfactoria.

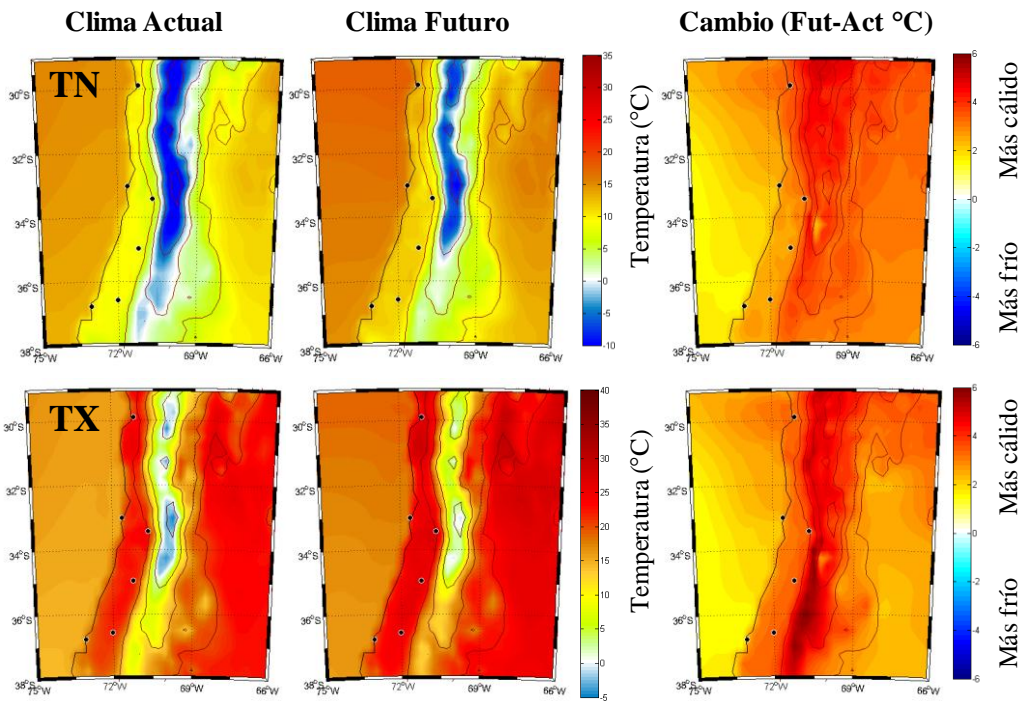


Fig. 55: Igual a la figura 48, pero para la zona centro.

Con relación a los indicadores extremos de temperaturas, se observan algunos con cambios significativos en toda la región central y otros con cambios locales. En el caso de los valores extremos de la temperatura se observa la diferencia más importante en el máximo valor de TN (TNx), en el futuro éste podría ser 3.5°C más alto que el valor actual en promedio regional (Fig. 56a). Más aun este incremento es más probable que ocurra en verano y otoño. La variación de TNn es más moderada pero igualmente significativa con un incremento promedio de 3°C (Fig. 56b).

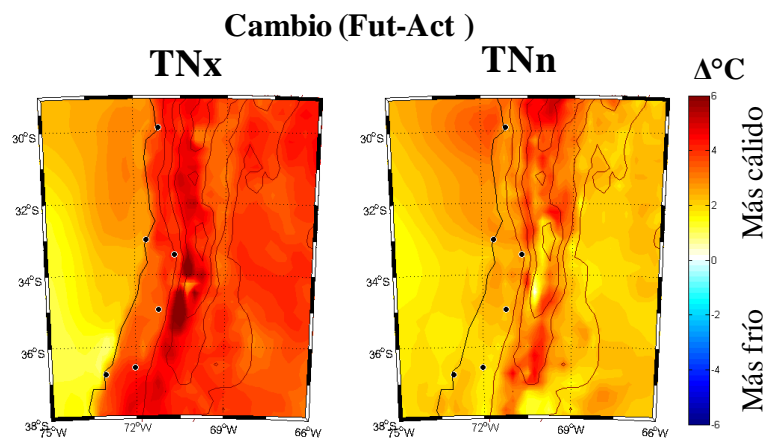


Fig. 56: Distribución espacial de los cambios (diferencias entre futuro – actual) del máximo y mínimo valor de la temperatura mínima anual en °C (TNx y TNn, respectivamente).

Los cambios en el rango diurno de temperatura (DTR) son positivos y significativos entre 0.5°C y 1°C, a partir de los 33°S hacia el Sur. Esto es destacable de mencionar ya que a nivel global los cambios proyectados a futuros y también los observados muestran una disminución del DTR, como consecuencia del aumento más acelerado de la TN que la TX, en el caso de la región central de Chile esto no ocurre. Por otra parte, se observa que en la costa no se presentan cambios significativos a excepción de La Serena el DTR disminuye en el futuro en verano y otoño alrededor de -0.5°C, siguiendo el patrón de la región norte (Fig. 57a).

En el caso de SU25, se observa que existe una mayor frecuencia en el futuro en la región central. Los días de verano se incrementarán en ~40 días al año como promedio regional (Fig. 57b). Luego un indicador más extremo especialmente enfocado a el impacto en el bienestar de la población es el SU32 (número de días con TX>32°C), el cual también presenta tendencias significativas en el clima actual pero en escala local. En Santiago la tendencia aumenta en casi 4 días por década, el modelo propone un cambio de hasta 67 días más de SU32 al año. En esta misma ciudad las olas de calor WSDI (o periodos cálidos de 6 o más días consecutivos por sobre el percentil 90%) si bien no incrementará su frecuencia en el periodo de 30 años, si se extenderá en el orden de 1 día (ver anexo H).

Luego el desplazamiento de la distribución de TN, produce cambios significativos en el número de días con heladas (FD0) donde se observa una distribución espacial homogénea en la región central, con un decremento de aproximadamente 9 días al año (Fig. 57c). Las heladas más intensas FD-2 (número de días al año con TN<-2°C), tienen cambios significativos en Curicó desapareciendo por completo en el futuro.

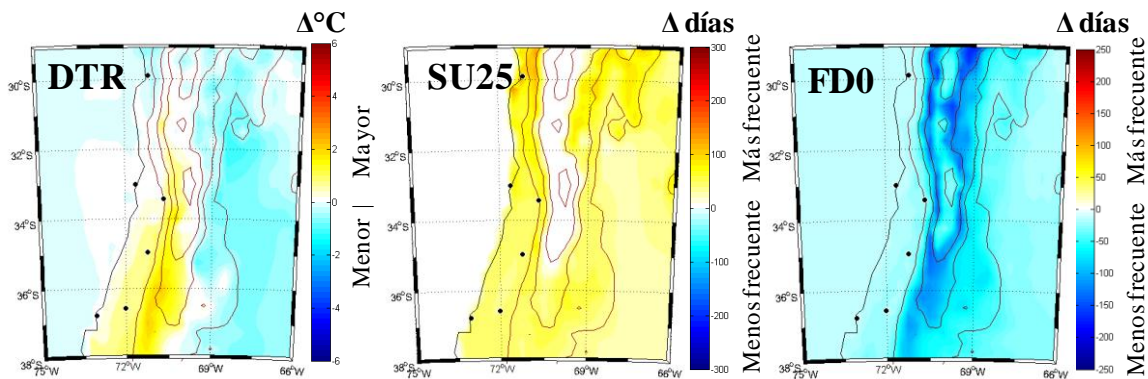


Fig. 57: Distribución espacial de los cambios futuros del a) rango diurno de temperatura (DTR) en °C, b) los días de verano (SU25) en días y c) el número heladas (FD0) en días.

Como es bien sabido, la simulación numérica de los extremos tienen una dificultad mayor de ser representada por un modelo numérico, los indicadores de percentiles son por el contrario, los principales indicadores para medir el grado de cambio de la temperatura en su porción fría y cálida de la distribución por ser estadísticamente más robustos que los otros indicadores.

La región central presenta cambios significativos en el incremento de noches cálidas (TN90p) en el futuro de un 100% a 300%, y se agrupan principalmente entre La Serena y Santiago (29°S y 33°S) (Fig. 58). Los cambios de los percentiles ocurren tanto en la frecuencia de los eventos como en la determinación del umbral, por ejemplo, en Santiago el percentil 90% de

TN corresponde a 13.4°C en el clima actual, en el futuro este límite aumentará a 16.8°C. Luego el incremento de noches cálidas considerando el límite actual será de 36 a casi 130 noches cálidas al año, casi 4 veces más su valor actual. En correspondencia, la porción fría representada por las noches frías (TN10p) se reducirán en un porcentaje menor pero igualmente significativo entre 30 a 100%, de 2 a 3 veces menor que su valor actual. El mayor contraste entre el clima actual y el futuro es durante verano, mientras que en invierno el porcentaje de cambio es menor entre 10% y 20%, y preferentemente en los valles entre los 34°S y 38°S (Fig. 58).

La simulación del clima futuro con PRECIS muestra que los días cálidos (TX90p) serán más frecuentes aumentando en promedio en 150% con relación al clima actual anual, preferentemente en las estaciones de Santiago y Concepción. Los mayores cambios se concentran en verano y a diferencia de las noches cálidas los cambios en invierno también son relevantes. Los días fríos (TX10p) disminuyen en un 28% anualmente según el percentil 10% de TX actual (14.2°C). En DEF y en cordillera se observan las mayores pérdidas de días fríos entre el futuro y el clima actual (Fig. 58). Se enfatiza que los cambios en los días fríos son más homogéneos en la distribución espacial de la región central que los indicadores de percentiles asociados con la temperatura mínima (Fig. 58).

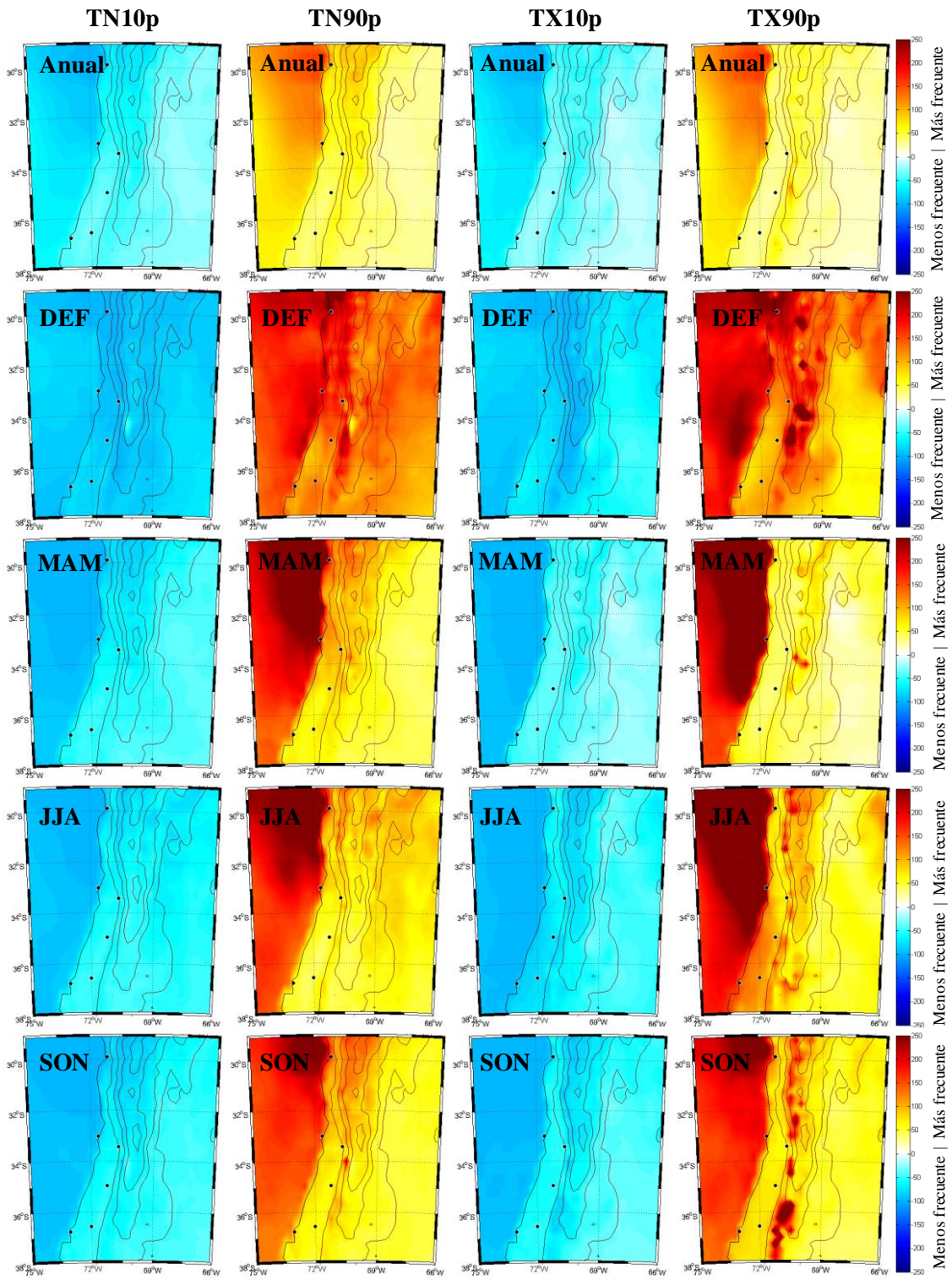


Fig. 58: Igual a la figura 52 pero para la región centro.

4.2.2.2 Análisis basado en la precipitación:

En el clima futuro las distribuciones de precipitación tanto anual como estacional, son prácticamente similares comparado con la distribución del clima actual. Se distinguen sólo por la disminución de aproximadamente un 32% de la cantidad total anual de precipitación (Fig. 59). En verano y primavera es donde se presentan las mayores pérdidas en el futuro de 54% y 51%, respectivamente, aunque cabe destacar que estadísticamente no es robusto debido a los pocos eventos en estos periodos.

Las mayores pérdidas de precipitación se dan en los rangos menores de la distribución entre 1-5 mm (Fig. 59). También se observa una menor frecuencia de eventos extremos, en DEF menos probables son los eventos mayores a 15 mm, en MAM mayores a 30 mm, en JJA mayores a 70 mm y en SON serán menos frecuentes los eventos mayores 32 mm. Entre los 29° y 33°S, el porcentaje de cambio anual fluctúa entre el 19% y 25%, mientras que entre los 33° y 36°S el porcentaje de pérdida de precipitación es superior al 40% (Fig. 59 y Fig. 60). La estación en que se observa el mayor porcentaje de cambio es Chillán de un 42%, por el contrario, en La Serena los cambios incluso son ligeramente positivos en verano, aunque no son estadísticamente significativos (ver anexo I).

En la distribución espacial de los cambios porcentuales se observa que los mayores cambios están concentrados entre los 34°S hasta 38°S (entre Curicó y Concepción, ver anexo I), con mermas principalmente en verano y al lado oeste de la cordillera de Los Andes, aunque se hace notar que el patrón de disminución de la precipitación abarca también el lado Argentino en JJA y SON (Fig. 60). Patrón similar sigue el número de días con precipitación (RND) pero con rangos menores de porcentaje de cambio.

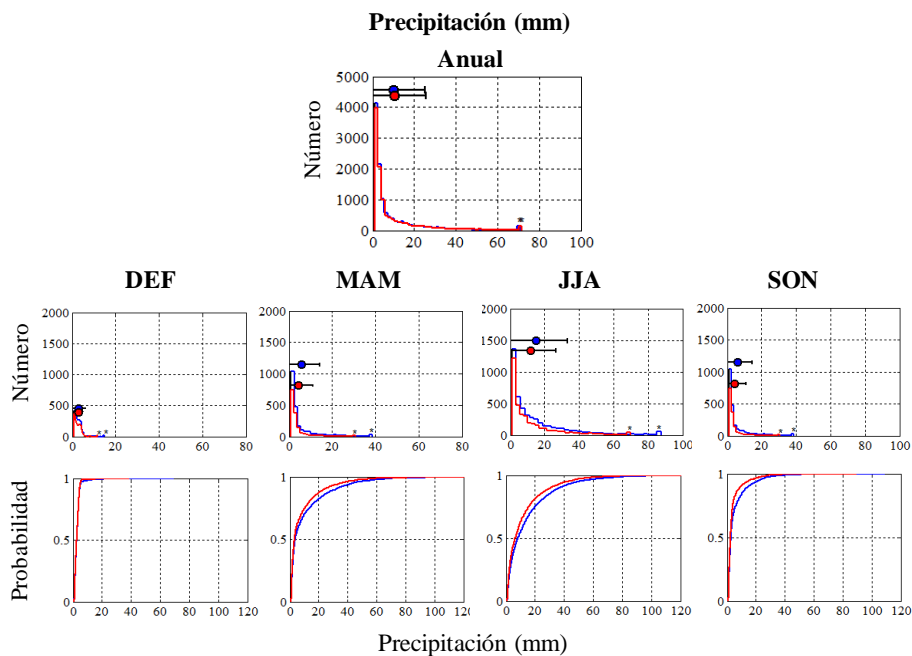


Fig. 59: Distribución de frecuencia absoluta de la precipitación anual y estacional. Abajo se muestran las distribuciones empíricas acumuladas de las series simuladas del clima actual (línea azul) y el clima futuro (línea roja).

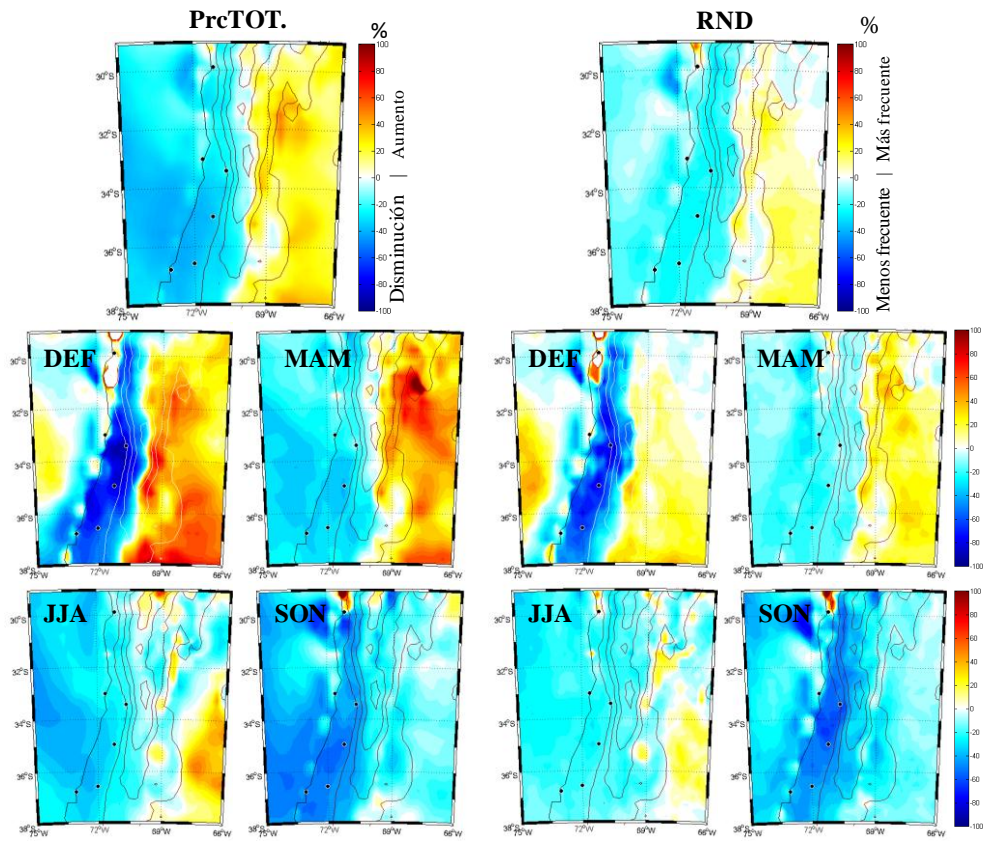


Fig. 60: Distribución espacial de los cambios porcentuales anual y estacional de la cantidad de precipitación (PrcTOT) y el número de días con precipitación (RND).

El número de días con precipitación (RND) están fuertemente asociados a la cantidad de precipitación, sin embargo, el porcentaje de cambio de RND ($\sim -19\%$) es menor que la pérdida de precipitación ($\sim -32\%$) y que por lo tanto, esta diferencia se manifiesta con una disminución en la intensidad. A partir de los 34°S estos cambios son mayores y preferentemente en SON (Fig. 61), como se observa en los cambios futuros (Futuro – Actual) de los indicadores de RX1day, RX5day y SDII. Estos muestran que la cantidad de precipitación en 1 y 5 días disminuirá en el futuro entre 20% y 60%, preferentemente en la parte Sur de la región central. El mismo esquema espacial muestra el índice de intensidad de precipitación, expresando que en el futuro los eventos de precipitación serán más débiles o menos intensos que en la actualidad (Fig. 61).

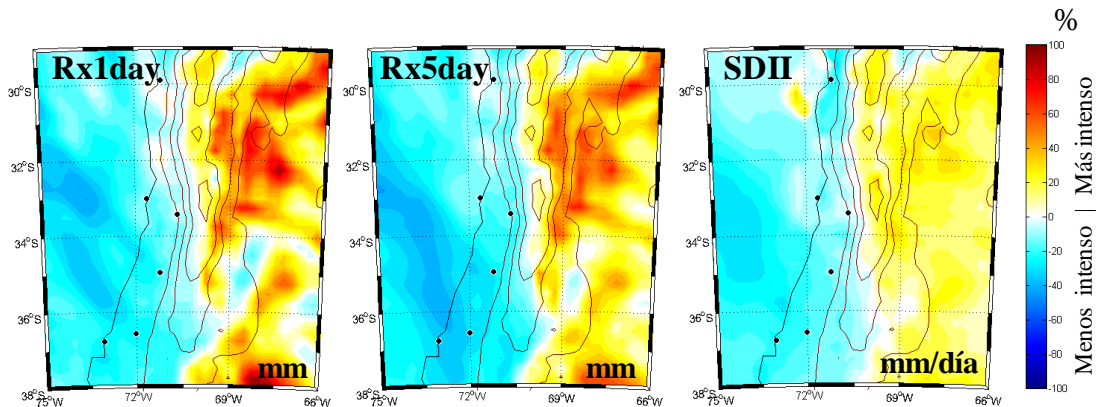


Fig. 61: Distribución espacial de los cambios porcentuales en el máximo de precipitación en 1 día (RX1day) y en 5 días (RX5day) en mm. Derecha: para el indicador de intensidad de la precipitación diaria (SDII).

También se observa la disminución en la frecuencia de los eventos de precipitación, principalmente los eventos extremos (>30mm) disminuirán en un 60%, los eventos muy fuertes (>20 mm) lo harán en ~40% y los eventos fuerte (>10mm) serán menos frecuentes en un 30%, aproximadamente (Fig. 62). Al igual que los indicadores de intensidad se observa el contraste de los cambios porcentuales asociados a lado Argentino y Chileno.

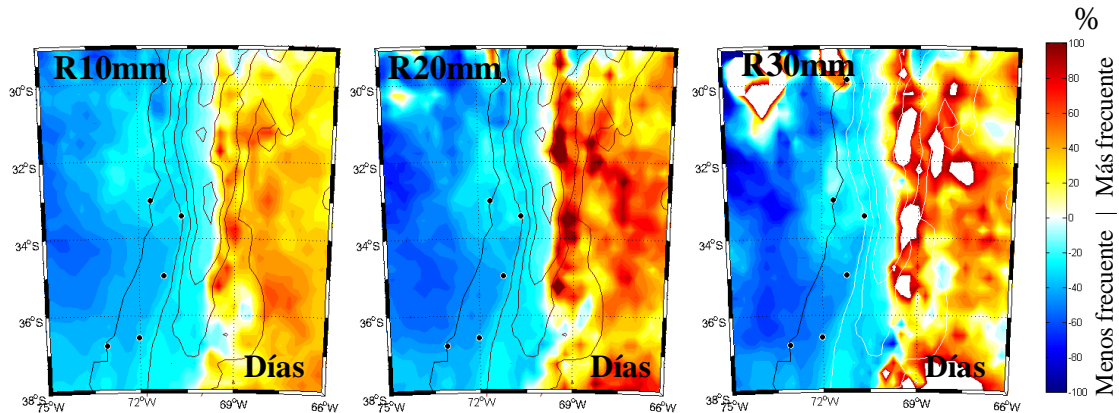


Fig. 61: Distribución espacial de los cambios porcentuales del número de días al año con precipitación mayor a 10 mm (R10mm), 20 mm (R20mm) y 30 mm (R20mm).

4.2.3 Análisis de los cambios futuros de ICE en la región sur.

4.2.3.1 **Análisis basado en la temperatura:**

En la región sur los cambios futuros de indicadores de cambio climático de temperatura son menos relevantes que los indicadores de precipitación. Sin embargo, las distribuciones de frecuencia absoluta y empírica acumulada manifiestan cambios similares a lo que se observa a nivel país, el aumento de los indicadores de la temperatura máxima y mínima significativa. Con respecto a la TX, la distribución de frecuencia absoluta anual del clima actual exhibe una distribución normal pero con una fuerte asimetría positiva, esta estructura se conserva en el futuro pero es claro que la porción cálida presentara incrementos mayores en la frecuencia (Fig. 62). Durante el periodo estival la distribución es normal con una importante varianza que no cambia en el futuro sólo se pronostica veranos más cálidos producto del desplazamiento hacia la derecha de la distribución en aproximadamente 4°C (Fig. 62). En invierno la media de la TX aumenta en 2.1°C (ver anexo H). En estas dos estaciones del año, el test KS demuestra que los cambios futuros están asociados a cambios en la media e insignificantes en la varianza. Distinto es el caso de las distribuciones de frecuencias en MAM y SON, que condicionan el comportamiento anual de la distribución con forma gaussiana pero con asimetría positiva (Fig. 62). En ambas, se desprende que el incremento de la frecuencia en eventos mayores a 20°C aproximadamente.

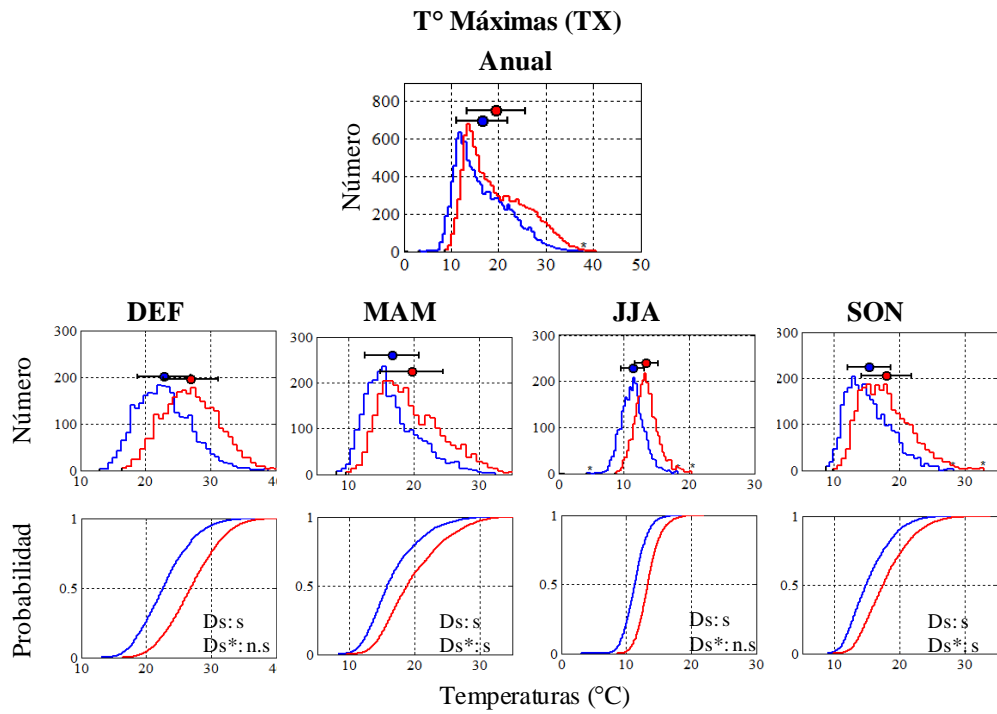


Fig. 62: Distribución de frecuencia absoluta (arriba) y distribución empírica acumulada (abajo), anual y estacional para el clima actual (línea azul) y el clima futuro (línea roja) simulados con PRECIS de las temperaturas máximas (TX) en la zona sur.

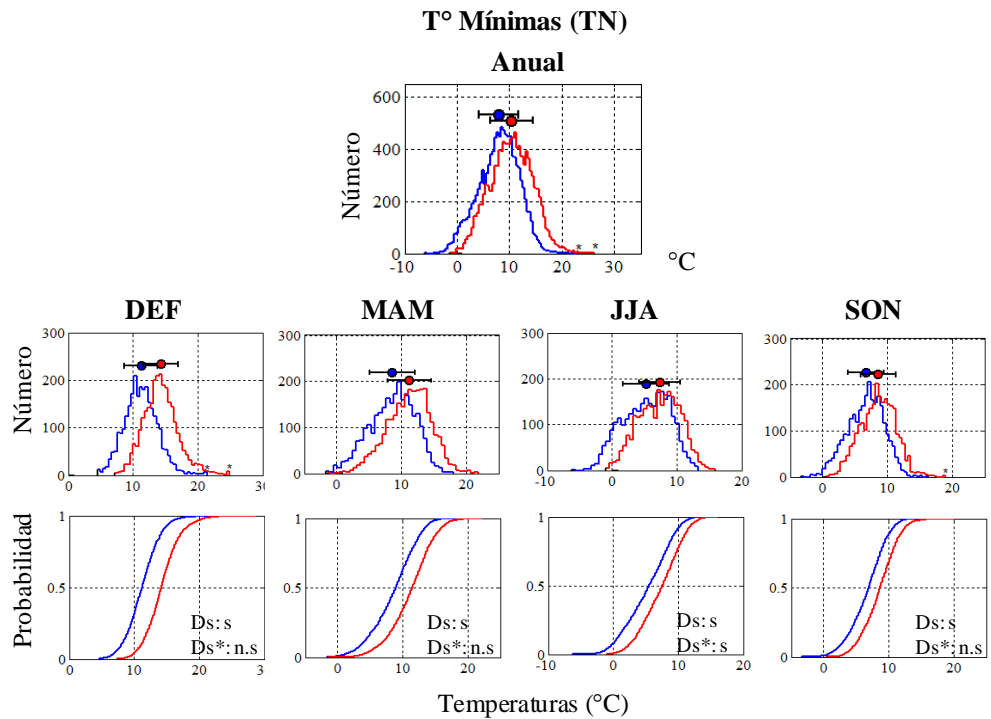


Fig. 63: Igual que la figura 62 pero para la temperatura mínima.

La temperatura mínima de la región sur, al contrario de los que ocurre en la región norte es menor el de cambio positivo que en la temperatura máxima. La distribución de frecuencia regional tiene un comportamiento normal con una ligera asimetría negativa que no cambia en el futuro proyectado al final del siglo XXI (Fig. 63). El cambio en la distribución es también producto del desplazamiento de la media hacia la derecha, en promedio la TN anual se incrementará $\sim 2.4^{\circ}\text{C}$. Al igual que las otras regiones, el periodo estival es el que expone los mayores cambios con una diferencia de 3.1°C entre el clima futuro y el clima actual (Fig. 63). Valdivia resulta ser el lugar (o punto de grilla) que presenta cambios más notables, aunque en general en la zona se observan cambios homogéneos (ver anexo I).

El contraste entre el lado Este y Oeste de la cordillera de Los Andes es evidente principalmente en la temperatura máxima, el lado Argentino duplica los cambios que los observados a barlovento de la cordillera. En la cordillera el comportamiento espacial de la temperatura mínima bajo 0°C (colores blancos y azules) en el clima actual son casi nulas en el futuro (Fig. 64), lo que alarma la sobrevivencia de los glaciares y el recurso agua en esta zona.

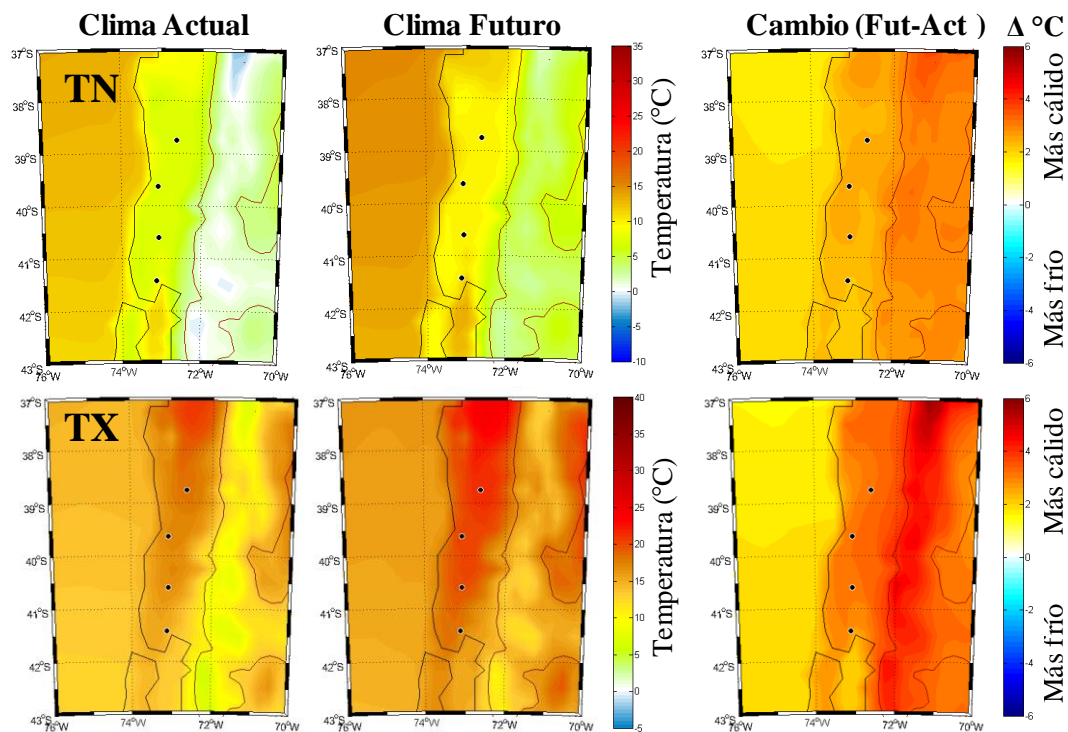


Fig. 64: Distribución espacial simulada con PRECIS de temperatura mínima y máxima para el a) clima actual (1961-1990), b) clima futuro (2071-2100) y c) cambio futuro (diferencia del futuro-actual, en $^{\circ}\text{C}$) para la región sur.

De los indicadores de eventos extremos de temperaturas que presentaban tendencias significativas resultaron ser el máximo de TN (TNx) y los días de verano (SU25). En el futuro se observa que la temperatura mínima más alta del año se incrementa en promedio alrededor de 3.8°C , el cambio máximo es en Temuco de 4.4°C y el mínimo de 2.9° en Puerto Montt) (Fig. 65 y ver anexo I). Nuevamente el periodo DEF es la estación del año que más contribuye a este aumento que es de $\sim 5^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, no es raro esperar en el futuro el aumento en la frecuencia de noches tropicales ($\text{Tr}20: \text{TN} > 20^{\circ}\text{C}$) en la región sur. Por otra parte, los días de verano (SU25)

también se incrementarán entre 130% y 74%, de Norte a Sur, respectivamente y especialmente en los valles (Fig. 65). La zona de Puerto Montt y Chiloé, no muestra cambios significativos en este indicador.

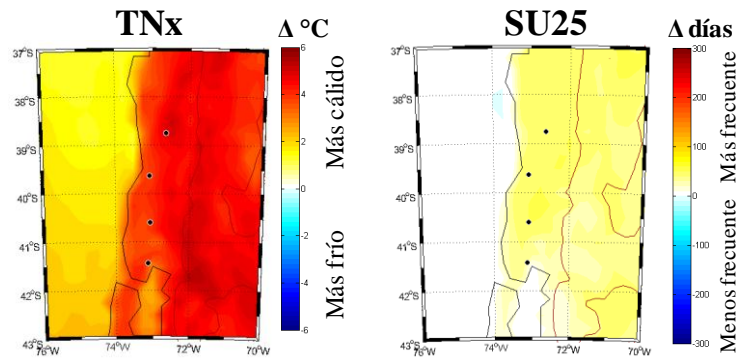


Fig. 65: Distribución espacial de los cambios (diferencias entre futuro – actual) del máximo y mínimo valor de la temperatura mínima anual en °C (TNx y TNn, respectivamente).

Los cambios porcentuales de los indicadores de temperatura anual exhibe cambios espaciales homogéneos en la región sur, es decir no hay grandes contrastes regionales incluso al lado Este de la cordillera de Los Andes, como se observaba en TX por ejemplo (Fig. 66). Tampoco se distingue diferencias significativas entre los cambios porcentuales en las épocas del año, aunque en DEF y JJA son ligeramente mayores (ver anexo 8). Sin embargo, los cambios anuales de las noches cálidas (TN90p) serán más frecuentes en el futuro aumentando en 189%, por el contrario, las noches frías (TN10p) serán menos frecuentes disminuyendo en un 75%, con relación al percentil anual. Asimismo, el incremento futuro de los días cálidos es de un 145% aproximadamente, y los días fríos decrecerán en un 87% (Fig. 66). Estos mayores cambios, en los extremos cálidos se explican por el corrimiento de la distribución hacia la derecha en los meses de verano principalmente.

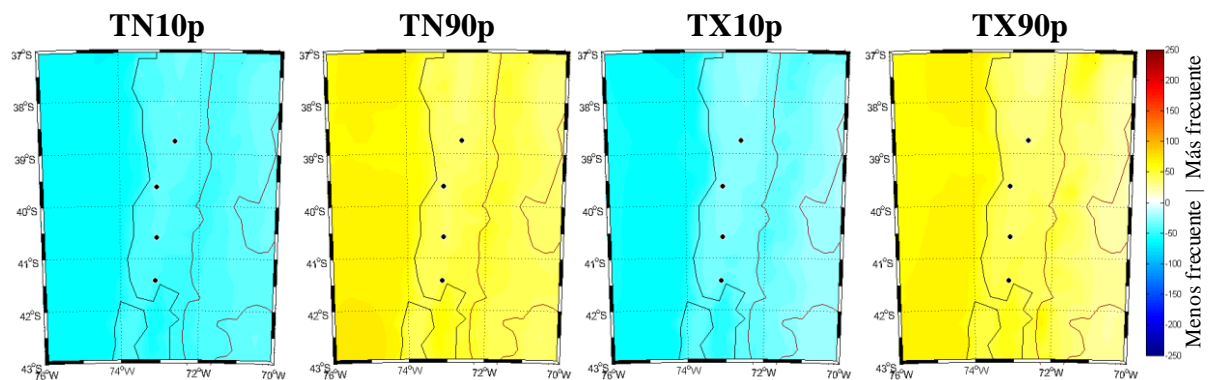


Fig. 66: Cambio porcentual de los indicadores de percentiles anuales de la región sur. a) noches frías, b) noches cálidas, c) días fríos y d) días cálidos.

Con relación a los indicadores de eventos extremos de temperaturas con tendencias significativas en el clima actual pero que se manifiestan localmente, en Valdivia es donde

sucedan los mayores cambios de la región respecto a la temperatura. La tendencia observada en el mínimo valor al año de TX (TXn) es negativa de $-0.88^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ en el periodo 1961-1987 (ver anexo G), a partir de ese año hasta el año 2010 la tendencia es prácticamente nula, pero la proyección futura muestra que TXn revierte su tendencia con un aumento de 2.2°C en el promedio. Por otra parte el número de días con heladas (FD0) presenta un comportamiento similar, durante el periodo 1961-1990 el número de heladas se incrementa a una razón de 5 días por década, sin embargo, la tendencia del todo el largo de la serie es negativa (-0.5 días/dec, aunque no significativa), mientras que la proyección de PRECIS es una disminución de FD0 en aproximadamente 20 días y con una tendencia de -2 días/década (Fig. 67). Lo que se quiere destacar en este último análisis que la variabilidad decadal del clima en esta zona del país es importante de considerar puesto que al parecer no hay diferencias entre la interpolación lineal de las simulaciones y el uso de un modelo dinámico regional, el cual no es capaz de vislumbrar la variabilidad decadal del clima futuro.

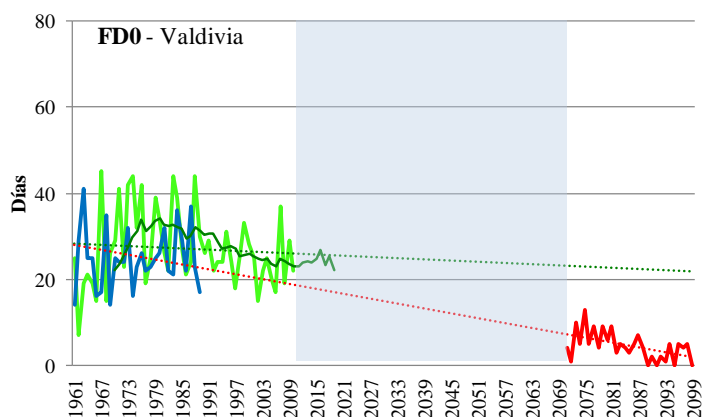


Fig. 67: Series de tiempo observadas (línea verde) en el periodo 1961-2010 del número de días con heladas (FD0) en Valdivia. La línea azul corresponde al clima actual (1961-1990) simulado con PRECIS y la línea roja la simulación futura (2071-2100). Se muestra la tendencia lineal de la simulación (línea segmentada roja) y de las observaciones (línea segmentada verde).

4.2.3.2 Análisis basado en la precipitación:

Los cambios futuros en la precipitación de la región sur del país, proyectan una disminución de un 25% como promedio regional. Las diferencias son menos significativas de Norte a Sur entre el clima futuro y el actual. En Temuco el cambio porcentual de la precipitación es de un 32% y en Puerto Montt disminuye en un 17% aproximadamente (ver anexo I). En relación al ciclo anual, PRECIS prevé que la pérdida de agua caída es más relevante en el periodo de DEF y SON (-42%), mientras que en JJA la disminución es menos significativa (-15%).

La distribución de frecuencias de PrcpTOT futura no muestra cambios significativos, sino más bien en el futuro la disminución de la frecuencia de los eventos de la precipitación es pareja en todo el rango de datos (Fig. 68). La distribución espacial de los cambios porcentuales del PrcpTOT y RND sugiere que el efecto de un cambio bajo un escenario climático extremo es mayor entre los 37° y 40°S , principalmente en invierno primavera (Fig. 69). Al igual que los cambios en los indicadores de temperatura la, el efecto en cordillera no están tan evidente como

en la región central y norte. No obstante, en verano el incremento de la precipitación (por sobre el 100%) al lado argentino en verano se debe únicamente a un defecto estadístico por la poca precipitación en esa época del año (Fig. 69). Por otro lado, el número de días con precipitación (RND) anual será menor en el futuro con un cambio de un 24% similar a la cantidad de precipitación (Fig. 69). Sin embargo, en las estaciones del año el decrecimiento del RND es menor que la disminución de PrcpToT, lo que implica que los eventos serán menos frecuentes y menos intensos.

La aseveración anterior se verifica con los mapas de cambios futuros en la cantidad de precipitación en 1 día y 5 días (Rx1day y Rx5day, respectivamente) y el SDII (índice de intensidad de precipitación en mm/día), que presentan un cambio negativo, disminuyendo su significancia hacia el Sur (Fig. 70). Los cambios más importantes son en la precipitación acumulada en 5 días consecutivos (Rx5day) que disminuye en promedio en un 20%, principalmente en SON (-33%) (Fig. 70). En Puerto Montt, cabe destacar que en invierno que la cantidad de agua se incrementa en un 4% (ver anexo I).

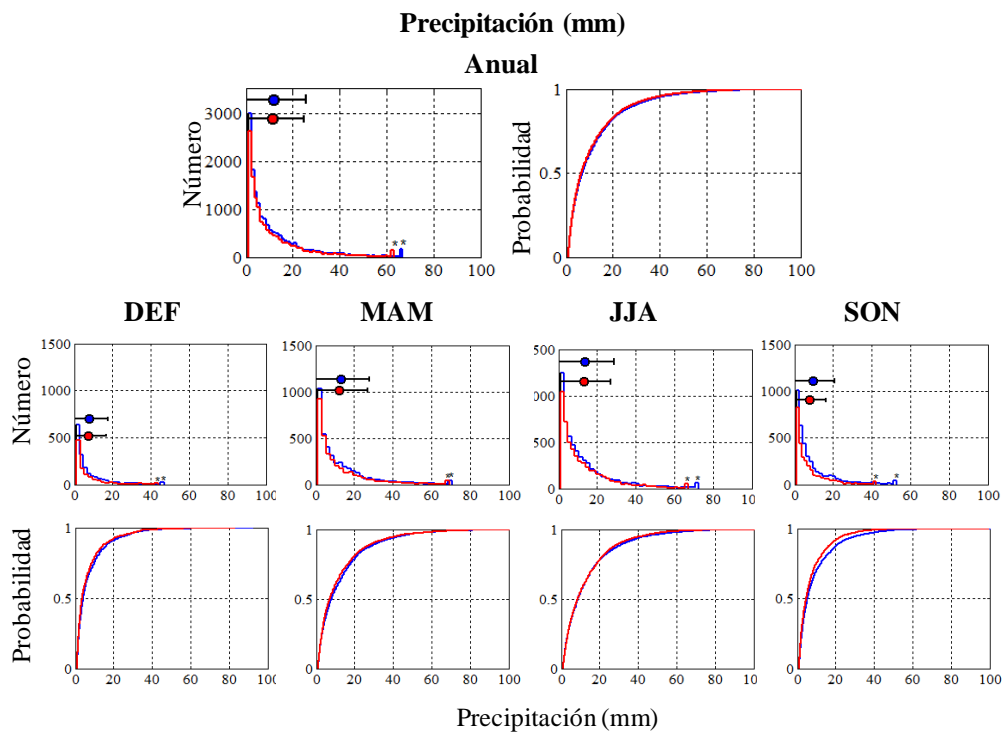


Fig. 68: Igual a la figura 59 pero para la región sur.

Con relación a la frecuencia de eventos de precipitación fuerte, la tendencia general observada es a la disminución de alrededor de 6 días por década principalmente en el rango de precipitación fuerte (R10mm). En el futuro, se observa una disminución del número de eventos de precipitación fuerte (R10mm) en promedio de 24%, los eventos de precipitación muy fuerte (R20mm) decrece en un 27%, y el indicador que presenta la mayor disminución en la frecuencia de eventos extremos de precipitación es la precipitación extremadamente fuerte (R30mm) que cambia en -34% menos de eventos con respecto al clima actual (Fig. 71).

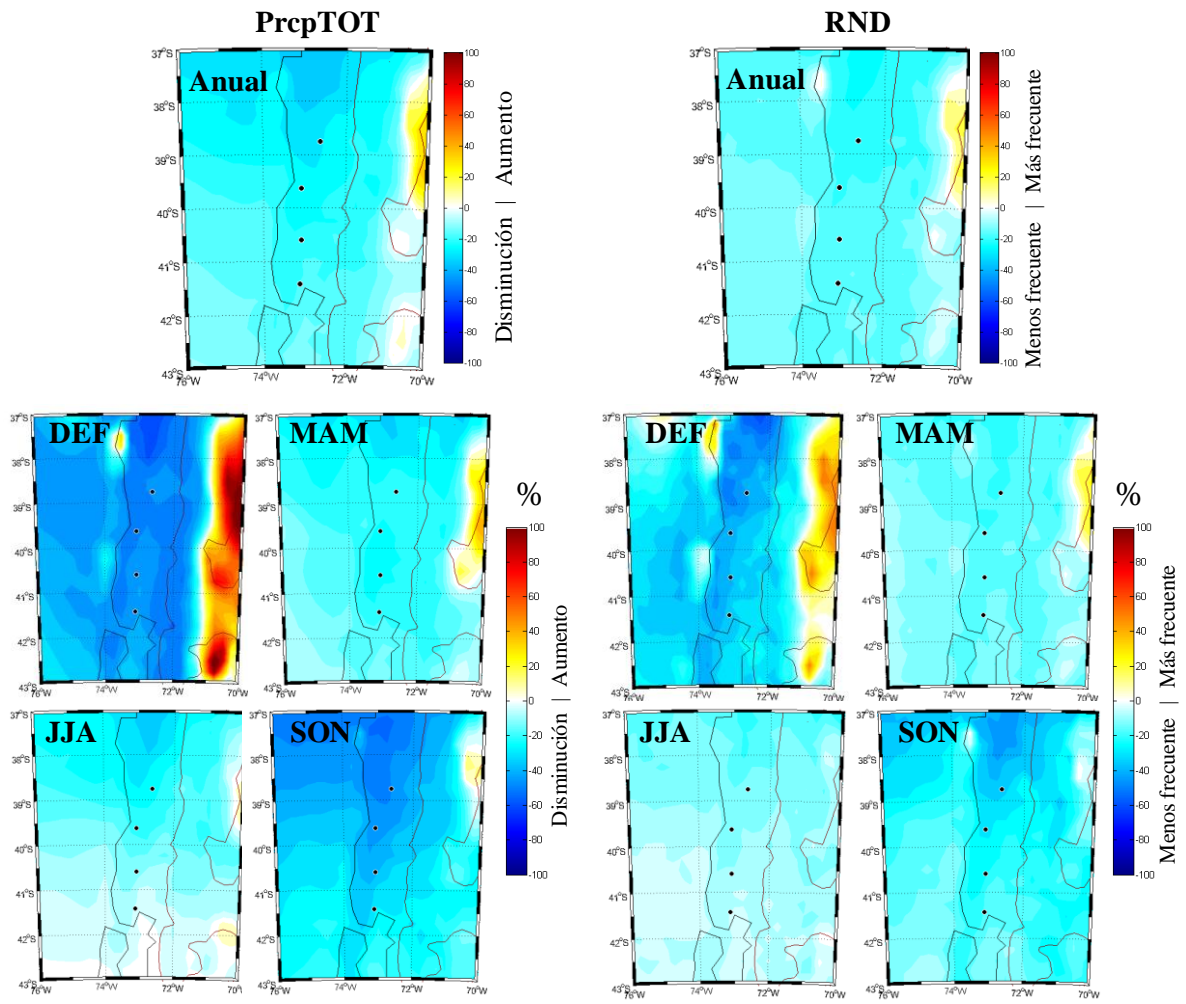


Fig. 69: Igual a la figura 60 pero para la región sur.

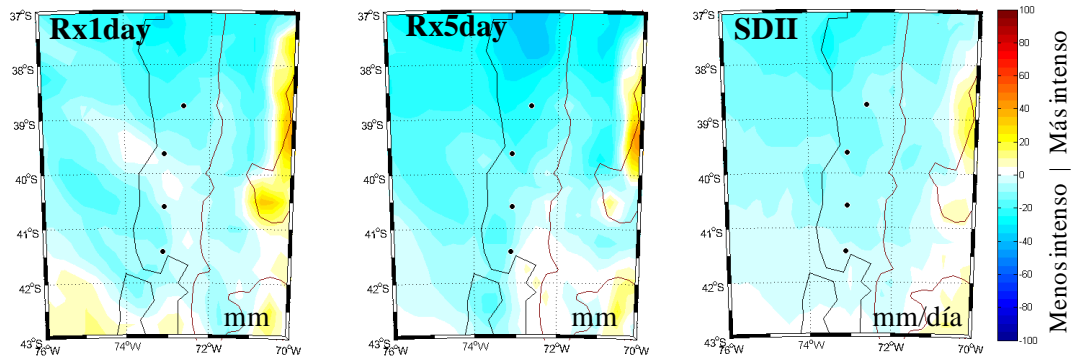


Fig. 70: Distribución espacial de los cambios futuros (Futuro-Actual) de a) Rx1day, b) Rx5day y c) SDII de la región sur.

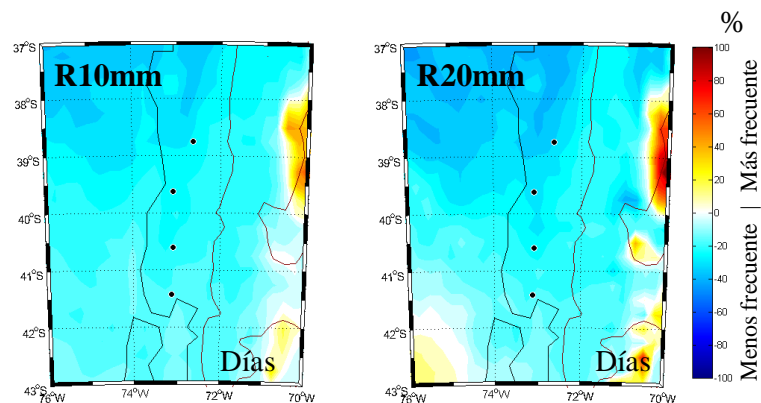


Fig. 71: Distribución espacial de los cambios porcentuales de los indicadores de eventos extremos del número de días al año con precipitación fuerte mayor a 10mm (R10mm), precipitación muy fuerte mayor a 20 mm (R20mm) y precipitación extremadamente fuerte mayor a 30 mm (R30mm) en un día.

En la escala local en Valdivia, respecto a los indicadores de cambio climático asociados a la precipitación que tiene tendencia significativa se presenta el número de días consecutivos secos (CDD). Este indicador en el clima actual presenta una tendencia positiva de 3.1 días/década. En la proyección futura se infiere que el periodo entre el término de la precipitación y el comienzo del primer evento, se incrementa de 36 días a 49 días, lo que equivale a un 25% de cambio en el futuro. Este indicador es de suma importancia para el sector ganadero debido a que si se extiende el periodo seco se resienten las praderas y por lo tanto el impacto indirecto sobre la lechería y la ganadería, común en esta zona del país.

4.2.4 Análisis de los cambios futuros de ICE en la región austral.

4.2.4.1 **Análisis basado en la temperatura:**

Las distribuciones anuales de temperatura máxima futuro y actual, tienen una forma normal con asimetría positiva, el único cambio más significativo en el futuro es el corrimiento hacia un clima más cálido en el futuro (Fig. 72). Se distingue del clima actual una diferencia regional de $+2.1^{\circ}\text{C}$ y la estación que más contribuye a este cambio es verano con $+2.7^{\circ}\text{C}$. Esta misma estación del año, mediante el test K-S, las series diferenciadas siguen siendo diferentemente significativas, por lo tanto, el cambio en la varianza es también relevante (Fig. 72). A diferencia de las otras regiones, las distribuciones y los cambios futuros no son homogéneos en cuanto a las estaciones individuales, por ejemplo en Coyhaique existe una diferencia no significativa de 0.4°C en TX para el clima futuro, incluso en SON la diferencia es negativa, luego las máximas serán más frías en 0.4°C . Por el contrario, en Balmaceda distante a sólo 120 km de Coyhaique, los cambios futuros van desde $+2.9^{\circ}\text{C}$ en invierno y $+5.3^{\circ}\text{C}$ en verano (ver anexo I). Cabe destacar, que en Balmaceda la distribución de TX del clima actual simulado con PRECIS presenta un máximo en la frecuencia de 1000 días en torno a 0°C , que se escapa absolutamente de la coherencia de la distribución (en promedio de 250 días), más aun el error se extiende durante el clima futuro pero en menor medida.

Los cambios en las distribuciones futuras de la temperatura mínima son más homogéneos que TX tanto en las estaciones individuales como para la cobertura espacial de los cambios futuros (Fig. 73 y Fig. 74). La forma de la distribución no cambia ni anual ni estacionalmente. Los cambios futuros son en promedio entre +2.6 y +2°C (Balmaceda y Coyhaique, respectivamente). Durante el invierno es cuando la TN serán más cálidas que en el clima actual (-2.6°C, ver anexo D).

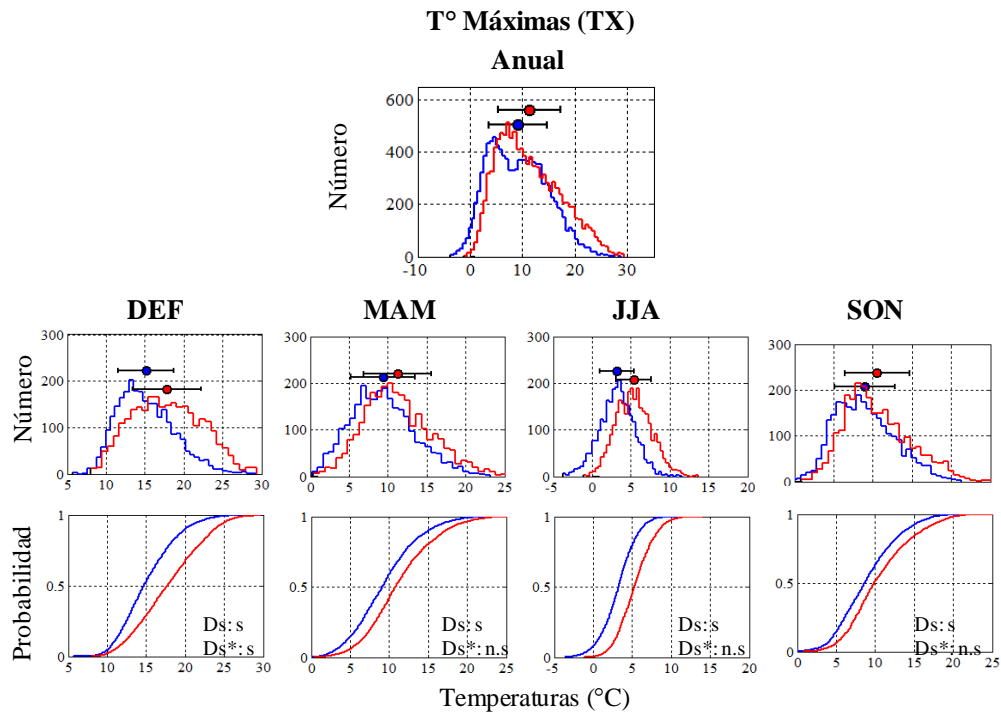


Fig. 72: Distribución de frecuencia absoluta (arriba) y distribución empírica acumulada (abajo), anual y estacional para el clima actual (línea azul) y el clima futuro (línea roja) de la temperatura máxima (TX) para la región austral.

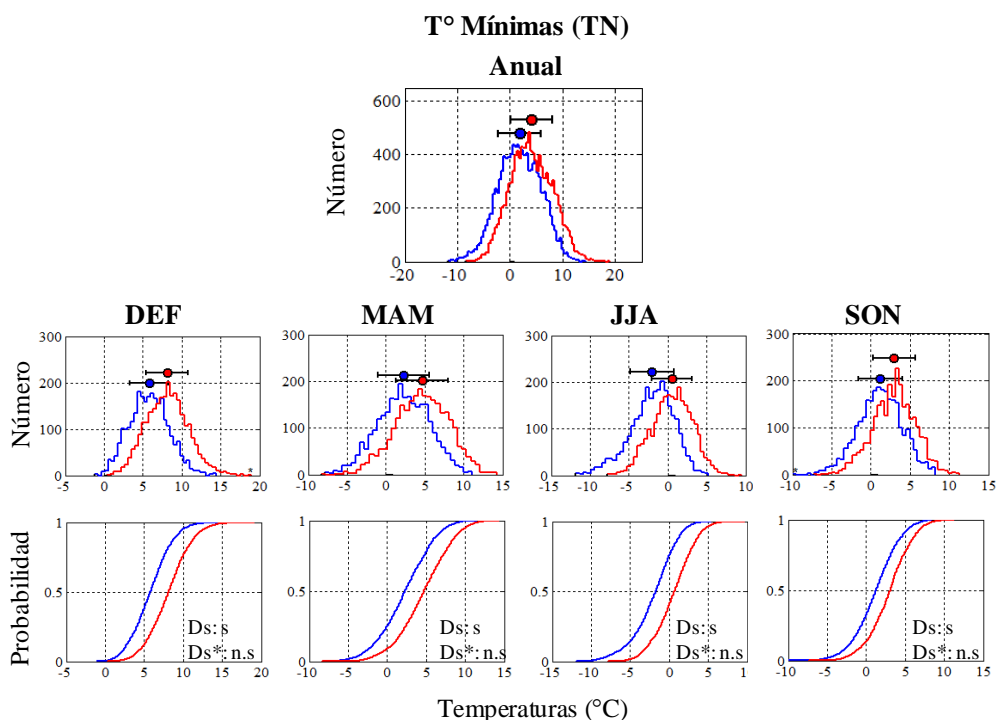


Fig. 73: Igual que la figura 72 pero para la temperatura mínima de la región austral.

Los cambios espaciales de la región austral son moderados comparados con otras regiones del país, sin embargo, son significativos desde el punto de vista del impacto en los campos de hielo y su permanencia en el tiempo. Se observa que el área con temperatura bajo 0°C comprendida entre los 45°S y los 52°S, es reducida en un 50% durante el futuro proyectado para el periodo 2071-2100 en la temperatura mínima y en un 20% en la temperatura máxima (Fig. 74). Lo mayores cambios se observan sobre los 1000 metros y en la parte norte de la región y principalmente en TX que podrían alcanzar los 3°C de diferencia.

Este incremento más significativo de la TX que la TN, produce un el crecimiento del rango diurno de temperatura (DTR) que se observa en Balmaceda donde se evidenciaba una tendencia de 0.23°C/década, el cambio futuro será de 1.1°C el aumento del DTR, luego aumentaría de 7.2°C a 8.3°C en el futuro proyectado.

En la región austral las tendencias de los indicadores de percentiles no son significativas, pero se enfatiza en Balmaceda la tendencia negativa de -1.4% días/dec observada de los días fríos (TX10p), lo que en el futuro la disminución con relación al clima actual será de un 16%, aproximadamente. Verano e invierno lideran los cambios futuros respecto a la menor frecuencia de TX10p y un incremento considerable en la frecuencia de días cálidos >100% (TX90p) (Fig.75). Con relación a los indicadores de percentiles de la temperatura mínima las noches frías son menos frecuentes en el futuro en un orden similar a los días fríos (Fig.75), en cambio las noches cálidas serán más frecuentes pero en un porcentaje muy inferior a lo que sucede en el resto del país el incremento no supera el 50% (Fig. 75), incluso en la zona comprendida entre los 46°S y los 51°S las diferencias entre el clima actual y el futuro son menores al 10% de cambio. La única estación que presenta cambios significativos en las noches frías y cálidas es en Punta Arenas. Las noches frías en el futuro decrecen en aproximadamente un 200% debido a la fuerte

diferencia positiva del límite del percentil 10% en el clima actual y futuro (Δ : 2.5°C). Por el contrario, las noches cálidas en Punta Arenas serán más frecuentes en el futuro en un 30% (ver anexo H).

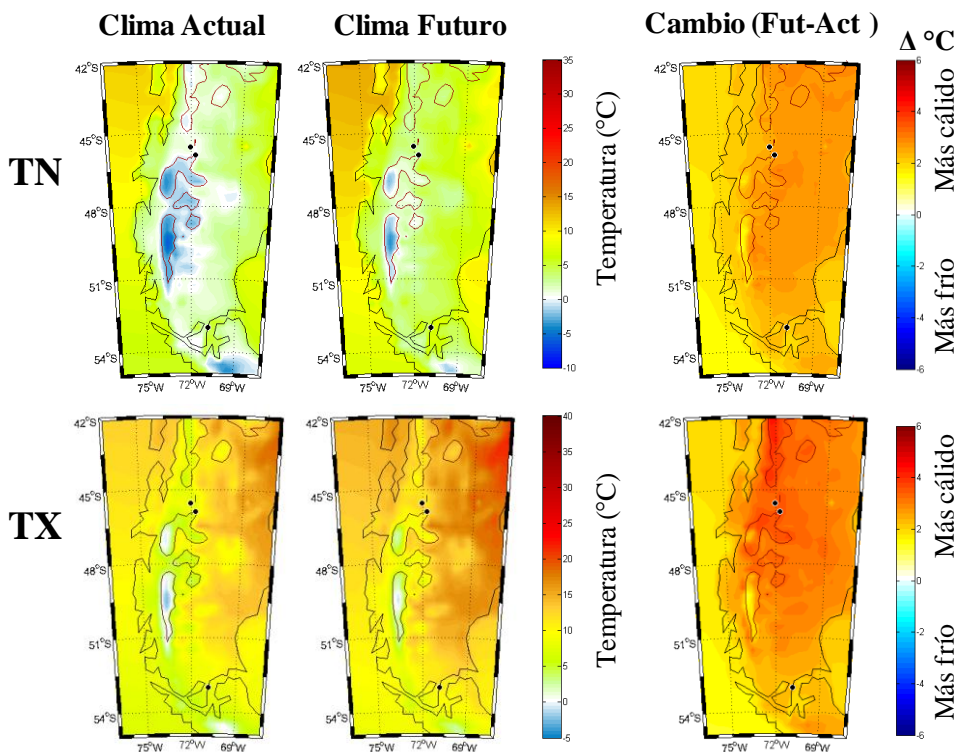


Fig. 74: Distribución espacial simulada con PRECIS de temperatura mínima y máxima para el a) clima actual (1961-1990), b) clima futuro (2071-2100) y c) cambio futuro (diferencia del futuro-actual, en °C).

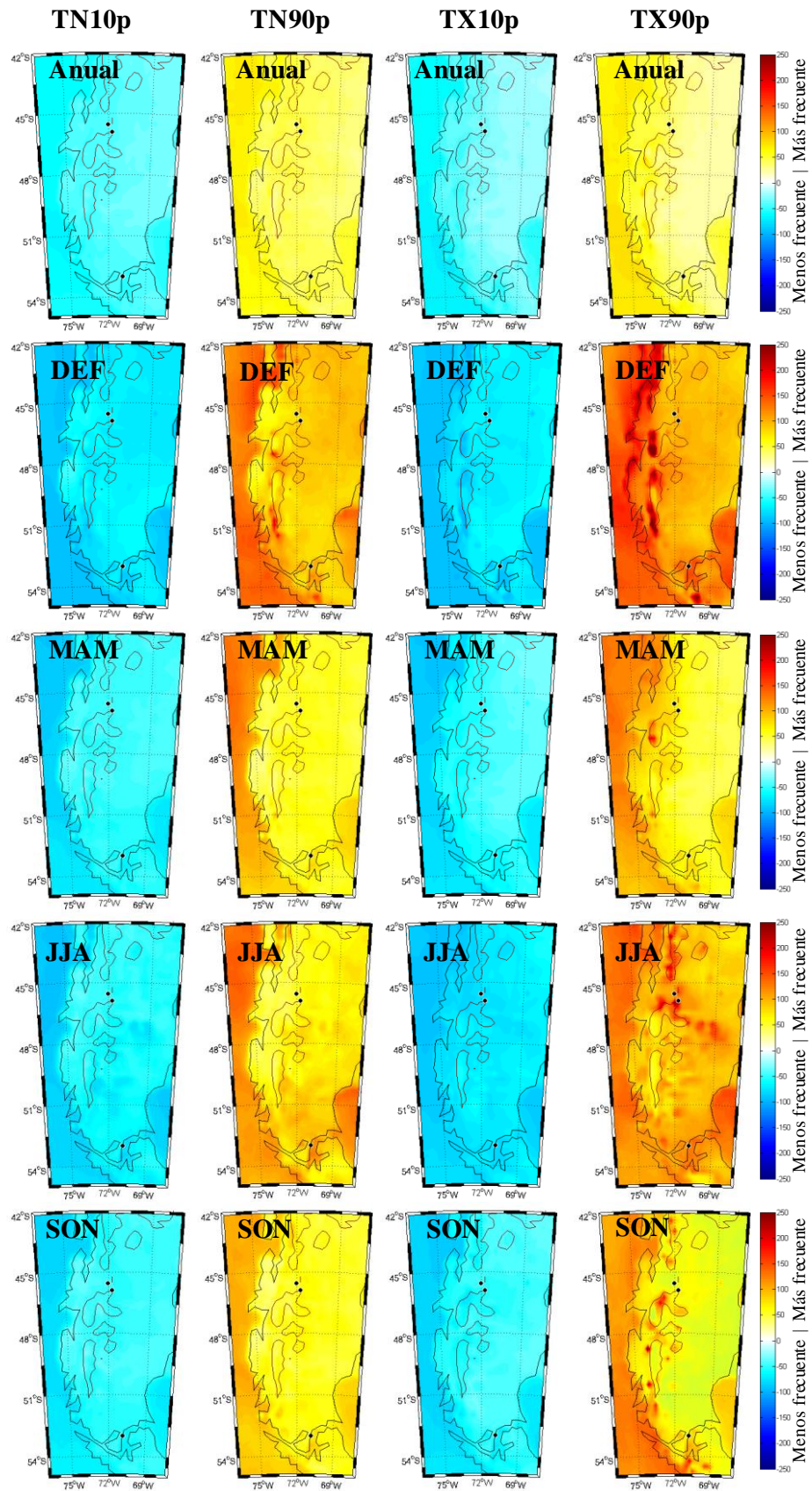


Fig. 75: Igual a la figura 52 pero para la región austral.

4.2.4.2 Análisis basado en la precipitación:

Las tendencias de los indicadores de cambio climático asociados a la precipitación son mayormente más significativas que los indicadores de temperatura observados en esta región de estudio. Sin embargo, la proyección futura en la cantidad de precipitación total en el año (PrcpTOT) no es homogénea con relación a las estaciones individuales. En Balmaceda por ejemplo, se prevé una disminución en PrcpTOT de un 17%, mientras que en Punta Arenas el indicador en el futuro se mantiene casi constante, incluso con un aumento de 2% (no significativo). En Coyhaique producto de la verificación respecto al modelo PRECIS, no es posible emitir juicio respecto a la variable de precipitación. Así y todo, se observa que la distribución de frecuencias de la precipitación en el futuro se mantiene aunque se puede observar que los eventos de precipitación más pequeños entre 1-2 mm serán más frecuentes en el futuro, en el cual invierno y primavera contribuyen con ello. También se observa una señal de que los eventos extremos de precipitación por sobre los 40mm (en invierno) y los 30 mm (en primavera) surjan en el clima futuro (Fig. 76).

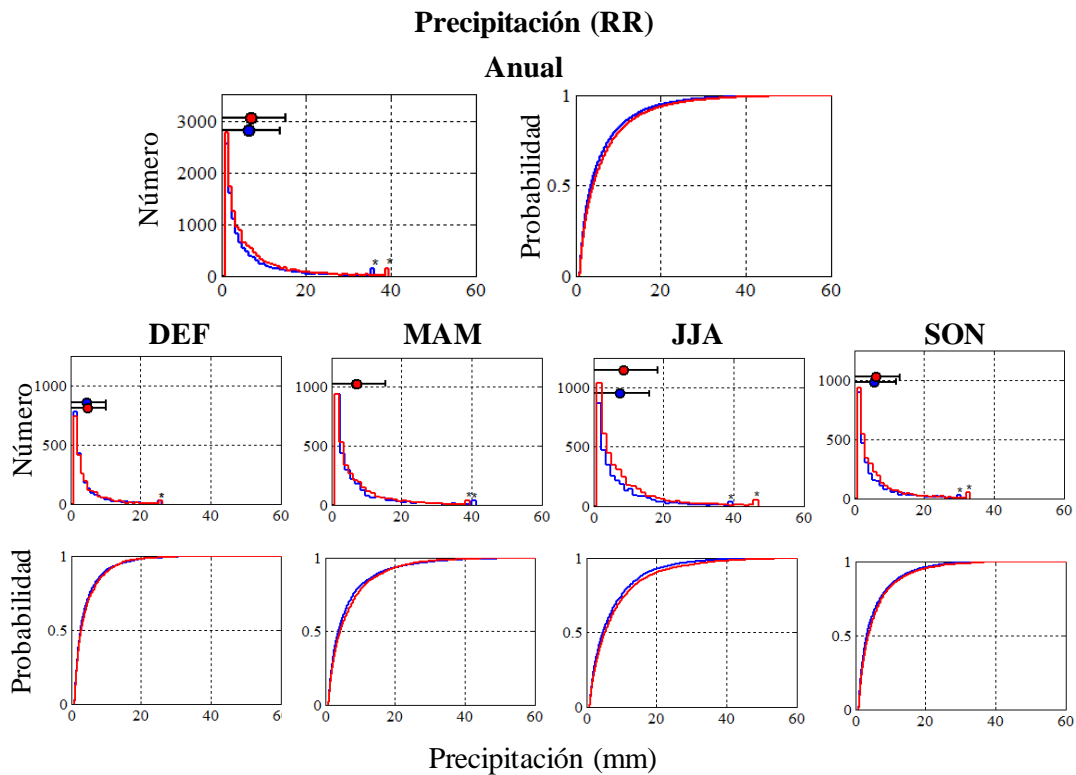


Fig. 76: Igual a la figura 59 pero para la región austral.

La figura 77 expone de mejor manera los cambios regionales simulados para el futuro. La precipitación anual domina la disminución de alrededor de un 15% en la zona continental y especialmente en el sector patagónico y con un gran aporte de la pérdida de precipitación en DEF. Pero se vislumbra ligeramente los cambios positivos que surgen en la zona más austral entre los 51°S y los 54°S al lado Oeste del continente (Fig.77), en este caso durante JJA se observa el aumento de la precipitación más extremo y que se extiende hasta los 46°S.

Estos cambios no vienen necesariamente acompañados a los cambios futuros del número de días con lluvia (RND) (Fig. 77). Si bien la zona donde domina la disminución de PrcpTOT también es cierta la disminución de RND en un porcentaje similar, en el área donde la precipitación aumenta en el futuro, el aumento de RND no es tan claro según los mapas proyectados (Fig 78). Esto último implicaría un aumento de la intensidad de la precipitación. En las figuras (Fig. 78 a b y c) donde se despliegan los cambios de los indicadores asociados a la intensidad de la precipitación, se infiere que los cambios en la intensidad son poco claros y escasamente significativos, con un mapa espacial bastante disperso con zonas de cambio positivas y negativas, probablemente debido a que los mapas son anuales y los principales cambios se exhibían en invierno. Así, tomando los indicadores Rx1day, Rx5day y SDII para Punta Arenas se puede mencionar que estos indicadores sí muestran cambios positivos principalmente en Rx1day aunque no son estadísticamente significativos.

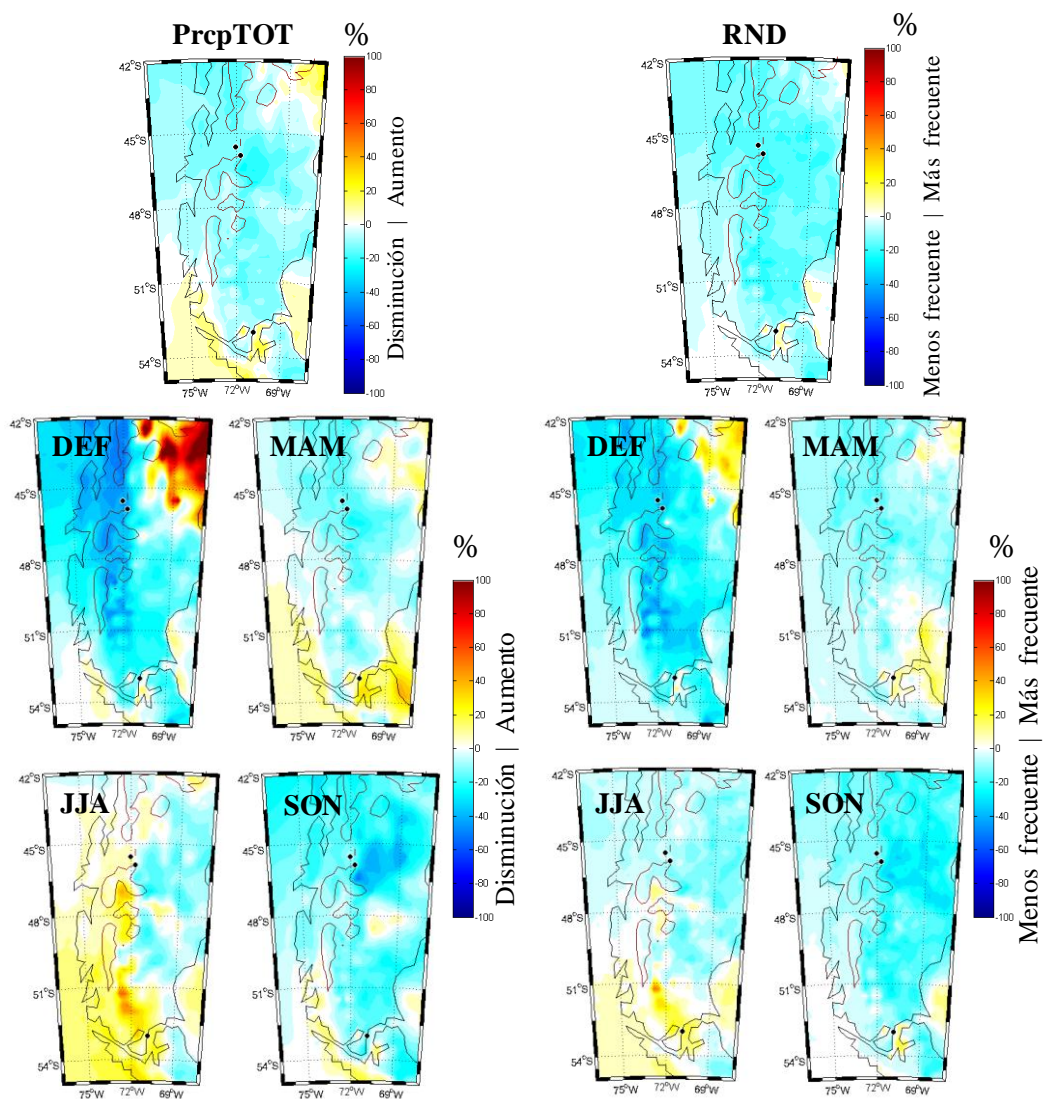


Fig. 77: Distribución espacial de los cambios porcentuales anual y estacional de la cantidad de precipitación total (PrcTOT) y el número de días con precipitación mayor a 1 mm (RND).

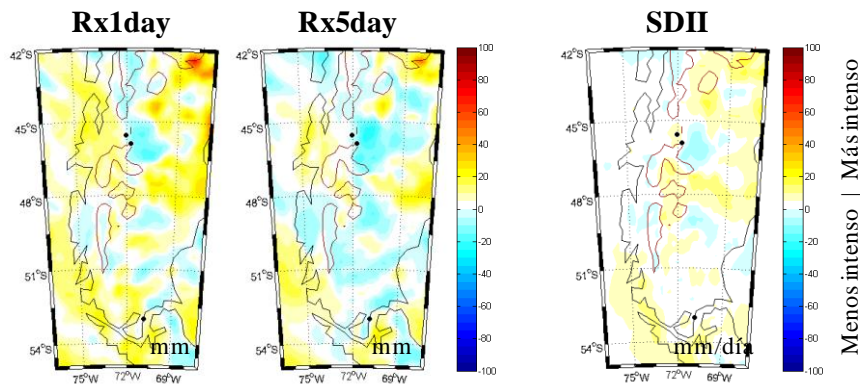


Fig. 78: Distribución espacial de los cambios futuros (Futuro-Actual) de a) Rx1day, b) Rx5day y c) SDII de la región austral.

En relación a la frecuencia de los eventos más extremos de precipitación, la simulación del clima futuro indica que en Balmaceda los eventos fuertes de precipitación sufrirán un cambio negativo de 18%, la precipitación muy fuerte (R20mm) tendrá un porcentaje de cambio de un 12% y los eventos extremos de precipitación serán menos frecuentes en un 7%. La distribución espacial de los indicadores de eventos extremos de precipitación muestra la zona de disminución similar a los que manifiesta la precipitación total anual, y a partir de los 51°S al sur los cambios futuros muestran que los eventos serán más frecuentes (Fig. 79). Cabe destacar que los núcleos de cambios positivos que se observan preferentemente en el mapa de R30mm al lado este, son producto de la interpretación estadística del porcentaje de cambio.

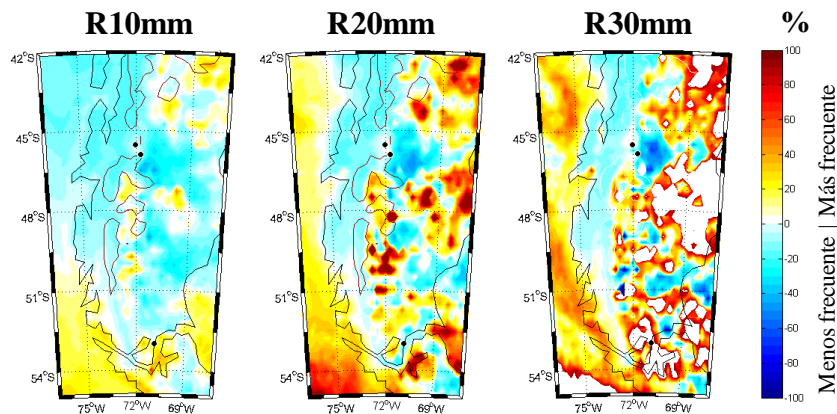


Fig. 79: Distribución espacial de los cambios porcentuales del número de días al año con precipitación fuerte, mayor a 10 mm (R10mm); precipitación muy fuerte, mayor a 20 mm (R20mm) y precipitación extremadamente fuerte, mayor a 30 mm (R30mm).

Capítulo V

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El principal objetivo de este estudio fue hacer una evaluación de indicadores climáticos extremos de precipitación y temperatura (ICE). La información utilizada consistió de observaciones diarias de temperaturas extremas y precipitación, en 17 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de Chile y la utilización del modelo climático PRECIS en simulaciones del clima actual (1961-1990) y proyecciones futuras de los ICE para fines del siglo XXI (2071-2100).

La importancia del presente trabajo radica en la obtención de un diagnóstico de los ICE en el clima actual en Chile, conocer cuales están cambiando más significativamente, para luego proyectarlos a futuro y así obtener una perspectiva de los ICE para fines de siglo. Con esta información se podrá evaluar posibles impactos en los diferentes medios ambientales y socioeconómicos del país.

Varios estudios han realizado un análisis de tendencias de valores medios de temperatura y precipitación en el país y una parte de ellos han estudiado las tendencias y cambios en los eventos extremos. Sin embargo, no se ha estudiado los cambios en las distribuciones de frecuencia de las variables y pocos han simulado y proyectado estos indicadores para el clima futuro bajo un escenario de cambio climático a lo largo del país. Por lo tanto, los esfuerzos del presente trabajo se enfocan en hacer un análisis más integral con un enfoque estadístico de los eventos extremos en Chile.

A continuación se presentan los principales resultados del análisis para los distintos objetivos planteados en este estudio.

5.1. Creación de la base de datos.

Este trabajo requirió construir una base de datos de temperaturas extremas y precipitación con un exhaustivo control de calidad mediante la utilización de diversas técnicas estadísticas y programas recomendados por ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*). Se construyó una metadata de las estaciones chilenas utilizadas en este estudio, que sirvió de base para ejecutar la aplicación de un test de homogenización. Se logró demostrar que las series presentan diferencias significativas cuando la estación se somete a un cambio externo no natural, y por lo tanto, influye en el análisis de tendencias para evaluar cambio climático.

5.2 Verificación del modelo regional climático PRECIS.

En primera instancia, se evaluó el comportamiento del modelo PRECIS en la caracterización del ciclo anual, lo cual dio resultados positivos en relación a las temperaturas extremas en todo el país. Las diferencias entre las observaciones y las series simuladas con

PRECIS, se originan principalmente en la sobrestimación y subestimación de los valores mensuales. En la región norte (entre 18°S y 27°S) el modelo subestima la temperatura máxima (TX) y mínima (TN) en 1.2°C y 1.4°C, respectivamente, obteniendo los mayores errores entre agosto y febrero. En la región central (entre 28°S y 36°S) en general el modelo sobrestima las temperaturas extremas principalmente en verano (2.2°C y 1.2°C para TX y TN, respectivamente). En cambio en la región sur (entre 37°S y 42°S), el modelo captura adecuadamente el ciclo anual de TX, con una diferencia de 1 decima de grado, en cambio en la TN es sobrestimada en 2°C. Finalmente la región austral (entre 43°S y 53°S) el modelo subestima la temperatura (2.2°C TX y -1.3°C la TN).

Estas diferencias entre las series observadas y simuladas de temperatura se trasladan a la distribución de frecuencias que en general presentan sólo un corrimiento de la función de distribución de acuerdo con la diferencia de medias. Prácticamente todas las series de temperatura estudiadas presentan cambios en la media y no en la varianza. Sin embargo, PRECIS simula mejor la porción fría de la distribución y sobrestima la porción cálida, a excepción de la zona norte. Esto contribuye a que los indicadores asociados al extremo derecho de la distribución no quedan bien representados. Por otra parte, el periodo estival es el que presenta la mayor dificultad para simular las características de la distribución, principalmente en la temperatura máxima. Los errores se duplican en zonas de altura sobre 600 a 1000 m y crecen a medida que la altura aumenta. Los errores a una altura sobre 4000 m pueden alcanzar una sobrestimación de hasta 12°C en TX.

En relación a la precipitación y sus indicadores asociados, PRECIS logra reproducir el ciclo anual a partir de los 30°S al Sur. En la región norte PRECIS simula rangos pequeños de precipitación, pero durante todos los días del año. En la región austral alrededor de los 43°S (Coyhaique) la sobrestimación es mayor a 400% en la cantidad de precipitación anual. Sin embargo, la distribución de frecuencias absoluta y acumulada empírica muestra una buena correspondencia con lo observado, a pesar de la sobrestimación entre 1 y 5 mm. Al igual de lo que ocurre con la temperatura PRECIS tiene dificultades en simular la precipitación en zonas con altura. Los errores disminuyen a partir de los 40°S donde la altura de la cordillera de los Andes es menor.

Con relación a las tendencias de los indicadores de cambio climático, PRECIS logra reproducir el signo de la tendencia del clima actual (1961-1990) en más de un 85% de las estaciones con respecto a los indicadores asociados a la TN, como las noches frías (cálidas) TN10p (TN90p), y la temperatura más fría del año (TNn). En el caso de la temperatura mínima más alta del año (TNx) un 41% de las estaciones PRECIS es capaz de identificar el signo de la tendencia. En los indicadores de la TX, el porcentaje de acierto es muy por debajo que los ICE de TN, en promedio el 70% de las estaciones refleja la tendencia real observada (ellos son: TX, TX10p, TX90p y TXn). La tendencia de la temperatura más alta del año (TXx) no es bien simulada con PRECIS y tan sólo un 29% de estaciones en general en la región norte, el signo de la pendiente es correctamente simulado. La amplitud térmica diaria (DTR), se logra capturar el signo de la tendencia en un 41% de las estaciones. En cuanto a la tendencia de los indicadores asociados a la precipitación, tales como RX1, Rx5, RND y PrcpTOT, el porcentaje promedio es de un 70% de las estaciones bien simuladas, mientras que los indicadores restantes no tienen una buena representación de la tendencia en el clima actual. Cabe destacar que la mayor parte de los errores de signo corresponden a la región central y sur.

5.3 Diagnóstico de las tendencias de los ICE en el clima actual.

La temperatura mínima TN muestra tendencias significativas en el periodo 1961-1990 entre 18° y 40°S, del orden de 0.5°C y 0.75°C por década, los extremos anuales como TNx y TNn también tienen tendencias positivas, pero menos significativas. Las noches cálidas (TN90p) se incrementan en el 100% de las estaciones y en consecuencia las noches frías disminuyen a una razón similar que las noches cálidas de 6-8% de días por década. El número de días con heladas decrece entre 4 a 6 días por década en la región central del país. Se destaca una zona del país donde las tendencias aunque no significativas presentan valores contrarios al patrón general. Este corredor climático como se denominó en un estudio previo (Rosenbluth y otros, 1997) ubicado entre Temuco y Osorno presenta tendencias negativas en TN, e incremento del número de días con heladas (FD0) y de noches frías (TN10p). Sin embargo, en un análisis de tendencias que abarca un periodo más extenso 1961-2010, la tendencia general sigue el patrón del país y global.

Por otra parte, la variabilidad interanual y decadal juegan un rol importante en la definición de los cambios en las tendencias de los ICE en el clima actual y su proyección futura. Desde este punto de vista, y para clarificar el problema se realiza un análisis respecto a las series de tiempo patrón de la zona norte de las temperaturas mínimas y sus extremos (TN, TNx y TNn). En la figura 80, la serie de temperatura observada del clima actual extendido al año 2010 (línea verde) muestra la tendencia positiva en los tres indicadores (TN, TNx, y TNn). Por su parte la simulación PRECIS en el periodo 1961-1990 (línea azul) es capaz de reproducir el signo de la tendencia observada en este periodo, pero a partir de comienzos de los años 80, la tendencia observada y sus extremos muestran un estancamiento de crecimiento y más aún se observa una ligera tendencia negativa en las últimas décadas (Fig.80). Por lo tanto, la perspectiva futura (línea roja) se torna incierta y no se puede inferir acerca de la tendencia de la TN y sus extremos en periodos intermedios futuros tan sólo con interpretación lineal debido a la fuerte interferencia natural del clima.

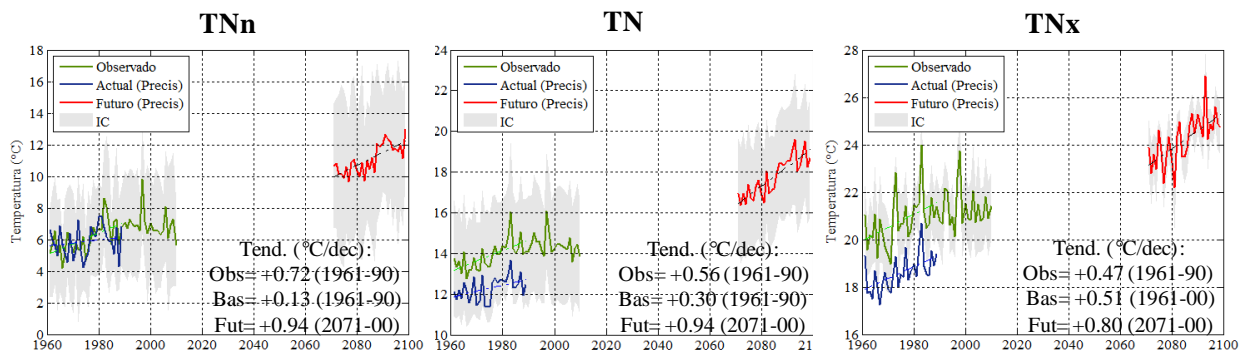


Fig. 80: Series de tiempo observada 1961-2010 (línea verde), simulada clima actual con PRECIS (1961-1990) y simulación futura escenario A2 con PRECIS 2071-2100 (línea roja). IC, corresponde al intervalo de confianza del modelo PRECIS.

5.4. Proyecciones de los ICE para fines del siglo XXI.

La simulación PRECIS bajo el escenario SRES A2 proyecta para fines del siglo XXI una mayor frecuencia de eventos cálidos y una menor frecuencia de eventos fríos sobre Chile. En este ambiente más cálido también existen cambios asociados con la precipitación que en general se estima que será menos frecuente y menos intensa.

La distribución de temperatura máxima y mínima en el futuro se proyecta sin cambios respecto a su varianza. Pero, con respecto a la media, la característica más notable para fines de siglo XXI es un corrimiento hacia la derecha en las distribuciones de frecuencia empírica anual y estacional, a lo largo de Chile (a excepción de Valparaíso y Coyhaique en la TX).

Los cambios futuros más significativos de los indicadores de eventos extremos seleccionados para el escenario más severo de cambio climático en el periodo 2071-2100 son:

- En la región norte, se proyecta un aumento de la temperatura máxima (TX) anual en $+3.2^{\circ}\text{C}$ y para la temperatura mínima (TN) es de $+3.9^{\circ}\text{C}$. El mayor aumento de TN que de TX significa un decrecimiento de la amplitud térmica (DTR) con una diferencia de -0.7°C con relación al clima actual. Los principales cambios se observan en Arica, durante JJA y SON. También es considerable el aumento de los extremos de la TN, como la temperatura más baja del año TNn y la temperatura mínima más alta del año TNx , que aumentan en promedio en 5°C y 3.5°C , respectivamente. Las noches cálidas (TN90p) en el futuro serán un 120% más que en el clima actual, mientras que las noches frías (TN10p) disminuyen en un 100%. Los días cálidos (TX90p) se incrementarán en un 50% y los días fríos (TX10p) decrecerán en el mismo orden de magnitud. Durante el periodo estival las TN90p incrementarán hasta en un 200%. Otro indicador local significativo son las noches tropicales (TR20) que aumenta de 20 días (según la simulación PRECIS) a 77 días en Arica. Los días de verano (SU25) se incrementarán en Arica e Iquique por sobre el 500%. Entre los 20°S y 25°S hacia la costa es donde se presentan los mayores cambios regionales.
- En la región central, la temperatura máxima (TX) aumenta en promedio alrededor de 1.8°C y la temperatura mínima (TN) aumenta su valor medio en 3.1°C . En el periodo SON representa los cambios más notables. Por otro lado Valparaíso es la única estación en que se proyecta una disminución de las temperaturas principalmente en el periodo estival (DEF) de hasta 8.7°C . En la TN se estiman cambios espaciales homogéneos, aunque éstos se concentran preferentemente entre 29°S y 33°S , hacia la cordillera. Aumentos de la temperatura implica impactos importantes en la agricultura de la región, por ejemplo, un invierno más cálido, implica que se adelanta el proceso reproductivo y como consecuencia indirecta se obtiene una calidad inferior de los productos. Algunos cultivos requieren del proceso de vernalización, que en definitiva podría reducirse este periodo (José Curihuinca, comunicación personal).

Bajo esta zona, entre los 33°S y 38°S , se destaca que la TX aumenta en una mayor diferencia que la TN, al contrario de lo que sucede en la región norte, y por consiguiente se proyecta un cambio positivo de la amplitud térmica diaria DTR ($+1^{\circ}\text{C}/\text{dec}$). Es interesante analizar porque este aumento se observa en el clima actual y proyecta en el

futuro principalmente en ciudades urbanas, por ejemplo, Santiago, Curicó, Chillán y Concepción, probablemente el efecto urbano no sólo está relacionado con el incremento de la TN sino también influya una modificación en la circulación de los flujos de viento promoviendo este cambio en la TX. Otros de los impactos que podría ocasionar el aumento de TX, sería el incremento de la tasa de evapotranspiración e indirectamente, un mayor consumo de agua. Asimismo, se estima un incremento de 40 días más al año con TX >25°C (SU25) y el indicador más extremo SU32 se incrementará en 67 días, específicamente en Santiago. En esta misma localidad, la proyección futura indica un aumento en la extensión de las ondas de calor WSDI en 1 día, producto del incremento de los días de verano (SU25°C y SU32°C). Las noches cálidas (TN90p) aumentarían entre 100% y 300% y las noches frías se reducirían entre 30% y 100%. Al igual que en la región norte, el mayor contraste entre el clima actual y el futuro es en el período estival (DEF). El aumento de la frecuencia de eventos más cálidos en la región central es un tema de suma importancia para futuras investigaciones, principalmente en el área de salud y bienestar humano.

Se proyecta una reducción de FD0 (número de días con heladas) de 9 días al año como promedio en la región central, mientras que las heladas más intensas FD-2 desaparecen casi por completo en el clima futuro proyectado con PRECIS, principalmente en la VII región de país. Una menor frecuencia de eventos de heladas principalmente en época de primavera dejarán de ser perjudiciales, ya que se exponen a un menor impacto en el proceso reproductivo de algunos cultivos de la región (José Curihuinca, comunicación personal).

Se estima una disminución de la cantidad de precipitación de 32% y reducción de la precipitación extremadamente fuerte (R30mm) en un 30% (cola derecha de la distribución). También disminuirá del número de días con precipitación sobre 1 mm (RND) en un 19%. Con esto, la intensidad de la precipitación disminuirá en promedio entre un 20%- 30% (SDII), mientras que el máximo de precipitación en 5 días (Rx5day) lo hará en un 20%-60%. Los cambios más notables ocurren en consecuencia con la estructura espacial del desplazamiento de los sistemas frontales. Esto último podría sugerir que la disminución de la precipitación al lado Oeste de la Cordillera se puede deber a un efecto de gran escala (o escala sinóptica) producto de la reducción o desplazamiento hacia el Sur de los sistemas ciclónicos. Por otro lado, el aumento de precipitación observado en el clima actual y estimado en el futuro en el sector Argentino en DEF y MAM, puede estar vinculado al fuerte incremento de la temperatura, donde la convección jugaría un rol importante en el incremento de los eventos extremos. Por otro lado, en invierno (JJA) y primavera (SON) el efecto de los Oestes domina en el sector argentino sosteniendo también una pérdida de la precipitación homogénea en toda la región.

- En la región sur se proyectan para el periodo 2071-2100. Aumento de hasta 3°C en TX y 2.4°C en TN como promedio regional anual. En DEF ocurren los mayores cambios de hasta 4.1°C en TX y 3.1° en TN. Las distribuciones tienen un importante comportamiento asimétrico positivo que se mantiene en el futuro ocasionando mayores cambios en los extremos cálidos de la distribución. Indicadores significativos como el TNx aumenta en el futuro alrededor de 3.8°C y los SU25 serán más frecuentes en un 130% en el norte de la región (alrededores de Temuco). También se proyecta la aparición de noches tropicales

(TR20) de al menos 2 eventos por año. Los indicadores de percentiles son menos significativos que en el resto del país, pero de igual forma las noches cálidas (TN90p) y días cálidos (TX90p) se incrementarán en un 50% mientras que las noches frías (TN10p) y días fríos (TX10p) decrecerán en aproximadamente un 30%. No se observa una diferencia con relación a las tendencias positivas de algunos indicadores como la frecuencia de heladas (FD0) o la temperatura más baja del año (TNn) (que tienen una tendencia a aumentar en el clima actual), sino más bien toda la región presenta tendencias negativas del número de días con heladas (FD0) las que serán menos frecuentes en 2 días al año en el futuro.

Con respecto a la precipitación la simulación futura muestra una disminución de un 25% en la cantidad total de agua caída. Alrededor de la latitud de 41°S (Puerto Montt) disminuye un 17%. La distribución empírica no muestra cambios significativos, siendo más bien pareja en todo el espectro de datos. El RND disminuye en un 24%. Los eventos serán menos intensos con un 20% y la frecuencia de los eventos de precipitación fuerte (R20mm) disminuye en el orden de un 27% a 24%.

- En la región austral la diferencia regional de la temperatura máxima (TX) con relación al clima futuro será de +2.1°C y la temperatura mínima de +2.3°C. La TX presenta cambios poco homogéneos (o más locales) con relación al campo espacial. En Coyhaique por ejemplo, no se observan cambios significativos en el futuro. En esta zona, los mayores contrastes ocurren entre 42°S y 51°S en áreas de mayor altura, donde la temperatura máxima puede sobrepasar los 6°C de diferencia positiva. Los indicadores extremos como los días fríos (TX10p) serán menos frecuentes en -1.4% de días/ década, mientras que los días cálidos (TX90p) se incrementan al el doble su valor actual. Tal indicador puede influir en la mantención de los campos de hielo norte, junto con la disminución de precipitación.

Con relación a este último punto, si bien la estimación de la disminución de precipitación es menor que en el resto del país, se proyecta una pérdida de un 17% con respecto al clima actual, a excepción de Punta Arenas que muestra más bien un ligero aumento de un 2%. En esta región, lo más característico es la zona costera entre los 51°S y 54°S donde se estima según PRECIS, un incremento principalmente en JJA, del número de días con precipitación (RND) en un 10-20%, de la intensidad de alrededor de un 15% y el incremento en la frecuencia de eventos fuertes de un 20% y de eventos extremadamente fuertes de un 50%. Sin embargo en la zona norte de la región dominan los cambios porcentuales negativos.

Bibliografía

- Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.
- Aceituno, P., H. Fuenzalida y B. Rosenblüth, 1992: Climate along the extratropical west coast of South America. *Earth System responses to global change* (Eds. H. A. Mooney, B. Kronberg y E.R. Fuentes), Academic Press, Pp. 61-96.
- Aguilar E., I. Auer, M. Brunet, T.C. Peterson, J. Wieringa, 2003: Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization, Geneve.
- Aguilar E., T. C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. González García, R. M. Araujo, A. Rosa Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Álvarez, M. Bautista, C. Castañón, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Vázquez, M. Baca, M. Gutiérrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martínez, B. Olmedo, C. E. Ojeda Espinoza, R. Nuñez, M. Haylock, H. Benavides and R. Mayorga, 2005: Changes in precipitation and temperatura extreme in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res.*, 110, D23107.
- Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. R. Kumar, J. Ravedekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci and J.L. Vazquez-Aguirre (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Jn. Geophys Res.*, 111 (D05109).
- Alexandersson, H., 1986: A Homogeneity Test Applied to Precipitation Date. *J. of Climatology*, 6, 661-675.
- Bell J. L., L. C. Sloan and M. A. Snyder, 2004: Regional Changes in Extreme Climatic Events: A Future Climate Scenario. *J. Climate*, 17, 81-87.
- Beniston, M., 2004: The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31, L02202, doi:10.1029/2003GL018857.
- Boisier, J. P., and P. Aceituno, 2006: Changes in surface and upper-air temperature along the arid coast of northern Chile, paper presentado en 8 International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Am. Meteorol. Soc., Foz de Iguazu, Brasil.
- Bonsal B.R., X. Zhang, L.A. Vincent, and W.D. How, 2001: Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada. *J. Climate*, 14, 1959-1976.
- CONAMA, 2006: Estudio de la Variabilidad Climatica en Chile para el siglo XXI. Depto. Geofisica, U. de Chile.
- Easterling D. R., G. Meehl, C. Parmesan, S. Changnon, T.R. Karl and L. Mearns, 2000: Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*. 289. 2068-2074
- Donat M. G., L.V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R Vose, R. Dunn, K.M. Willett, E. Aguilar, M. Brunet, J. Caesar, B. Hewitson, C. Jack, A. Klein Tank, A.C Kruger, J. Marengo, T.C. Peterson, M. Renom, C. Oria Rojas, M. Rusticucci, J. Salinger, S. Sekele, A.K Srivastava, B. Trewin, C. Villarroel, L.A. Vincent, P. Zhai, X. Zhang, S. Kitching, 2012: Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning 1 of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *J. Geophys. Res.*, 2012JD018606, in press.
- Falvey, M. and R. Garreaud, 2009: Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the SE Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *J. Geophys. Res.*, 114, D04102, doi:10.1029/2008JD010519.

- Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G. Klein-Tank, and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Fuenzalida H., P. Aceituno, R. Garreaud, M. Rojas, M. Falvey, 2006: Estudio de la Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI. Informe final diciembre 2006. Realizado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para
- Haylock M. R. and Coauthors, 2006: Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, 19, 1490-1512.
- Huneus, N., L. Gallardo, and J. A. Rutllant, 2006: Offshore transport episodes of anthropogenic sulfur in northern Chile: Potential impact on the stratocumulus cloud deck, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L19819, doi:10.1029/2006GL026921.
- Jones, R. G., M. Noguer, D. Hassell, D. Hudson, S. Wilson, G. Jenkins, and J. Mitchell (2004) Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, report, Met Off. Hadley Centre, Exeter, UK.
- Kiktev, D., D.M.H. Sexton, L. Alexander and C. K. Folland, 2003: Comparison of Modeled and Observed Trends in Indices of Daily Climate Extremes. *J. Climate*, 16, 3560-3571.
- Klein Tank A. M. G. and Coauthors, 2006: Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. *Jn. Geophys Res.*, 111 (D16105).
- Marengo J. and C. Camargo, 2008: Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *Int. J. Climatol.*, 28, 893-904.
- Marengo J., R. Jones, L.M. Alves and M.C. Valverde, 2009: Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int. J. Climatol.*, DOI:10.1002/joc.1893.
- Meehl G., T. Karl, D. Easterling, S. Changnon, R. Pielke, D. Changnon, J. Evans, P. Groisman, T. Knutson, K. Kunkel, L. Mearns, C. Parmesan, R. Pulwarty, T. Root, R. Sylves, P. Whetton and F. Zwiers, 2000: An Introduction to Trends in Extreme weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts, and Model Projections. AMS, Vol.81, No. 3.
- Meza L., S. Corso y S. Soza, 2010: Gestión del Riesgo de Sequía y otros Eventos Climáticos Extremos en Chile. Estudio piloto sobre la Vulnerabilidad y la Gestión Local del Riesgo. FAO, Santiago, Chile.
- Montecinos A., S. Purca and O. Pizarro, 2003: Interannual-to-Interdecadal sea surface temperatura variability along the western coast of South America. *Jn. Geophys Res.*, 30, Nro. 11, 1570.
- Quintana-Gomez R., 1999: Trends of Maximum and Minimum Temperatures in Northern South America. *J. Climate*, 12, 2104-2112.
- Quintana, J. y P. Aceituno, 2012: Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30 – 43°S. *Atmósfera* 25 (1), 1-22.
- Risbey, J. S. and M. Kandlikar, 2007: Expressions of likelihood and confidence in the IPCC uncertainty assessment process. *Climate Change*, 85:19-31.
- Rosenbluth, B., H. Fuenzalida, and P. Aceituno, 1997: Recent temperature variations in southern South America, *Int. J. Climatol.*, 17, 67 – 85.
- Rusticucci M. and M. Barrucand, 2004: Observed Trends and Changes in Temperatures Extremes over Argentina. *J. Climate*, 17, 4099-4107.
- Schulz N., J. P. Boisier. and P. Aceituno, 2011: Climate change along the arid coast of northern Chile. *Int. J. Climatol.*, DOI:10.1002/joc.2395.

- Schwerdtfeger, W. 1976. *Climates of Central and South America*. In *World Survey of Climatology* (Schwerdtfeger, W.; editor). Elsevier Scientific Publishing Company, p. 145. Amsterdam-Oxford-New York.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Villarroel, C., B. Rosenbluth and P. Aceituno, 2006: *Climate Change along the extratropical west coast of South America (Chile): Daily max/min temperatures*. Paper presentado en 8 ICSHMO, Foz de Iguazu, Brasil.
- Vincent, L.A., and Coauthors, 2005: *Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000*. *J. Climate*, 18, 5011-5023.
- Vincent L. A and X. Zhang, 2002: *Homogenization of Daily Temperatures over Canada*. *J. Climate*, 15, 1322-1334.
- Watterson, I. G., and M. R. Dix, 2003: *Simulated changes due to global warming in daily precipitation means and extremes and their interpretation using the gamma distribution*. *J. Geophys. Res.*, 108 (D13), 4379.
- Wilks, D., 1955: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Int. Geophys. Series Academy Press .Vol 59, 467pp.
- Wilson S., D. Hasell, D. Hein, R. Jones and R. Taylor, 2005: *Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS*. Report PRECIS Workshop South America.
- Zhang Xuebin. and Feng Yang, 2004. *RCLimDex (1.0), Manual de Usuario*. Climate Research Branch, Environment Canada Downsview, Ontario, Canada.
- Zhang Y., Y. Xu, W. Dong, L. Cao and M. Sparrow, 2006: *A future scenario of regional changes in extreme events over China using PRECIS climate model*. *Geophysical Research Letters*, 33, L24702.

ANEXOS

ANEXO A: TEST DE HOMOGENIZACIÓN.

El Test de Homogenización Normal Standard (Alexanderson, 1986) consiste en la determinación del máximo estadístico

$$To(m) = \max_{1 \leq m < N} (mz_1^{-2} + (N - m)z_2^{-2}) \quad (1)$$

$$\text{Donde: } z_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m z_i, \quad z_2 = \frac{1}{N - m} \sum_{i=m+1}^N z_i \quad \text{y} \quad z_i = \frac{q_i - \bar{q}_i}{\sigma_{q_i}},$$

siendo $q_i = P_i - R_i$

En que z_i es el valor estandarizado de la serie q_i que es la diferencia de la serie a probar su homogeneidad (P_i) y la serie patrón (R_i). El valor del máximo se compara con la distribución empírica de todos los máximos que resultan de realizar un experimento de Montecarlo. Si T_o supera el valor encontrado para el 95% de la distribución empírica se considera que la serie presenta una homogeneidad en dicho punto. La serie patrón se construye de acuerdo al promedio ponderado de las correlaciones al cuadrado de las series diferenciadas con aquellas series que tengan correlación igual o superior a 0.7.

ANEXO B: RClmDex_extraqc (1.0), rsht.r.

RClmDex es desarrollado y mantenido por Xuebin Zhang y Feng Yang del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá. Su desarrollo inicial fue financiado por la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional a través del Proyecto de Cambio Climático de la Cooperación Canadá – China (C5). Lisa Alexander, Francis Zwiers, Byron Gleason, David Stephenson, Albert Klan Tank, Mark New, Lucie Vincent, y Tom Peterson hicieron importantes contribuciones al desarrollo y prueba del paquete. Versiones anteriores de RClmDex han sido usadas en Talleres de CCI/CLIVAR ETCCDMI en Cape Town, Africa del Sur, Mayo 31-Junio 4, 2004; y en Maceio, Brasil, Agosto 9-14, 2004. ClmDex es un programa basado en Microsoft Excel que proporciona un paquete computacional fácil de usar para el cálculo de Índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambio climático. Fue desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Centre (NCDC) de NOAA, y ha sido usado en talleres CCI/CLIVAR sobre índices climáticos desde el 2001.

Para instalar el software debe conectarse al sitio Web del proyecto R que es <http://www.r-project.org>; y 2) Seguir los enlaces para descargar la versión más reciente de R para el sistema operativo de su computador desde cualquier sitio espejo de CRAN. Aquí menciona detalles en el manual del usuario, de cómo instalar y ejecutar el programa. Los programas para control de calidad `rhtest_extraqc`, y para la homogenización están disponibles en la web: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>.

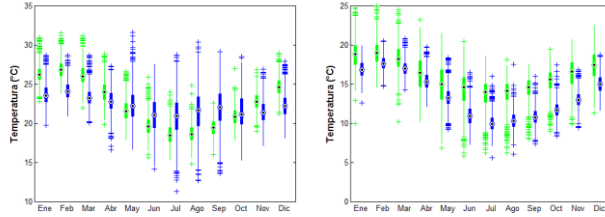
ANEXO C: Metadatos de estaciones meteorológicas de la DMC utilizadas en este estudio.

Ciudades	Nombre de la Estación	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altura (m)	Cambios de Lugar Fecha	Cambios de Instrumental (convencional a automática)
Arica	El Puerto	18°28'	70°20'30"	10	1903-1949	
	El Buitre			29	1950-1956	11/oct/2000: se instaló automática
	A. P. Chacalluta (18005)	18°21'	70°19'	55	1957 -2000	01/ene/2001: comenzó a funcionar auto
	A. P. Chacalluta (18005)	18°20'	70°20'	58	2000 -->	
Iquique	Isla Serrano	20°12'	70°11'	9	1900-1945	nov/1995: automática milos
	Los Cóndores	20°15'	70°07'		1946-1974	2/6/1996: automática
	Cavanca	20°14'	70°09'	9	1958-1981	dic/ 2008: convencional
	A. P. Diego Aracena (20006)	20°32'	70°10'	47.8	abr/1981 -jul/2010	mar/2010: desactiva patio y activa cambell
		20°32'	70°11'	52	ago 2010: a 800 mt al norte	sensores en pista
Calama	Regimiento	22°26'	68°53'	2282	1913-1914	1983 (no seguro)
	El Loa	22°30'	68°54'	2312	1965 - may/1974	
	AD. El Loa (22002)	22°30'	68°54'	2312	jun/1974 -->	
		22°29'	68°54'	2270		
Antofagasta	Puerto	23°29'	70°25'	4	1903-1943	oct/1995: automática
	A. P. Cerro Moreno (23001)	23°26'	70°27'	140	1944 -->	nov/1996: funcionamiento auto.
		23°26'	70°26'	135		
Copiapó	Liceo	27°22'	70°21'	380	1911-1942	2005: término estacion
	AD. Copiapó	27°21'	70°20'	380	1942-jul/1964	
	AD. Chamonate	27°17'	70°24'	290	ago/1964	
	AD. Chamonate (27002)	27°18'	70°25'	291	1964-2005	
La Serena	Zonas Tierras Blancas	29°54'	71°16'	37	1911-1925	31/12/2000: automática
	Zonas Tierras Blancas	29°54'	71°16'	28	1925-1930	
		29°54'	71°15'	32	1930-1970	
	La Florida	29°55'	71°12'	146	1972-->	
	A. D. La Florida (29004)	29°54'	71°12'	142		
Valparaíso	Escuela naval (Parque)	33°01'12"	71°38' 17"	41	1870-1967	
	Escuela del litoral(Torpederas)	33°01'22"	71°38' 17"		1967-2003	
	Punta Angeles (33002)	33°01'14"	71°38' 34"		2003-->	
Santiago	Quinta Normal (33020)	33°27'	70°42'	520	1864-1899	mar/2007:automática
	Quinta Normal (33020)	33°26'	70°41'	520	1900 -->	Mediciones siguen convencionales
Curicó	General Freire (34031)	34°58'	71°14'	228	1961-->	sigue convencional
Chillán		36°37'	71°12'	214	1886-1940	sigue convencional
	AD. Gral. Bdo. O'Higgins (36011)	36°35'	72°02'	147.3	1941-31/10/89	
	AD. Gral. Bdo. O'Higgins (36011)	36°34'	72°02'	124	1989-->	
Concepción	Liceo	36°50'	73°03'	15	1911-1957	01/10/1996: automática
	Universidad (Bellavista)	36°50'	73°03'	15	1958-1966	31/07/1998: convencional
	Hualpencillo (36021)	36°50'	73°03'	15	1963-1969	01/04/2000: automática
	A. D. Carriel Sur (36019)	36°46'	73°04'	11	1968-->	31/08/2000: convencional
	A. P. Carriel Sur (36019)	36°46'	73°03'	12		31/12/2000 : automática
Temuco		38°45'	72°38'	111	1911-1914	31/12/2000: funcionamiento auto.
		38°45'	72°35'	111	1914-1971	
	Grupo 3	38°46'	72°38'	114	1967-1971	
	A.D. Maquehue (38013)	38°46'	72°38'	114	1983-->	
Valdivia		39°49'	73°15'	15	1911-1923	01-04-2010 (Estación momentanea Davis)
	Radio estacion FACH	39°49'	73°14'	9	1924-1953	abr/2011 (vuelve patio meteorologico)
		39°48'	73°14'	5	1954-1965	
	AD. Pichoy (39006)	39°38'	73°05'	19	1965-1967	
	AD. Pichoy (39006)	39°37'56"	73°04'32"	50	1967-->:Pichoy	
Osorno		40°35'	73°08'	68.4	1903-1910	1988 (no seguro)
		40°35'	73°10'	30	1911-1958	
		40°32'	73°11'	24	1958-1967	
	AD. Cañal Bajo (40009)	40°36'26"	73°03'24"	57.9	1967-1969	
	AD. Cañal Bajo (40009)	40°36'	73°04'	65		
Pto. Montt	Liceo	41°29'	72°55'	10	1908-1945	14/01/1992: automática
	Reg. Naval	41°28'	72°56'	3	1946-1959	
	La Chamiza	41°28'	72°56'	13	1960-1963	
	El Tepual	41°26'	73°07'	81.3	1963-->	
	AP. El Tepual (41005)	41°25'	73°05'	85		
Coyhaique		45°35'	72°07'	310	1928-1960	convencional
		45°35'	72°03'	264	1961-1967	
	AD. Tte. Vidal (45004)	45°35'	71°07'	310	1967	
Balmaceda		45°54'	71°43'	517	1945-1974	01/01/2000: automática
		45°59'	71°43'	520	1974-->	24/01/2007: convencional momentánea
					14/02/2007: automática	
Pta. Arenas	Bahía Catalina					04/05/1989: automática
	Chabunco	53°00'	70°50'	33	1960-1965	
	A.P. Pdte. Carlos Ibañez (52006)	53°00'	70°58'	37		

Anexo D: Verificación. Ciclo anual observado v/s simulado con PRECIS en el periodo 1961-1990.

T° Máxima (TX) T° Mínima (TN) Precipitación (mm) RR Número de días con RR>1mm (RND)

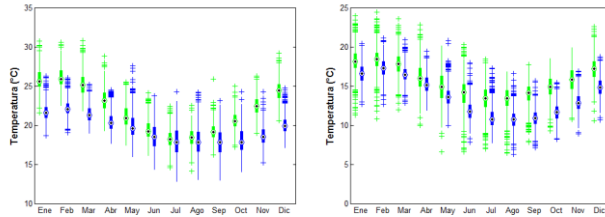
Arica: lat. 18°20'; lon. 70°20'; alt. 58 m.



s.p

s.p

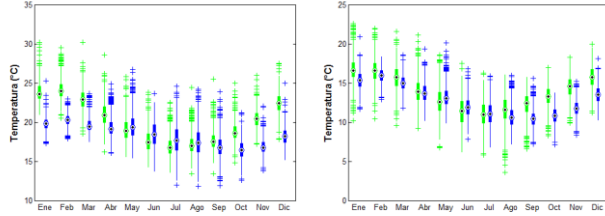
Iquique: lat. 20°32'; lon. 70°11'; alt. 52 m.



s.p

s.p

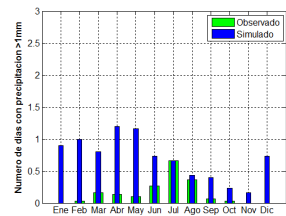
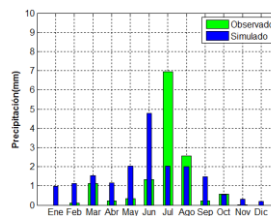
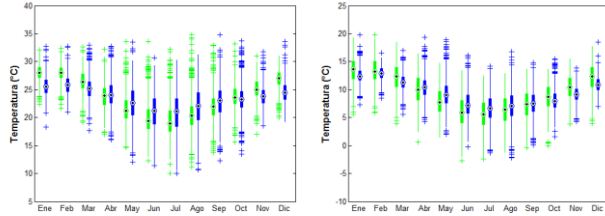
Antofagasta: lat. 23°26'; lon. 70°26'; alt. 135 m.



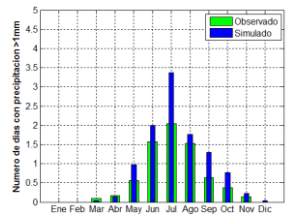
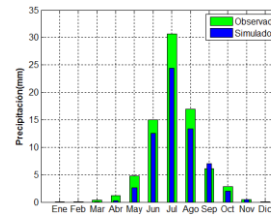
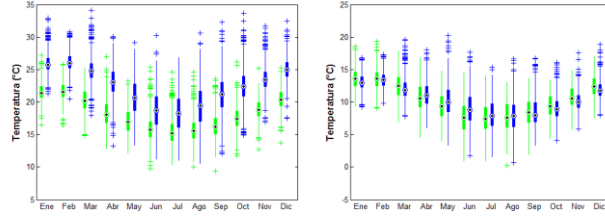
s.p

s.p

Copiapó: lat. 27°18'; lon. 70°25'; alt. 291 m.



La Serena: lat. 29°54'; lon 71°12'; alt. 142 m.



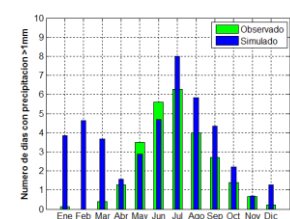
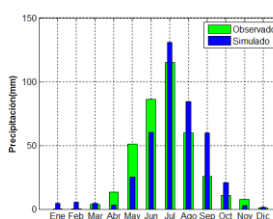
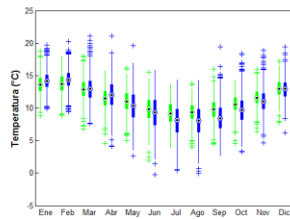
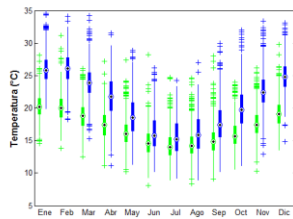
T° Máxima (TX)

T° Mínima (TN)

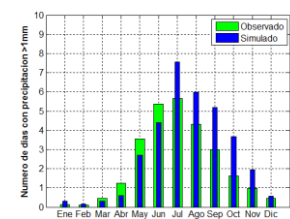
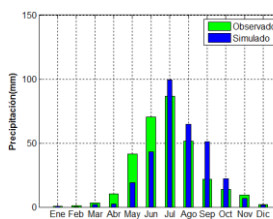
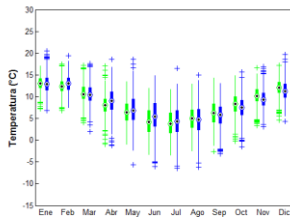
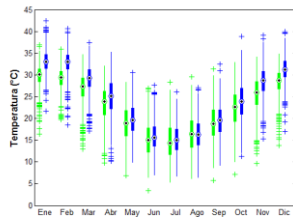
Precipitación (mm)
RR

Número de días con
RR>1mm (RND)

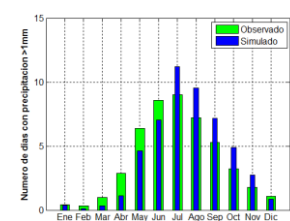
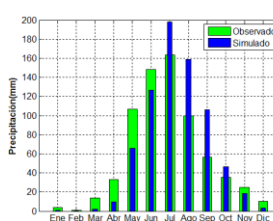
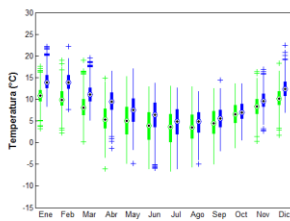
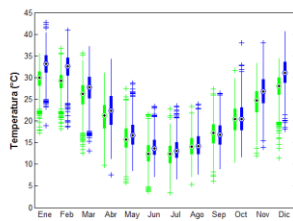
Valparaíso: lat. 33°01'; lon. 71°38'; alt. 41 m.



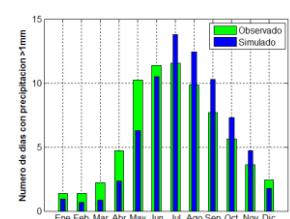
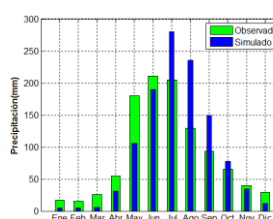
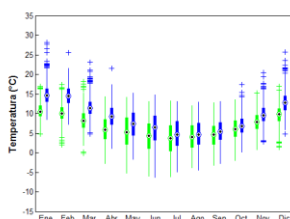
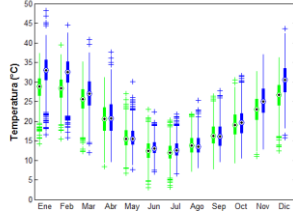
Santiago: lat. 33°26'; lon. 70°41'; alt. 520 m.



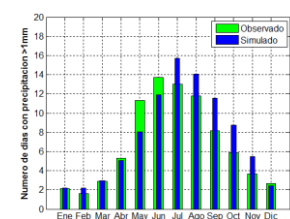
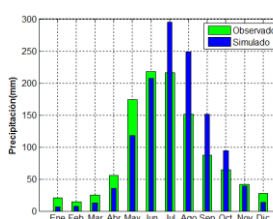
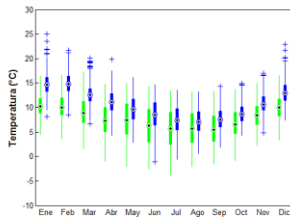
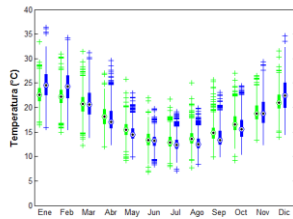
Curicó: lat. 34°58'; lon. 71°14'; alt. 228 m.



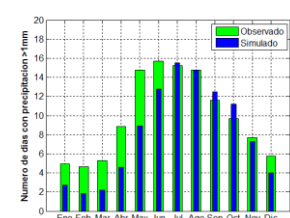
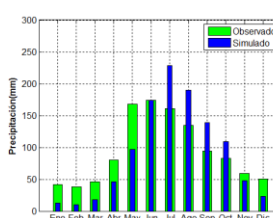
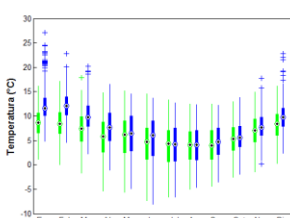
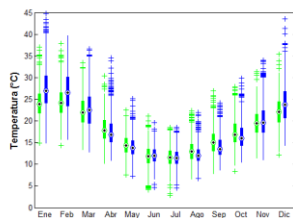
Chillán: lat. 36°34'; lon. 72°02'; alt. 124 m.



Concepción: lat. 36°46'; lon. 73°03'; alt. 12 m.



Temuco: lat. 38°45'; lon. 72°38'; alt. 114 m.



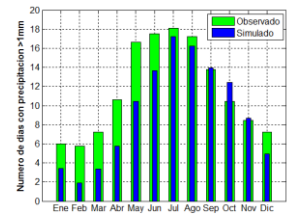
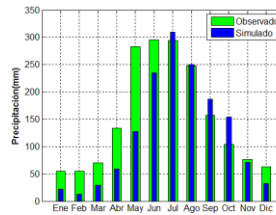
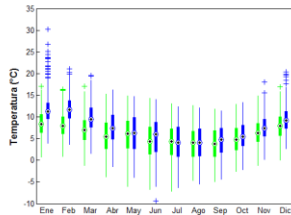
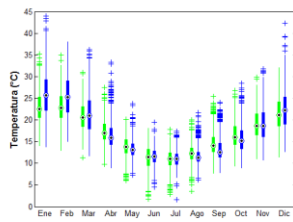
T° Máxima (TX)

T° Mínima (TN)

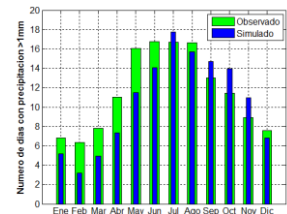
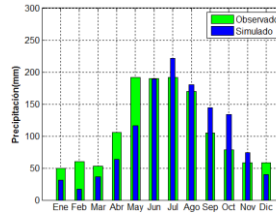
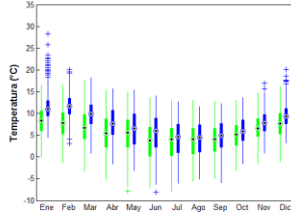
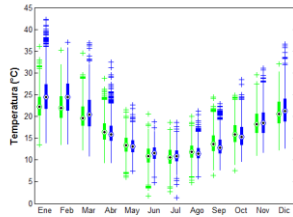
Precipitación (mm)
RR

Número de días con
RR>1mm (RND)

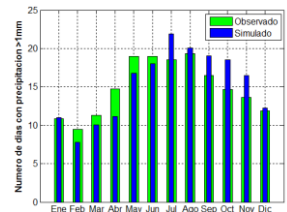
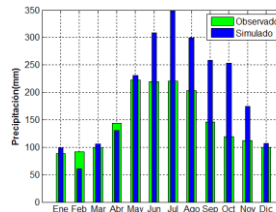
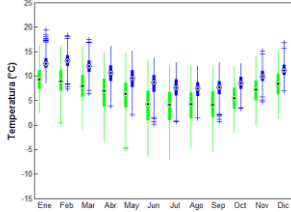
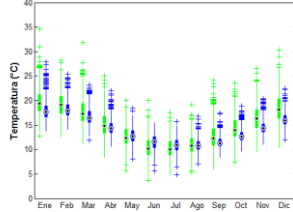
Valdivia: lat. 39°38'; lon. 73°05'; alt. 19 m.



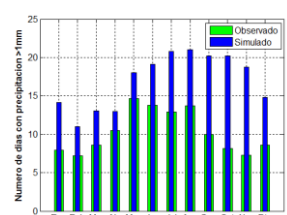
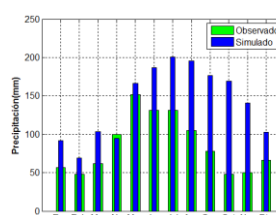
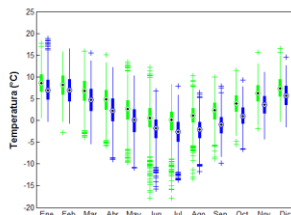
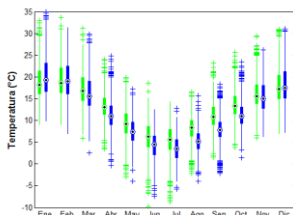
Osorno: lat. 40°36'; lon. 73°04'; alt. 65 m.



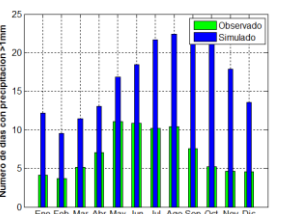
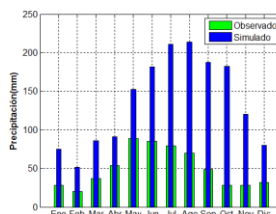
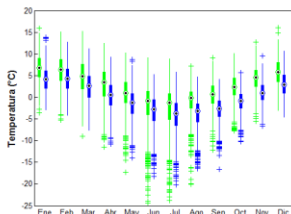
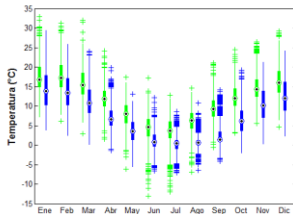
Pto. Montt: lat. 41°26'; lon. 73°07'; alt. 90 m.



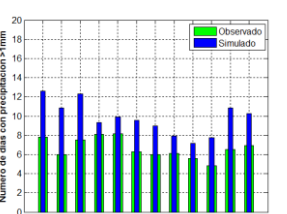
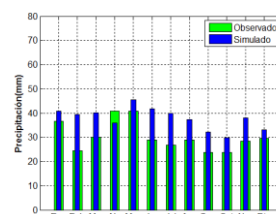
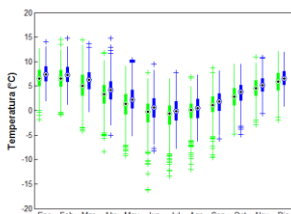
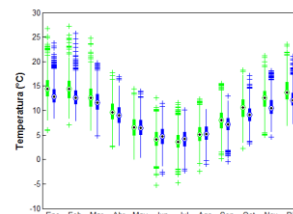
Coyhaique: lat. 45°35'; lon. 72°07'; alt. 310 m.



Balmaceda: lat. 45°54'; lon. 71°43'; alt. 520 m.

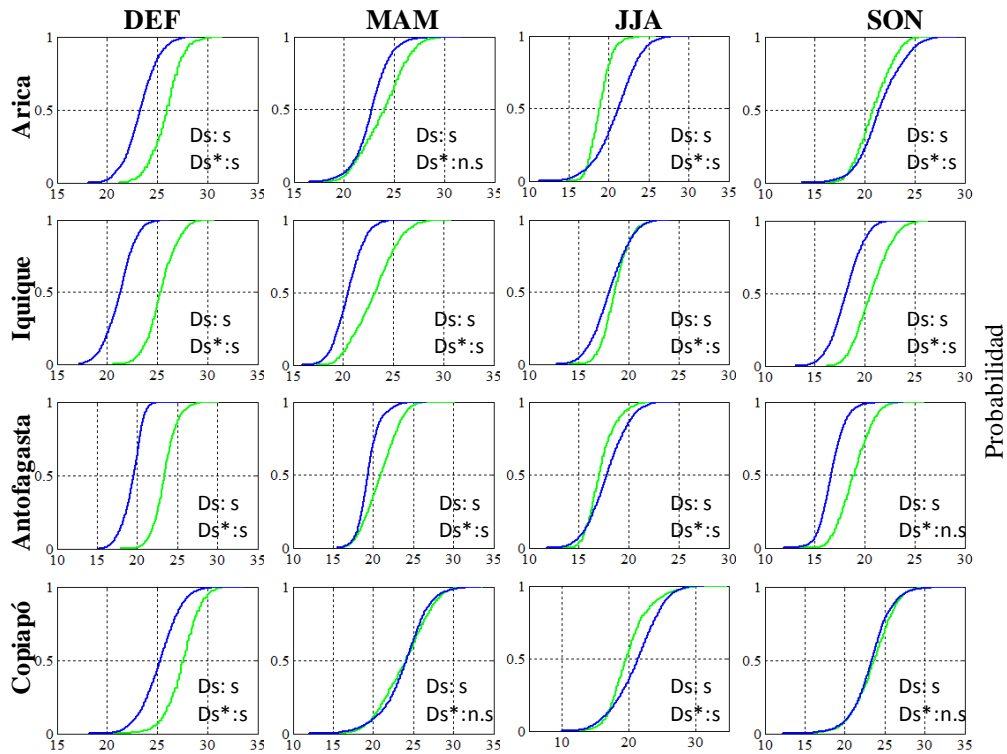


Pta. Arenas: lat. 40°36'; lon. 73°04'; alt. 65 m.

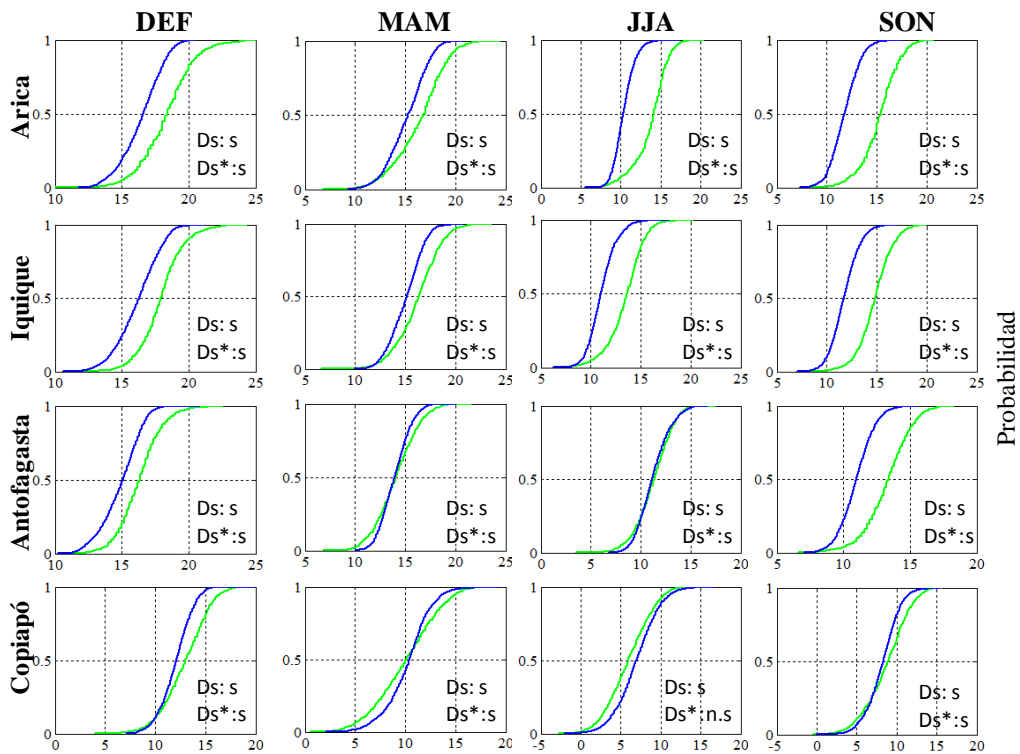


ANEXO E: **Verificación- Distribuciones.** Función de distribución acumulada (CDFs). D_s es la significancia del factor del test K-S, D_{s^*} factor aplicado a las series diferenciadas.

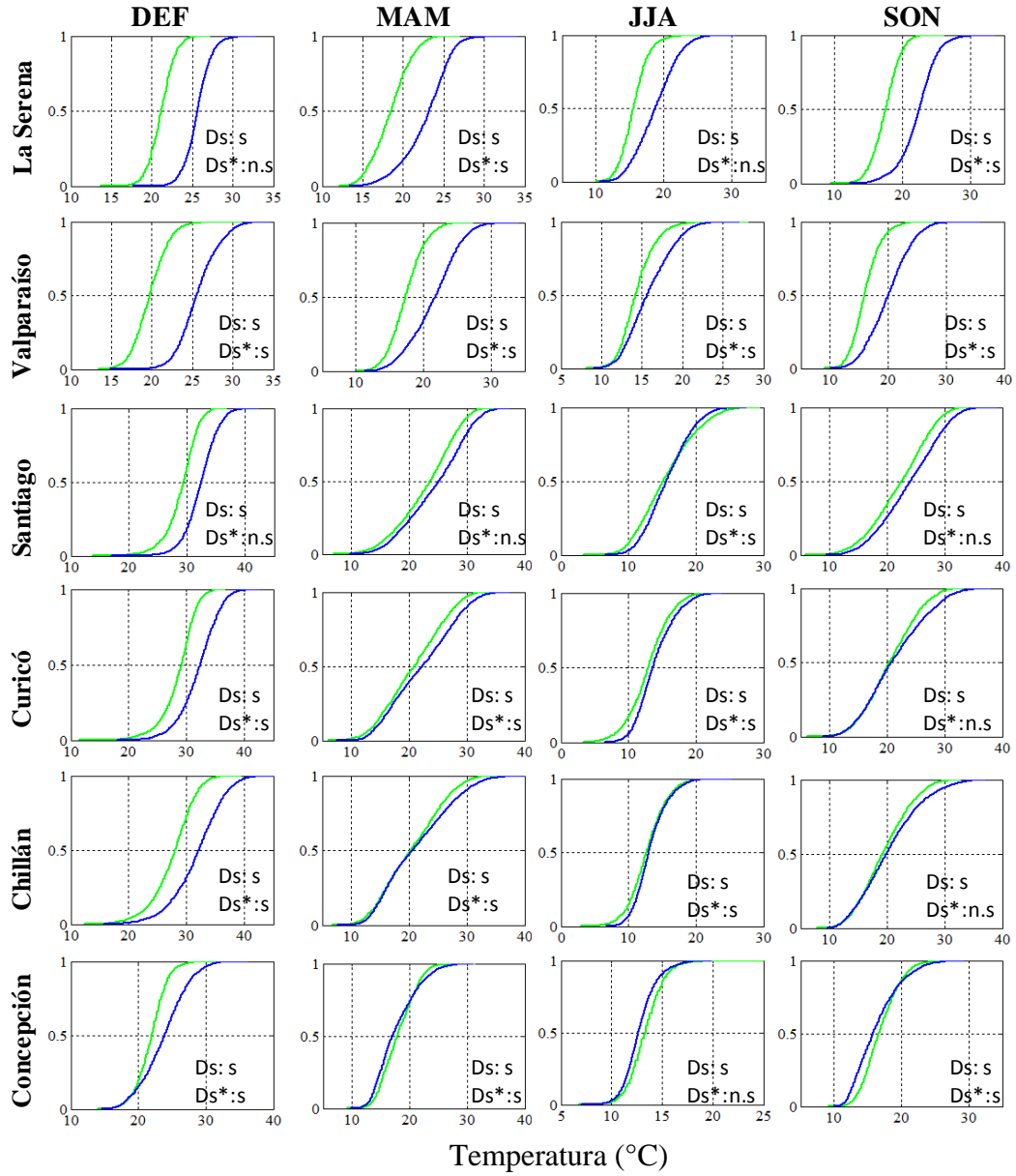
Región norte-Temperatura Máxima



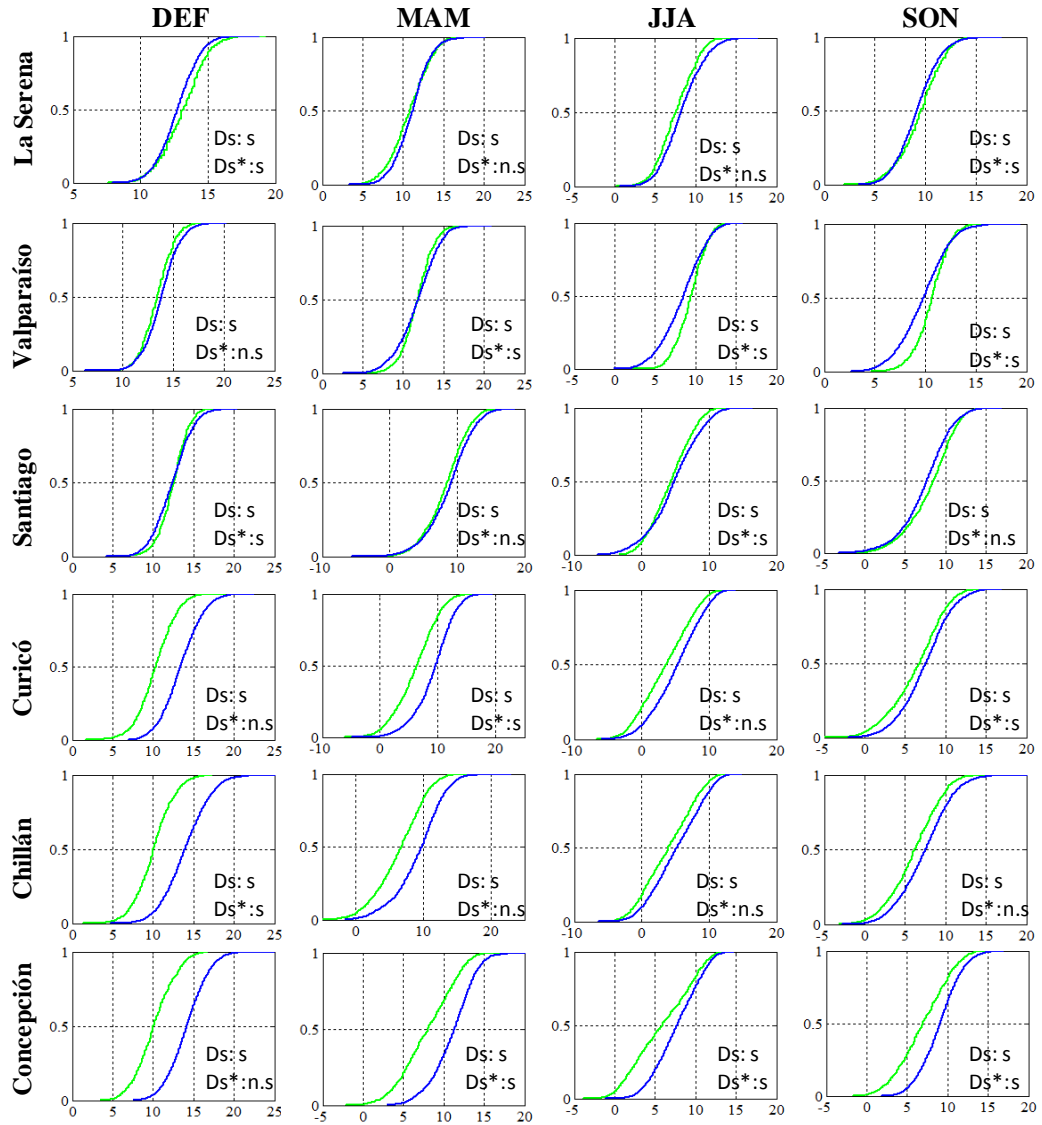
Región Norte - Temperatura Mínima:



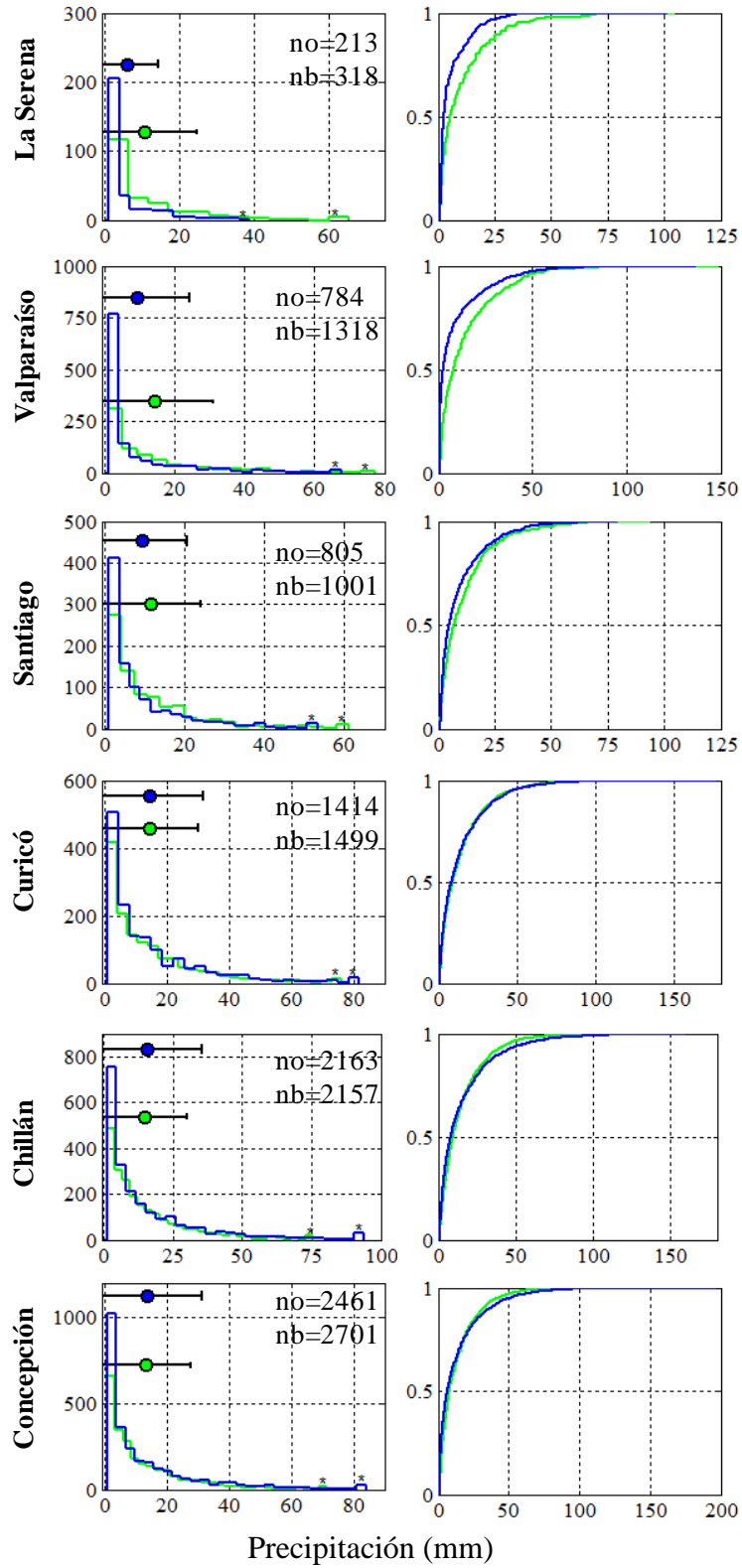
Región Centro - Temperatura máxima



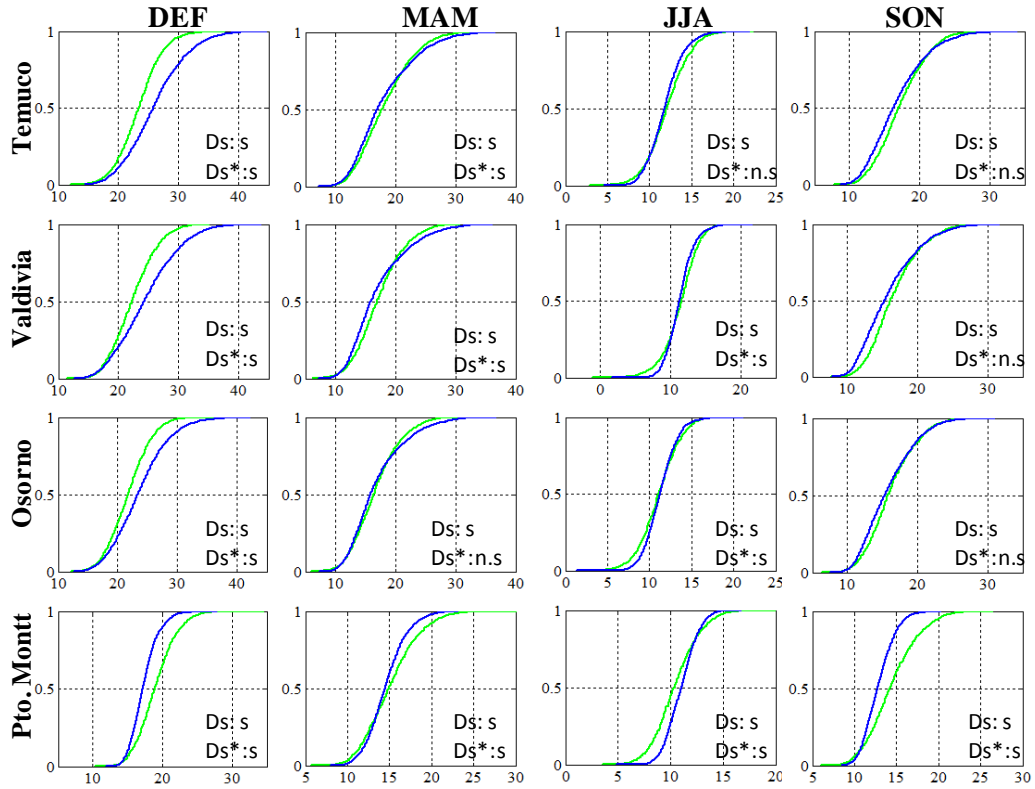
Región Centro - Temperatura Mínima



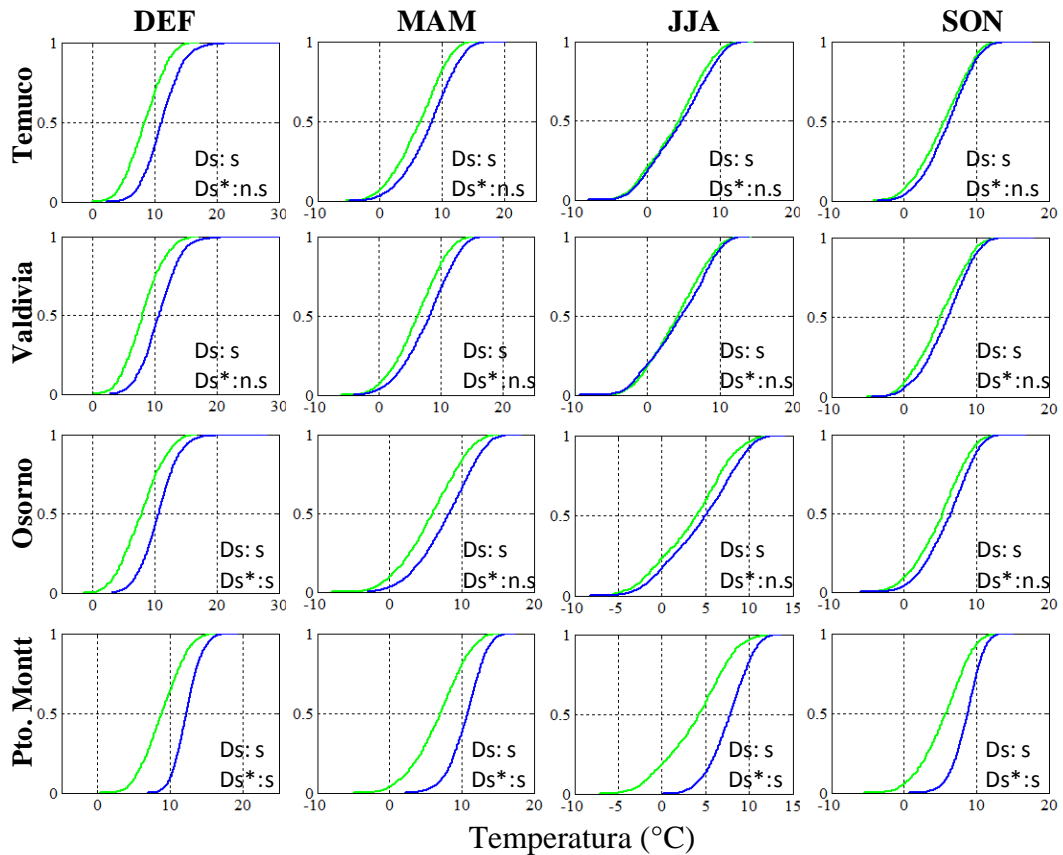
Región Centro - Precipitación



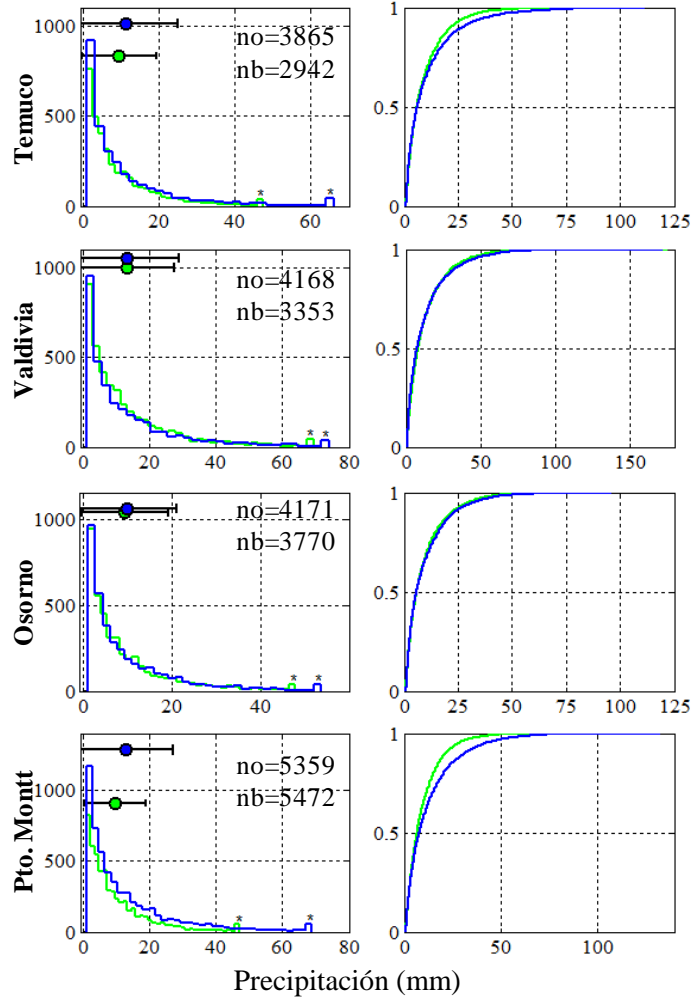
Región Sur - Temperaturas Máximas



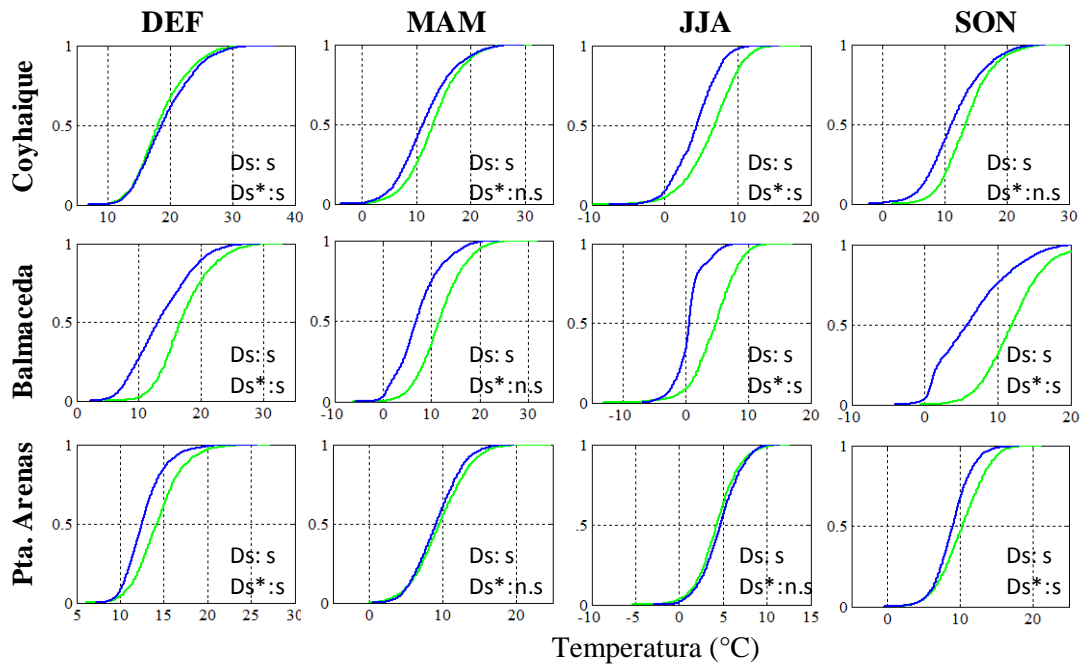
Región Sur - Temperaturas Mínimas



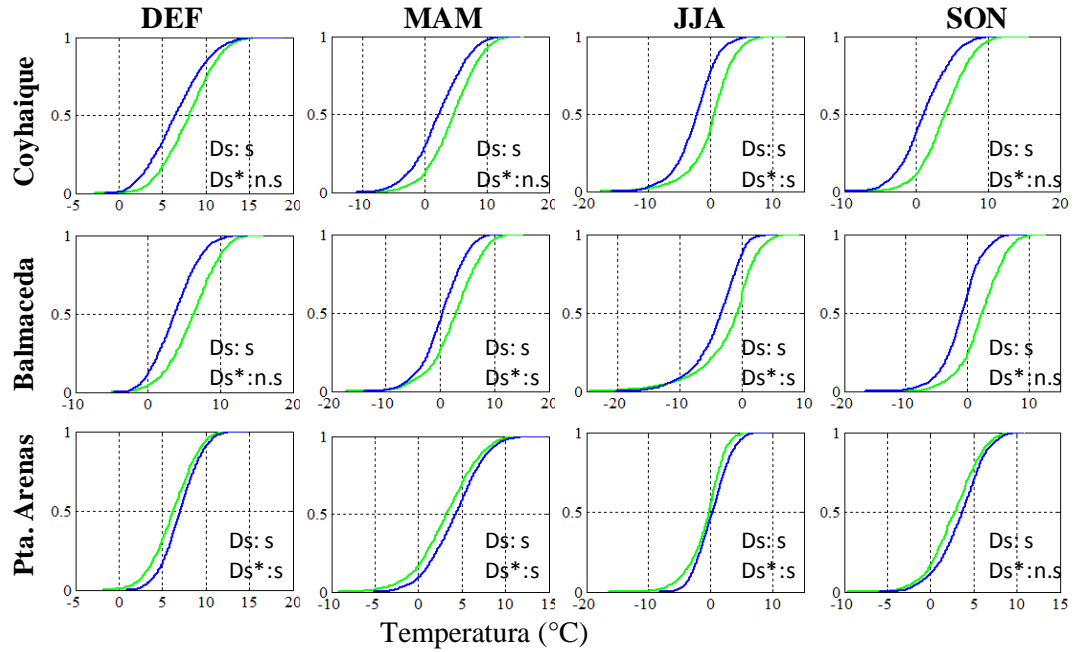
Región Sur - Precipitación



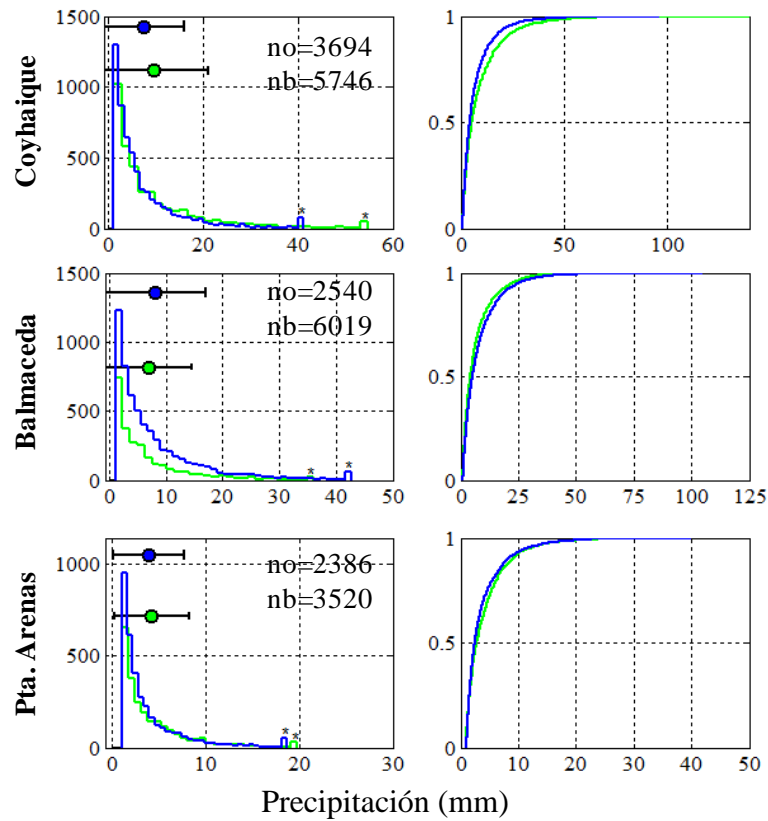
Región Austral. Temperatura Máxima



Región Austral - Temperaturas Mínimas:



Región Austral – Precipitación



ANEXO F: Valores críticos D_s del test de Kolmogorov-Smirnov aplicado a las series de temperatura máximas y mínimas anuales y estacionales para el periodo 1961-1990. Los valores en paréntesis son aquellos D_s^* que fueron conseguidos con la series diferenciadas. Valores en negrita corresponden a los que no son significativos al 95% de confianza.

	CDFs Temperaturas Máximas										CDFs Temperaturas Mínimas									
	Anual		DEF		MAM		JJA		SON		Anual		DEF		MAM		JJA		SON	
	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*	D_s	D_s^*
1	0.19	(0.14)	0.59	(0.05)	0.30	(0.03)	0.49	(0.18)	0.14	(0.16)	0.37	(0.05)	0.43	(0.06)	0.30	(0.14)	0.72	(0.15)	0.75	(0.16)
2	0.37	(0.15)	0.85	(0.06)	0.53	(0.07)	0.21	(0.10)	0.55	(0.09)	0.33	(0.03)	0.42	(0.06)	0.28	(0.09)	0.61	(0.11)	0.70	(0.10)
3	0.34	(0.18)	0.90	(0.09)	0.40	(0.06)	0.23	(0.11)	0.58	(0.02)	0.17	(0.09)	0.34	(0.06)	0.11	(0.08)	0.08	(0.07)	0.60	(0.07)
4	0.15	(0.11)	0.51	(0.06)	0.08	(0.04)	0.24	(0.11)	0.10	(0.02)	0.09	(0.10)	0.26	(0.12)	0.13	(0.11)	0.17	(0.04)	0.18	(0.10)
Regional Norte	0.28	(0.16)	0.80	(0.04)	0.32	(0.03)	0.30	(0.16)	0.27	(0.10)	0.22	(0.04)	0.36	(0.06)	0.18	(0.07)	0.36	(0.06)	0.59	(0.07)
5	0.50	(0.08)	0.85	(0.03)	0.61	(0.05)	0.49	(0.14)	0.72	(0.08)	0.04	(0.05)	0.15	(0.05)	0.10	(0.04)	0.12	(0.03)	0.11	(0.07)
6	0.40	(0.15)	0.82	(0.05)	0.52	(0.09)	0.25	(0.12)	0.50	(0.12)	0.12	(0.08)	0.13	(0.03)	0.10	(0.08)	0.21	(0.10)	0.23	(0.10)
7	0.16	(0.06)	0.47	(0.05)	0.15	(0.02)	0.09	(0.07)	0.13	(0.04)	0.03	(0.02)	0.10	(0.08)	0.09	(0.05)	0.08	(0.06)	0.13	(0.03)
8	0.14	(0.06)	0.46	(0.07)	0.12	(0.06)	0.13	(0.06)	0.09	(0.03)	0.21	(0.03)	0.49	(0.03)	0.36	(0.05)	0.17	(0.04)	0.13	(0.05)
9	0.13	(0.09)	0.44	(0.07)	0.08	(0.07)	0.10	(0.05)	0.08	(0.03)	0.24	(0.05)	0.58	(0.06)	0.31	(0.04)	0.12	(0.03)	0.17	(0.03)
10	0.10	(0.10)	0.33	(0.12)	0.12	(0.10)	0.18	(0.05)	0.17	(0.09)	0.27	(0.05)	0.59	(0.03)	0.38	(0.11)	0.26	(0.12)	0.30	(0.11)
Regional Centro	0.19	(0.06)	0.66	(0.11)	0.22	(0.11)	0.17	(0.07)	0.24	(0.09)	0.05	(0.03)	0.43	(0.07)	0.27	(0.02)	0.13	(0.03)	0.06	(0.03)
11	0.08	(0.08)	0.26	(0.10)	0.08	(0.06)	0.09	(0.05)	0.11	(0.03)	0.15	(0.02)	0.35	(0.04)	0.18	(0.03)	0.07	(0.03)	0.08	(0.04)
12	0.08	(0.10)	0.21	(0.11)	0.12	(0.08)	0.11	(0.09)	0.15	(0.04)	0.16	(0.03)	0.36	(0.03)	0.19	(0.02)	0.07	(0.04)	0.13	(0.03)
13	0.06	(0.08)	0.19	(0.08)	0.07	(0.06)	0.09	(0.06)	0.10	(0.02)	0.20	(0.03)	0.35	(0.07)	0.21	(0.03)	0.13	(0.03)	0.15	(0.03)
14	0.14	(0.12)	0.32	(0.11)	0.13	(0.10)	0.20	(0.10)	0.28	(0.19)	0.41	(0.11)	0.56	(0.13)	0.48	(0.14)	0.46	(0.16)	0.45	(0.16)
Regional Sur	0.05	(0.06)	0.15	(0.08)	0.08	(0.05)	0.07	(0.06)	0.14	(0.03)	0.22	(0.01)	0.43	(0.03)	0.26	(0.03)	0.15	(0.02)	0.19	(0.04)
15	0.14	(0.06)	0.07	(0.05)	0.17	(0.04)	0.32	(0.05)	0.23	(0.02)	0.22	(0.03)	0.20	(0.04)	0.25	(0.04)	0.39	(0.05)	0.35	(0.02)
16	0.30	(0.07)	0.36	(0.08)	0.42	(0.03)	0.62	(0.19)	0.51	(0.05)	0.26	(0.04)	0.31	(0.04)	0.25	(0.05)	0.31	(0.06)	0.44	(0.04)
17	0.13	(0.07)	0.29	(0.07)	0.08	(0.03)	0.09	(0.02)	0.23	(0.07)	0.11	(0.02)	0.16	(0.05)	0.13	(0.05)	0.13	(0.08)	0.13	(0.03)
Regional Austral	0.17	(0.04)	0.22	(0.04)	0.24	(0.03)	0.34	(0.06)	0.35	(0.02)	0.14	(0.01)	0.17	(0.02)	0.16	(0.02)	0.22	(0.05)	0.25	(0.02)

Series anuales: n=10800; series estacionales: n=2700.

ANEXO G. Tendencias en unidades por década de los ICE para el clima actual observado 1961-1990 (Obs. Actual), clima actual simulado con PRECIS 1961-1990 (Sim. Actual) y clima futuro simulado con PRECIS 2070-2100 (Sim. Futuro). En negrita son tendencias significativas a un 95% de confianza y cursivas son significativas al 90%.

ANUAL		Ind. de Temperaturas										Ind. Precipitación					
Unidades por Década		TN	TN10p	TN90p	TNx	TNn	TX	TX10p	TX90p	TXx	TXn	DTR	Rx1	Rx5	RND	Preptot	
		°C	%días	%días	°C	°C	°C	%días	%días	°C	°C	°C	mm	mm	días	mm	
ZONA NORTE	Arica	Obs. Actual	0.55	-3.4	7.0	0.40	0.80	0.26	-2.5	<i>4.4</i>	0.23	0.32	-0.29	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.38	-4.4	6.1	0.53	-0.03	0.06	-1.4	1.0	-0.06	-0.27	-0.32	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.00	-11.0	12.3	0.69	0.84	0.61	-7.7	5.0	<i>0.68</i>	0.46	-0.39	-	-	-	-
	Iquique	Obs. Actual	0.42	-5.7	4.0	0.66	0.94	0.27	-5.7	1.9	<i>0.42</i>	0.33	-0.15	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.33	-4.0	4.9	<i>0.33</i>	0.17	0.22	-3.9	3.2	0.46	0.02	-0.11	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.94	-9.9	11.0	0.82	0.94	0.75	-10.1	7.7	0.82	0.77	-0.19	-	-	-	-
	Antofagasta	Obs. Actual	0.64	-4.4	8.7	0.62	<i>0.40</i>	0.05	-0.8	1.5	0.10	0.32	-0.59	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.27	-4.0	3.7	0.64	0.14	0.22	-4.0	4.0	-0.03	0.12	<i>-0.05</i>	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.93	-10.6	9.9	0.78	0.93	0.82	-9.3	8.8	0.96	0.63	-0.10	-	-	-	-
	Copiapó	Obs. Actual	0.62	-5.3	3.6	0.18	0.73	-0.03	0.4	-1.0	-0.02	-0.02	-0.65	2.2	3.3	0.4	3.9
		Sim. Actual	0.22	-2.6	2.6	<i>0.56</i>	0.25	0.10	-1.0	0.9	-0.03	-0.35	<i>-0.11</i>	-2.4	-2.7	0.7	-0.7
		Sim. Futuro	0.89	-7.8	7.3	0.92	1.03	0.68	-4.6	5.1	1.40	0.46	-0.21	2.7	4.9	1.7	13.4
Reg. Norte	Obs. Actual	0.56	-4.7	5.8	0.47	0.72	0.14	-2.1	1.7	0.18	0.24	-0.42	-	-	-	-	
	Sim. Actual	0.30	-3.8	4.3	0.51	0.13	<i>0.15</i>	-2.6	2.3	0.09	-0.12	-0.15	-	-	-	-	
	Sim. Futuro	0.94	-9.7	10.1	0.80	0.94	0.71	-7.9	6.6	0.97	0.58	-0.23	-	-	-	-	
ZONA CENTRO	La Serena	Obs. Actual	0.44	-4.4	5.6	<i>0.33</i>	0.71	0.16	-1.2	1.3	0.30	0.12	-0.28	4.0	5.7	-1.0	-5.5
		Sim. Actual	0.16	-1.6	<i>1.6</i>	0.11	-0.48	0.16	-1.9	0.9	0.02	-0.21	0.00	-6.2	-6.6	-0.8	-12.8
		Sim. Futuro	0.88	-9.5	6.8	0.45	0.92	0.67	-5.2	4.9	0.28	0.90	-0.22	-5.3	-3.6	0.2	-5.0
	Valparaíso	Obs. Actual	0.21	-1.3	3.2	0.17	0.01	0.18	-5.5	-1.5	-0.45	0.69	-0.03	2.3	1.2	-0.3	21.2
		Sim. Actual	0.16	-1.7	1.5	0.58	-0.28	0.20	<i>-1.4</i>	1.5	0.72	0.04	0.04	-3.6	-0.2	2.2	<i>-49.0</i>
		Sim. Futuro	0.16	-10.7	10.8	1.05	0.96	0.94	-10.7	10.0	0.75	1.01	0.03	-3.5	0.1	-1.4	-15.2
	Santiago	Obs. Actual	0.21	-1.0	3.0	0.42	0.01	0.21	<i>-1.0</i>	1.7	0.09	0.14	-0.04	4.4	11.1	2.1	38.2
		Sim. Actual	0.21	-2.3	1.5	0.29	-0.38	0.27	<i>-1.4</i>	1.5	0.74	-0.11	0.06	-1.4	0.5	-2.3	-31.4
		Sim. Futuro	0.62	-5.6	3.9	<i>0.75</i>	0.80	0.57	-3.0	3.2	0.46	0.67	-0.05	-5.2	-3.8	1.7	-6.9
	Curicó	Obs. Actual	0.80	-5.0	4.5	0.83	0.92	-0.06	-0.4	-0.7	<i>-0.42</i>	0.00	-0.86	-1.1	-12.7	0.4	-8.1
		Sim. Actual	0.10	-1.6	0.9	0.53	-0.22	0.25	<i>-1.3</i>	1.1	0.46	-0.02	0.15	-3.0	-6.8	-0.2	-29.1
		Sim. Futuro	0.49	-4.5	3.4	0.26	0.68	0.60	-3.7	3.3	0.47	0.59	0.11	-1.2	-3.0	-1.9	-38.2
Chillán	Obs. Actual	0.38	<i>-1.3</i>	3.9	0.70	0.20	0.15	<i>-1.1</i>	0.7	<i>-0.58</i>	-0.25	<i>-0.24</i>	9.7	18.6	2.0	<i>101.0</i>	
	Sim. Actual	0.11	-1.8	0.8	0.25	-0.18	0.41	-2.2	1.8	0.47	-0.16	0.30	-16.0	-28.8	-6.1	<i>-124.0</i>	
	Sim. Futuro	0.44	-4.9	1.9	0.20	0.35	0.59	-3.3	2.5	0.54	0.47	0.14	0.7	-4.5	-4.3	-78.0	
Concepción	Obs. Actual	0.34	-2.5	2.3	0.67	0.24	0.10	-0.1	1.8	-0.45	0.15	-0.20	<i>11.1</i>	10.1	-0.6	10.1	
	Sim. Actual	0.17	-2.0	1.8	0.39	-0.06	0.37	-2.7	1.9	0.43	0.08	0.20	-0.1	-13.1	-8.6	-110.7	
	Sim. Futuro	0.43	-4.6	2.6	0.30	0.50	0.51	-4.6	2.6	0.60	0.50	0.10	-3.0	-0.5	-7.7	-98.5	
Reg. Centro	Obs. Actual	0.40	-2.6	3.8	0.52	0.35	<i>0.13</i>	-1.5	0.6	-0.25	0.14	-0.27	5.1	5.7	0.5	26.8	
	Sim. Actual	0.15	-1.8	1.3	0.36	-0.27	0.28	-1.8	1.5	0.47	-0.06	0.12	<i>-5.0</i>	<i>-9.2</i>	<i>-2.6</i>	<i>-54.5</i>	
	Sim. Futuro	0.63	-6.6	4.9	0.49	0.70	0.65	-5.1	4.4	0.52	0.68	0.02	-2.9	-2.5	-2.2	-40.3	
ZONA SUR	Temuco	Obs. Actual	0.20	-0.5	2.8	<i>0.46</i>	0.05	<i>0.14</i>	-0.6	1.2	-0.64	-0.21	-0.05	2.3	5.8	-10.9	-19.4
		Sim. Actual	0.03	-1.1	0.0	0.04	0.15	0.36	-1.9	1.2	<i>1.08</i>	0.29	0.33	-3.2	-6.8	-8.8	-88.3
		Sim. Futuro	0.36	-3.8	1.1	0.20	0.20	0.53	-3.5	2.1	-0.20	0.40	0.20	4.5	6.6	-5.1	-71.6
	Valdivia	Obs. Actual	0.22	0.4	3.5	0.97	-0.36	0.15	-0.8	0.7	-0.22	<i>-0.88</i>	-0.07	3.7	-12.6	-3.7	-217.8
		Sim. Actual	0.05	-1.2	0.4	0.19	<i>0.40</i>	0.39	-1.6	1.1	1.44	-0.20	0.33	0.2	-1.8	-8.4	<i>-105.0</i>
		Sim. Futuro	0.39	-3.4	2.0	0.40	0.60	0.55	-4.0	2.4	-0.40	<i>0.30</i>	0.20	-6.6	-8.4	-5.0	-108.0
	Osorno	Obs. Actual	0.24	1.0	4.7	1.01	<i>-0.63</i>	0.12	-1.6	-0.1	-0.43	0.26	-0.11	-3.4	-8.9	-7.2	-128.4
		Sim. Actual	0.07	-1.5	0.5	0.16	<i>0.49</i>	0.36	-1.6	1.0	1.06	0.12	0.29	2.9	-0.4	-6.7	-67.5
		Sim. Futuro	0.40	-3.5	2.2	0.90	0.70	0.54	-3.9	2.4	-0.10	0.40	0.10	-4.4	-6.3	-5.2	-90.9
	Pto. Montt	Obs. Actual	0.10	-0.9	1.6	0.65	-0.17	<i>0.14</i>	-1.0	1.1	0.57	-0.15	0.03	-1.7	-12.8	-4.2	-197.0
		Sim. Actual	0.08	-1.4	1.0	0.18	0.24	0.16	-2.7	1.2	0.29	0.01	0.09	-4.5	-5.7	-7.7	-104.1
		Sim. Futuro	0.42	-5.4	3.9	0.80	0.40	0.45	-6.2	2.9	0.70	0.30	0.00	-5.0	-0.3	-6.3	-116.0
Reg. Sur	Obs. Actual	0.19	0.0	3.1	0.77	-0.28	0.14	-1.0	0.7	-0.18	-0.25	-0.05	0.2	-7.1	-6.3	-139.0	
	Sim. Actual	0.06	-1.3	0.5	0.14	0.32	0.32	1.9	1.1	0.97	0.05	0.26	-1.2	-3.7	-8.6	-95.8	
	Sim. Futuro	0.39	-4.0	2.3	0.58	0.49	0.52	-4.4	2.4	0.01	0.35	0.12	-2.9	-2.1	-5.4	-96.6	
ZONA AUSTRAL	Coyhaique	Obs. Actual	0.07	-0.7	0.0	-0.22	0.79	0.15	-0.5	0.3	<i>-0.74</i>	0.52	0.08	-6.7	-21.8	1.6	-144.0
		Sim. Actual	0.31	-1.6	2.2	0.26	0.77	0.54	-2.5	2.2	0.37	<i>0.75</i>	0.23	-0.9	-2.9	-4.9	-31.3
		Sim. Futuro	0.41	-2.3	2.4	1.40	0.50	0.51	-2.5	2.4	0.50	0.40	0.10	7.9	1.2	-3.1	10.7
	Balmaceda	Obs. Actual	0.04	0.3	0.4	0.23	0.25	<i>0.27</i>	<i>-1.4</i>	1.2	-0.72	0.39	0.23	-3.4	-16.5	-3.5	-94.5
		Sim. Actual	0.29	-1.5	2.2	<i>0.43</i>	1.63	0.50	-2.5	2.3	<i>0.70</i>	0.43	0.21	1.2	-6.4	-9.0	-110.4
		Sim. Futuro	0.45	-2.7	3.0	1.20	0.20	0.54	-2.3	2.7	0.30	0.20	0.10	2.8	-6.7	-4.9	-25.8
	Pta. Arenas	Obs. Actual	0.22	-1.8	1.6	0.35	0.51	0.12	-1.0	0.3	0.17	0.55	<i>-0.10</i>	1.4	4.3	-1.2	7.7
		Sim. Actual	0.22	<i>-1.2</i>	1.7	0.12	0.41	0.22	-1.5	1.7	-0.68	0.55	0.00	-2.0	-3.7	-1.5	-13.7
		Sim. Futuro	0.36	-2.1	3.7	0.50	0.00	0.38	-2.2	2.8	1.20	0.20	0.00	0.6	3.4	-0.2	-3.6
	Reg. Austral	Obs. Actual	0.11	-0.7	0.7	0.12	0.51	0.18	-1.0	0.6	-0.43	0.48	0.07	-6.9	-20.9	-2.0	-153.0
		Sim. Actual	0.27	-1.4	2.0	0.27	0.94	0.42	-2.1	2.1	0.13	0.58	0.15	-0.6	-4.3	-4.8	-51.1
		Sim. Futuro	0.41	-2.4	3.0	1.03	0.41	0.48	-2.3	2.6							

Tendencias de verano (DEF).

VERANO (DEF)		Ind. Temperatura										Ind. Precipitación					
Unidades por Decada		TN	TN10p	TN90p	TNx	TNn	TX	TX10p	TX90p	TXx	TXn	DTR	Rx1	Rx5	RND	Preptot	
		°C	%días	%días	°C	°C	°C	%días	%días	°C	°C	°C	mm	mm	días	mm	
ZONA NORTE	Arica	Obs. Actual	0.53	-5.3	6.7	0.35	0.44	0.19	-0.9	4.9	0.28	0.22	-0.35	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.44	-6.2	8.1	0.49	0.06	0.37	-4.5	4.0	0.49	0.17	-0.07	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.77	-9.4	11.1	0.73	0.42	0.57	-9.9	6.1	0.25	0.34	-0.20	-	-	-	-
	Iquique	Obs. Actual	0.48	-6.6	4.7	0.37	1.22	0.26	-5.5	3.0	0.29	0.40	-0.22	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.41	-4.8	5.4	0.33	0.14	0.31	-6.6	4.5	0.54	0.28	-0.09	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.74	-9.0	9.2	0.84	0.38	0.64	-9.4	9.2	0.37	0.35	-0.10	-	-	-	-
	Antofagasta	Obs. Actual	0.59	-5.0	8.3	0.51	0.37	-0.04	0.4	1.6	0.04	0.31	-0.63	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.30	-6.0	5.6	0.61	-0.07	0.31	-6.7	8.0	0.48	0.08	0.01	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.68	-8.4	8.3	0.90	0.20	0.67	-9.9	8.1	0.71	0.34	-0.01	-	-	-	-
	Copiapó	Obs. Actual	0.68	-5.0	4.6	0.15	1.19	-0.16	1.0	-2.7	0.05	-0.58	-0.84	0.1	0.1	0.0	0.1
		Sim. Actual	0.36	-5.2	5.0	0.52	0.11	0.36	-3.5	3.3	0.06	0.18	0.01	-0.1	-0.2	-0.5	-0.1
		Sim. Futuro	0.73	-8.6	6.9	0.64	0.30	0.83	0.9	6.9	0.47	0.53	0.10	0.0	0.0	-0.3	-0.1
Reg. Norte	Obs. Actual	0.57	-5.7	6.1	0.35	0.80	0.06	-1.2	1.7	0.17	0.09	-0.51	-	-	-	-	
	Sim. Actual	0.37	-5.5	6.0	0.49	0.06	0.34	-5.3	4.9	0.36	0.18	-0.04	-	-	-	-	
	Sim. Futuro	0.73	-8.9	8.9	0.78	0.33	0.67	-9.5	7.6	0.45	0.39	-0.05	-	-	-	-	
ZONA CENTRO	La Serena	Obs. Actual	0.44	-5.7	-7.0	0.36	0.33	0.06	-1.1	1.1	0.24	-0.31	-0.37	0.0	-0.1	0.1	0.1
		Sim. Actual	0.29	-4.5	3.8	0.56	0.02	0.28	-3.7	2.5	-0.05	-0.03	-0.01	-0.1	-0.1	0.0	-0.1
		Sim. Futuro	0.84	-19.6	7.4	0.83	0.48	0.63	-6.3	0.5	0.53	0.17	-0.21	0.2	0.3	0.1	0.3
	Valparaíso	Obs. Actual	0.26	-2.2	5.0	0.19	0.16	0.08	-4.1	-2.1	-0.49	0.29	-0.18	-1.1	-0.5	-0.3	-1.5
		Sim. Actual	0.35	-4.1	2.9	0.58	0.36	0.42	-4.1	3.7	0.68	0.31	0.08	-0.3	0.0	1.7	8.9
		Sim. Futuro	0.35	-9.1	9.0	0.99	0.85	0.84	-10.4	8.1	1.00	0.77	0.03	0.1	0.0	2.0	3.9
	Santiago	Obs. Actual	0.22	-2.1	2.6	0.36	0.47	0.32	-2.0	2.4	0.16	0.82	0.10	-0.7	-0.6	0.0	-0.3
		Sim. Actual	0.43	-5.6	2.5	0.55	0.51	0.54	-4.6	2.3	0.75	0.53	0.11	-0.3	-0.5	-0.4	-0.7
		Sim. Futuro	0.59	-7.9	3.6	0.56	0.23	0.46	-4.2	1.5	0.48	0.07	-0.13	0.1	0.2	0.1	0.1
	Curicó	Obs. Actual	0.83	-6.8	6.4	0.90	1.30	-0.03	-1.3	-1.9	-0.32	1.30	-0.85	-3.9	6.6	-0.6	-8.9
		Sim. Actual	0.33	-6.1	1.8	0.54	0.19	0.52	-3.6	1.8	0.70	0.52	0.19	-0.7	-1.4	-0.1	-0.9
		Sim. Futuro	0.57	-5.9	3.9	0.50	0.34	0.42	-3.4	2.3	0.33	0.35	-0.15	-0.3	-0.3	-0.1	-0.3
Chillán	Obs. Actual	0.39	-2.3	5.3	0.55	0.91	0.32	-2.6	1.0	-0.64	0.75	-0.07	-1.0	-4.5	0.0	-7.2	
	Sim. Actual	0.33	-3.9	1.4	0.48	0.02	0.65	4.4	2.3	0.76	0.88	0.32	-1.0	-1.6	-0.4	-2.1	
	Sim. Futuro	0.55	-5.9	2.3	0.57	0.39	0.43	-1.6	0.2	0.56	-0.02	-0.12	-0.4	-1.0	0.0	-0.8	
Concepción	Obs. Actual	0.35	-2.7	2.4	0.58	0.37	0.14	0.1	1.5	-0.13	-0.07	-0.21	-1.5	-6.9	-1.0	-9.0	
	Sim. Actual	0.39	-4.7	2.9	0.43	0.37	0.58	-4.5	2.0	0.73	0.52	0.19	-3.4	-1.3	-0.2	-4.4	
	Sim. Futuro	0.51	-6.4	2.6	0.20	0.26	0.45	-2.6	1.6	0.66	0.59	-0.06	-0.4	-1.5	-0.2	-1.0	
Reg. Centro	Obs. Actual	0.41	-3.6	4.8	0.49	0.59	0.15	-1.8	0.3	-0.20	0.47	-0.26	-1.4	-3.2	-0.3	-4.5	
	Sim. Actual	0.36	-4.0	3.1	0.56	0.39	0.37	-3.1	2.1	0.22	0.34	0.01	-0.6	-2.2	0.1	0.1	
	Sim. Futuro	0.65	-7.9	0.5	0.61	0.43	0.54	-4.8	3.3	0.59	0.32	-0.11	-0.1	-0.7	0.3	0.4	
ZONA SUR	Temuco	Obs. Actual	0.29	-1.9	3.2	0.60	0.18	0.39	-2.5	2.1	-0.38	0.52	0.10	-1.2	-7.5	-3.2	-14.9
		Sim. Actual	0.26	-3.1	0.9	0.08	0.51	0.66	-3.3	2.5	1.26	0.56	0.41	3.9	1.9	-1.2	-1.8
		Sim. Futuro	0.56	-6.5	0.8	0.16	0.20	0.48	-2.9	0.0	-0.04	0.13	-0.08	-2.8	-4.5	0.0	-5.4
	Valdivia	Obs. Actual	0.19	-1.5	3.4	1.02	0.41	0.47	-3.2	1.5	-0.14	0.04	0.28	-2.5	-9.9	-1.7	-23.9
		Sim. Actual	0.28	-3.6	1.7	0.13	0.33	0.78	-3.1	2.4	1.52	0.52	0.49	1.8	4.5	-0.6	-0.7
		Sim. Futuro	0.57	-6.1	1.7	0.42	0.33	0.58	-3.3	1.5	-0.12	0.73	0.01	-1.0	-2.6	0.0	-2.4
	Osorno	Obs. Actual	0.42	0.0	5.5	0.94	-0.41	0.40	-4.1	1.7	-0.30	0.50	-0.02	-0.6	-9.6	-2.3	-22.1
		Sim. Actual	0.21	-2.9	0.7	0.12	0.14	0.75	-3.9	2.6	1.22	0.34	0.54	-1.3	2.3	-0.8	-5.5
		Sim. Futuro	0.59	-6.4	3.2	0.87	0.41	0.60	-2.7	1.9	0.30	0.54	0.01	-1.2	-1.9	-0.2	-2.2
	Pto. Montt	Obs. Actual	0.18	-1.5	2.9	0.52	0.37	0.35	-2.4	2.7	0.53	0.13	0.17	0.1	-8.1	-0.9	-26.5
		Sim. Actual	0.15	-3.1	1.7	0.13	0.08	0.38	-5.9	3.7	0.22	0.09	0.24	-2.3	-5.3	-2.5	-29.8
		Sim. Futuro	0.59	-8.7	5.3	0.83	0.41	0.59	-8.0	2.7	0.78	0.29	0.00	-0.8	-4.6	-0.5	-14.7
Reg. Sur	Obs. Actual	0.27	-1.2	3.7	0.77	0.14	0.40	-3.1	2.0	-0.07	0.30	0.13	-1.1	-8.7	-2.0	-21.8	
	Sim. Actual	0.22	-3.2	1.3	0.11	0.26	0.64	-4.0	2.8	1.05	0.38	0.42	0.5	0.8	-2.1	-21.1	
	Sim. Futuro	0.58	-7.0	2.7	0.57	0.34	0.56	-4.2	1.5	0.23	0.43	-0.02	-1.5	-3.4	-0.1	-6.2	
ZONA AUSTRAL	Coyhaique	Obs. Actual	0.13	-0.7	1.0	-0.06	0.11	0.49	-3.2	0.6	-0.51	0.61	0.36	-11.7	-20.1	-0.2	-67.9
		Sim. Actual	0.25	-0.7	3.0	0.31	-0.06	0.65	-3.4	1.7	0.43	0.33	0.40	0.0	-0.2	-0.5	-0.4
		Sim. Futuro	0.69	-3.1	4.5	1.46	0.48	0.85	-2.8	3.3	0.77	0.76	0.16	7.3	7.5	0.1	15.7
	Balmaceda	Obs. Actual	0.22	-0.8	1.9	0.34	-0.03	0.49	-3.5	0.3	-0.61	0.91	0.27	-1.3	-3.5	-0.6	-11.2
		Sim. Actual	0.21	-1.1	2.8	0.46	0.11	0.72	-2.6	2.5	0.65	0.46	0.51	-2.8	-6.0	-3.0	-34.1
		Sim. Futuro	0.75	-3.9	4.9	1.17	0.44	0.81	-2.6	3.3	0.44	0.62	0.06	7.1	5.1	0.4	18.0
	Pta. Arenas	Obs. Actual	0.29	-3.5	1.2	0.37	0.26	0.14	-2.0	0.0	0.27	-0.02	-0.15	-1.0	-0.6	-0.6	-2.0
		Sim. Actual	0.03	-0.8	-0.2	-0.12	0.06	0.00	1.3	0.5	-0.52	-0.15	-0.04	-1.1	-0.4	-1.0	-6.5
		Sim. Futuro	0.44	-2.7	4.4	0.61	0.08	0.61	-4.0	4.1	1.48	0.47	0.17	0.4	0.3	-0.3	-1.6
	Reg. Austral	Obs. Actual	0.22	-1.7	1.4	0.22	0.11	0.38	-2.9	0.3	-0.28	0.50	0.16	-4.7	-8.0	-0.7	-27.0
		Sim. Actual	0.16	-0.9	2.0	0.22	0.03	0.46	-1.6	1.6	0.18	0.21	0.29	-1.3	-2.2	-2.8	-22.6
		Sim. Futuro	0.63	-3.2	4.6	1.08	0.33	0.76	-3.1	3.6	0.90	0.62	0.13	4.9	4.3	0.1	10.7

Tendencias de otoño (MAM).

OTOÑO (MAM)			Ind. Temperatura								Ind. Rango	Ind. Precipitación					
Unidades por Decada			TN	TN10p	TN90p	TNx	TNn	TX	TX10p	TX90p	TXx	TXn	DTR	Rxl	Rx5	RND	Preptot
			°C	%días	%días	°C	°C	°C	%días	%días	°C	°C	°C	mm	mm	días	mm
ZONA NORTE	Arica	Obs. Actual	0.51	-4.6	5.8	0.48	0.70	0.25	-1.5	5.6	0.00	0.44	-0.26	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.42	-6.2	6.7	0.53	0.53	0.10	-0.8	1.6	-0.16	-0.02	-0.32	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.11	-13.3	12.9	0.87	1.41	0.49	-8.1	4.1	0.23	0.72	-0.62	-	-	-	-
	Iquique	Obs. Actual	0.51	-7.6	4.8	0.53	0.80	0.36	-5.6	3.8	0.18	0.27	-0.14	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.33	-5.1	5.2	0.51	0.38	0.25	-5.1	4.0	0.29	0.02	-0.08	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.00	-11.5	11.4	0.95	1.17	0.75	-11.7	8.5	1.04	0.88	-0.25	-	-	-	-
	Antofagasta	Obs. Actual	0.55	-3.5	7.6	0.78	0.33	0.04	1.3	2.1	0.07	0.07	-0.50	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.35	-5.0	4.1	0.22	0.36	0.29	-5.8	4.8	0.21	0.11	-0.06	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.06	-13.0	10.1	0.97	1.04	0.79	-10.9	8.6	0.91	0.87	-0.27	-	-	-	-
	Copiapó	Obs. Actual	0.59	-4.6	2.7	0.27	0.43	0.01	0.2	-0.4	-0.35	-0.18	-0.58	1.3	1.6	0.4	1.7
		Sim. Actual	0.34	-3.7	2.6	0.42	-0.03	0.08	-1.0	0.8	0.07	-0.16	-0.26	-2.1	-2.3	0.8	0.7
		Sim. Futuro	0.96	-8.5	7.3	1.26	1.12	0.35	-1.7	3.5	0.69	0.16	-0.61	0.9	1.6	0.7	0.7
Reg. Norte	Obs. Actual	0.54	-5.1	5.2	0.51	0.57	0.17	-1.4	2.8	0.03	0.15	-0.37	-	-	-	-	
	Sim. Actual	0.36	-5.0	4.6	0.42	0.31	0.18	-3.2	2.8	0.03	-0.01	-0.18	-	-	-	-	
	Sim. Futuro	1.03	-11.6	10.4	1.01	1.18	0.60	-8.1	6.2	0.72	0.66	-0.44	-	-	-	-	
ZONA CENTRO	La Serena	Obs. Actual	0.41	-3.0	4.8	0.46	0.09	0.26	-2.4	1.8	0.17	0.33	-0.15	2.9	3.4	0.6	4.3
		Sim. Actual	0.31	-1.2	3.0	0.02	-0.09	0.16	-2.3	-0.1	0.10	0.39	-0.15	-4.8	-6.3	-0.5	-6.7
		Sim. Futuro	0.96	-10.5	5.9	0.25	0.87	0.44	-3.9	3.8	0.04	0.35	-0.53	-2.2	-2.3	0.4	-2.2
	Valparaíso	Obs. Actual	0.15	0.4	3.1	0.07	-0.24	0.14	-5.6	-2.6	-0.78	0.93	-0.02	9.8	16.9	1.2	36.2
		Sim. Actual	0.23	-2.1	1.6	0.40	0.32	0.17	-2.4	1.8	0.66	0.27	-0.05	-8.8	-12.0	2.6	-2.5
		Sim. Futuro	0.23	-11.4	9.7	1.00	0.86	0.99	-11.4	9.3	0.76	1.01	0.00	3.9	9.9	-0.6	16.1
	Santiago	Obs. Actual	0.21	-0.2	3.3	0.24	-0.26	-0.18	0.8	-0.8	0.15	-0.30	-0.39	6.8	9.7	1.1	20.0
		Sim. Actual	0.36	-2.6	2.3	0.25	0.16	0.23	-1.9	1.4	0.53	0.85	-0.13	-4.4	-6.6	0.0	-11.5
		Sim. Futuro	0.75	-6.3	5.0	1.11	0.24	0.26	-0.8	2.0	0.37	-0.13	-0.49	3.6	6.3	1.8	16.6
	Curicó	Obs. Actual	0.83	-4.6	3.7	0.46	0.78	-0.34	0.8	-1.9	-0.36	-0.51	-1.17	1.4	1.0	1.6	20.3
		Sim. Actual	0.22	-2.3	1.2	0.45	-0.01	0.42	-2.8	2.4	1.07	0.57	0.20	2.2	-3.1	-0.9	-10.1
		Sim. Futuro	0.56	-4.4	4.2	0.87	0.52	0.41	-2.0	2.7	0.96	0.22	-0.15	3.4	11.6	1.1	25.9
	Chillán	Obs. Actual	0.44	3.5	3.5	0.76	0.53	-0.08	-0.8	-1.3	-0.23	0.08	-0.52	9.4	17.6	2.9	72.4
		Sim. Actual	0.16	0.9	1.9	1.02	0.82	0.88	-4.1	3.9	1.65	0.05	0.66	-11.0	-21.5	-4.2	-74.5
		Sim. Futuro	0.47	-4.8	2.7	1.22	-0.02	0.69	-3.5	2.9	0.16	0.41	0.22	0.7	6.0	-0.7	1.3
	Concepción	Obs. Actual	0.26	-2.0	2.2	0.36	0.36	0.01	0.5	0.5	-0.33	0.28	-0.24	1.8	6.8	1.8	38.7
		Sim. Actual	0.21	-2.4	1.8	0.70	-0.05	0.62	-4.8	4.2	1.17	-0.06	0.41	-2.2	-9.4	-4.7	-66.0
		Sim. Futuro	0.46	-4.4	4.1	1.12	-0.10	0.61	-4.4	3.7	1.11	0.32	0.15	-5.0	5.8	-1.6	-12.8
Reg. Centro	Obs. Actual	0.38	-1.9	3.4	0.39	0.21	-0.03	-1.1	-0.7	-0.23	0.14	-0.41	5.4	9.2	1.6	32.0	
	Sim. Actual	0.30	-2.0	2.3	0.37	0.21	0.15	-1.7	0.9	0.30	0.41	-0.15	-0.8	-0.6	-1.3	-28.6	
	Sim. Futuro	0.70	-7.0	5.3	0.93	0.40	0.56	-4.3	4.1	0.81	0.36	-0.13	0.7	6.2	0.1	7.5	
ZONA SUR	Temuco	Obs. Actual	0.23	0.1	2.6	0.53	0.17	-0.05	0.2	0.6	-0.25	0.13	-0.29	3.9	3.6	-0.8	20.0
		Sim. Actual	-1.03	-1.3	0.1	0.23	-0.40	0.69	-4.1	2.8	0.58	0.15	0.72	-5.3	-10.1	-4.8	-64.1
		Sim. Futuro	0.49	-3.6	3.4	1.48	-0.03	0.85	-3.9	4.4	1.03	0.35	0.36	5.2	2.3	-1.5	-21.1
	Valdivia	Obs. Actual	0.22	1.0	3.1	0.76	-0.35	-0.03	0.5	0.3	-0.40	0.03	-0.26	-4.6	-23.6	0.6	-31.0
		Sim. Actual	-0.04	-1.0	0.2	0.23	0.10	0.67	-2.9	2.9	0.48	0.14	0.71	-5.0	-6.4	-4.7	-80.3
		Sim. Futuro	0.45	-2.5	4.0	1.08	-0.03	0.76	-3.4	4.3	0.98	0.55	0.32	-11.1	-19.0	-2.0	-48.1
	Osorno	Obs. Actual	0.14	0.9	4.5	0.90	-0.82	-0.06	-0.3	-9.6	-0.28	0.04	-0.21	-4.7	-9.2	-0.2	-5.9
		Sim. Actual	0.00	-1.1	0.4	0.38	0.65	-3.00	-3.0	3.2	0.88	0.13	0.65	-1.2	-5.4	-4.4	-57.6
		Sim. Futuro	0.43	-2.8	2.8	0.79	0.06	0.71	-3.3	3.8	0.81	0.41	0.27	-9.1	-18.1	-2.3	-38.7
Pto. Montt	Obs. Actual	0.08	-0.9	0.9	0.39	0.26	-0.05	-0.2	0.1	-0.20	0.01	-0.13	-2.8	-11.0	1.0	-36.3	
	Sim. Actual	0.06	-1.5	1.8	0.39	-0.06	0.28	-3.3	2.8	0.51	-0.01	0.22	-8.0	-11.0	-5.7	-109.5	
	Sim. Futuro	0.43	-4.5	4.9	0.86	0.05	0.48	-4.9	4.7	0.72	0.14	0.05	-11.9	-14.5	-3.0	-46.6	
Reg. Sur	Obs. Actual	0.17	0.3	2.8	0.64	-0.19	-0.05	0.1	0.0	-0.28	0.05	-0.22	-2.1	-10.1	0.2	-13.3	
	Sim. Actual	0.00	-1.2	0.6	0.31	-0.07	0.57	-3.3	2.9	0.61	0.10	0.57	-4.9	-8.2	-2.9	-38.4	
	Sim. Futuro	0.45	-3.4	3.8	1.05	0.02	0.70	-3.9	4.3	0.88	0.36	0.25	-6.7	-12.3	-2.2	-38.6	
ZONA AUSTRAL	Coyhaique	Obs. Actual	-0.01	-0.2	-0.4	0.07	0.02	-0.05	1.1	-0.8	-0.65	-0.13	-0.04	-18.6	-39.9	-0.6	-143.0
		Sim. Actual	0.21	-0.7	2.1	0.83	-0.05	0.61	-2.4	2.7	1.05	0.37	0.39	-2.6	-5.3	-0.8	-5.9
		Sim. Futuro	0.14	-0.9	1.2	0.60	-0.36	0.50	-1.5	3.2	1.22	0.08	0.36	-1.6	-3.7	-3.1	-23.7
	Balmaceda	Obs. Actual	-0.17	1.6	-0.2	0.00	0.10	0.11	0.0	-0.2	-0.70	0.83	0.28	-2.1	-8.7	-0.8	-30.6
		Sim. Actual	0.15	-0.2	2.4	0.62	0.09	0.62	-2.8	2.3	1.02	0.08	0.47	-4.6	-16.8	-4.8	-68.3
		Sim. Futuro	0.18	-0.8	2.7	0.76	0.18	0.52	-1.7	3.8	1.05	0.18	0.35	-0.3	-2.0	-4.1	-17.0
	Pta. Arenas	Obs. Actual	0.13	-0.5	1.8	0.17	0.33	0.02	0.0	1.1	0.02	0.30	-0.12	-0.1	-0.1	-1.4	-6.0
Sim. Actual		0.28	-1.0	2.2	0.64	-0.02	0.39	-2.5	3.8	1.09	-0.28	0.11	-3.4	-7.7	-2.7	-26.2	
Sim. Futuro		0.30	-1.8	3.8	0.90	-0.23	0.25	-1.4	2.1	0.31	-0.09	-0.05	-1.5	-1.2	-0.5	-3.8	
Reg. Austral	Obs. Actual	-0.02	0.3	0.4	0.08	0.15	0.03	0.3	0.0	-0.44	0.33	0.04	-6.8	-16.2	-1.1	-59.7	
	Sim. Actual	0.21	-0.6	2.2	0.70	0.01	0.54	-2.6	2.9	1.05	0.06	0.32	-3.6	-9.9	-2.0	-27.2	
	Sim. Futuro	0.21	-1.1	2.6	0.75	-0.14	0.42	-1.5	3.0	0.86	0.06	0.22	-1.2	-2.3	-2.5	-14.8	

Tendencias de invierno (JJA).

INVIERNO (JJA)			Ind. Temperatura										Ind. Rango	Ind. Precipitación			
Unidades por Decada			TN	TN10p	TN90p	TNx	TNn	TX	TX10p	TX90p	TXx	TXn	DTR	Rx1	Rx5	RND	Preptot
			°C	%días	%días	°C	°C	°C	%días	%días	°C	°C	°C	mm	mm	días	mm
ZONA NORTE	Arica	Obs. Actual	0.64	-3.0	7.3	<i>0.39</i>	0.60	0.26	-3.9	2.1	0.16	0.32	-0.38	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.28	-2.2	4.7	0.53	-0.02	<i>-0.31</i>	1.7	-1.3	-0.15	-0.28	-0.59	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.18	-11.2	11.3	1.20	0.84	0.72	-6.0	4.0	0.41	0.52	-0.45	-	-	-	-
	Iquique	Obs. Actual	0.40	-4.3	3.1	-0.10	1.01	0.15	-4.3	-0.6	0.19	<i>0.33</i>	-0.25	-	-	-	-
		Sim. Actual	<i>0.20</i>	-2.5	3.5	0.36	0.10	-0.07	0.6	0.1	-0.20	0.01	-0.27	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.15	-10.7	10.8	1.15	0.93	0.88	-10.0	7.6	0.93	0.76	-0.27	-	-	-	-
	Antofagasta	Obs. Actual	0.69	-3.8	8.9	0.55	<i>0.40</i>	0.04	-2.1	0.1	0.07	0.28	-0.65	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.12	-1.6	2.2	0.06	0.06	-0.02	1.0	1.1	-0.28	-0.04	-0.14	-	-	-	-
		Sim. Futuro	1.13	-11.2	10.2	1.34	0.90	0.97	-8.1	9.0	1.00	0.54	-0.16	-	-	-	-
	Copiapó	Obs. Actual	0.60	-5.4	2.7	-0.07	0.69	0.00	0.1	0.5	0.39	-0.02	-0.60	2.3	-0.1	-0.1	3.1
		Sim. Actual	-0.14	1.0	-0.3	-0.29	0.04	-0.21	1.4	<i>-1.7</i>	<i>-0.63</i>	-0.38	-0.07	0.3	0.2	0.1	-1.4
		Sim. Futuro	1.01	-6.6	5.9	0.60	0.96	0.72	-3.4	4.1	1.15	<i>0.65</i>	-0.29	2.8	4.8	1.0	-1.4
Reg. Norte	Obs. Actual	0.58	-4.1	5.5	0.19	0.68	0.11	-2.5	0.5	0.23	<i>0.22</i>	-0.47	-	-	-	-	
	Sim. Actual	0.12	-1.3	2.5	0.16	0.05	-0.15	1.2	-0.5	-0.25	-0.17	-0.27	-	-	-	-	
	Sim. Futuro	1.12	-10.0	9.6	1.08	0.91	0.82	-6.9	6.2	0.87	0.62	-0.29	-	-	-	-	
ZONA CENTRO	La Serena	Obs. Actual	0.46	-4.1	3.6	0.14	0.62	0.12	-0.1	0.9	0.81	0.06	-0.34	4.3	5.7	-0.9	-3.3
		Sim. Actual	<i>-0.29</i>	2.8	-2.5	-0.47	-0.51	0.02	0.2	-0.5	<i>-0.64</i>	-0.22	0.31	-4.8	-5.4	-0.8	-7.9
		Sim. Futuro	0.82	-7.1	4.9	0.49	0.87	0.81	-6.4	4.3	0.43	1.02	-0.02	-4.2	-3.1	-0.6	-3.2
	Valparaíso	Obs. Actual	0.11	-0.4	1.7	-0.01	0.02	0.18	-6.0	-0.6	-0.25	0.70	0.07	-1.7	-5.5	-0.7	-12.2
		Sim. Actual	<i>-0.26</i>	1.6	-0.8	-0.02	-0.34	-0.02	1.8	-0.4	-0.18	0.04	0.25	0.3	0.9	-0.5	-30.5
		Sim. Futuro	0.98	-9.9	10.9	1.05	1.18	0.98	-11.2	10.7	0.60	1.19	0.06	-3.4	-3.1	-1.4	-29.7
	Santiago	Obs. Actual	0.23	-0.5	1.8	0.34	0.01	<i>0.28</i>	-1.3	2.9	1.30	<i>0.22</i>	0.05	3.0	10.8	0.8	20.1
		Sim. Actual	-0.38	<i>1.9</i>	-2.3	0.00	-0.43	0.01	0.9	0.5	-0.02	-0.11	0.39	0.4	1.3	-2.7	-30.5
		Sim. Futuro	0.65	-4.1	3.5	0.11	0.79	0.87	-4.6	5.1	0.72	0.66	0.22	-4.5	-3.5	-0.3	-18.7
	Curicó	Obs. Actual	0.73	-4.3	3.0	0.66	0.87	-0.01	0.0	2.2	-0.11	-0.02	-0.74	-4.3	-13.3	0.4	-14.5
		Sim. Actual	-0.45	2.0	-1.9	<i>-0.34</i>	-0.18	-0.12	1.3	-0.7	-0.35	-0.09	0.33	-4.4	-3.2	-1.0	-37.4
		Sim. Futuro	0.33	-2.8	2.2	0.05	0.72	0.83	-6.7	4.0	0.85	0.56	0.50	-5.3	-5.1	-2.8	-61.3
Chillán	Obs. Actual	<i>0.32</i>	-1.0	2.5	<i>0.44</i>	<i>0.07</i>	0.05	0.5	0.6	-0.25	-0.21	<i>-0.28</i>	7.8	20.1	-0.4	28.5	
	Sim. Actual	-0.37	-1.6	-2.5	-0.17	-0.19	-0.04	0.4	-0.4	0.01	-0.13	<i>0.33</i>	-9.9	-25.7	-2.3	-65.4	
	Sim. Futuro	0.29	-3.5	0.8	0.08	0.45	0.72	-6.4	3.4	0.63	0.52	0.43	-1.2	-8.8	-3.4	-77.8	
Concepción	Obs. Actual	0.30	-1.5	1.8	0.28	0.27	0.16	0.5	2.4	0.89	0.16	-0.14	3.7	3.7	-1.5	-17.4	
	Sim. Actual	-0.18	0.9	0.2	-0.01	-0.03	0.01	0.6	0.0	0.05	0.08	0.20	-1.6	-3.1	-3.0	-57.2	
	Sim. Futuro	0.33	-3.5	1.5	0.22	0.53	0.56	-6.7	4.0	0.80	0.56	0.23	-3.1	-10.3	-4.6	-83.7	
Reg. Centro	Obs. Actual	0.36	-2.0	<i>2.4</i>	<i>0.31</i>	0.31	0.13	<i>-1.1</i>	1.1	0.44	0.15	-0.23	2.1	3.6	-0.4	0.2	
	Sim. Actual	-0.13	0.9	-0.5	-0.02	-0.19	0.02	0.9	0.3	-0.05	-0.08	0.15	0.5	2.9	-1.7	-38.2	
	Sim. Futuro	0.57	-5.2	4.0	<i>0.33</i>	0.75	0.80	-7.0	5.2	0.67	0.75	0.24	-3.6	-5.7	-2.2	-45.7	
ZONA SUR	Temuco	Obs. Actual	0.08	0.3	3.0	0.49	-0.40	0.07	0.1	1.4	0.32	-0.22	-0.01	0.1	-1.4	-3.7	-15.1
		Sim. Actual	-0.26	0.1	-0.6	0.12	0.21	1.13	0.3	-0.5	0.21	0.24	0.18	-1.8	-1.9	-2.4	-18.1
		Sim. Futuro	<i>0.20</i>	<i>-1.9</i>	0.2	0.00	0.21	0.53	-4.9	3.3	<i>0.70</i>	0.39	0.33	-1.2	-3.3	-4.0	-48.8
	Valdivia	Obs. Actual	0.13	2.6	3.8	0.35	-0.56	0.01	0.8	0.4	<i>0.44</i>	-0.90	-0.13	1.7	-7.4	-2.0	-135.0
		Sim. Actual	-0.22	0.6	-0.4	0.07	0.43	-0.07	1.0	-0.6	0.19	-0.22	0.15	1.7	-1.7	-2.5	-23.6
		Sim. Futuro	0.29	-2.6	<i>1.9</i>	0.05	0.58	0.50	-5.6	3.3	0.76	0.31	<i>0.21</i>	-1.1	-4.7	-2.8	-67.0
	Osorno	Obs. Actual	0.11	2.0	4.5	0.36	<i>-0.64</i>	0.10	-1.3	-0.2	-0.04	0.26	-0.01	-1.7	-7.0	-3.2	-82.7
		Sim. Actual	-0.16	-0.6	-0.4	-0.13	<i>0.47</i>	-0.05	0.7	-1.5	0.09	0.12	0.11	0.4	1.9	-1.6	-11.2
		Sim. Futuro	0.34	-3.0	1.8	0.07	0.70	0.47	-5.5	3.9	0.48	0.46	0.13	-4.5	-3.1	-2.0	-53.8
	Pto. Montt	Obs. Actual	-0.03	0.4	0.9	-0.05	-0.17	0.06	0.3	1.1	0.14	-0.25	0.09	-3.6	<i>-10.6</i>	-2.7	-86.4
		Sim. Actual	-0.02	-0.4	0.2	-0.19	0.26	-0.06	-0.5	-1.7	-0.12	0.00	-0.04	1.4	-1.6	-0.6	28.0
		Sim. Futuro	0.36	-4.3	2.8	<i>0.24</i>	0.54	0.36	-6.1	2.9	0.39	0.34	0.00	-2.5	-3.4	-1.6	-49.7
Reg. Sur	Obs. Actual	0.07	1.3	3.0	0.29	<i>-0.44</i>	0.06	0.0	0.7	0.22	-0.28	-0.02	-0.9	-6.6	-2.9	-79.7	
	Sim. Actual	-0.17	-0.1	-0.3	-0.03	0.34	-0.07	0.6	-1.1	0.09	0.04	0.10	0.4	-0.8	<i>-3.1</i>	-34.8	
	Sim. Futuro	0.30	-3.0	<i>1.7</i>	0.09	0.51	0.47	-5.5	3.3	<i>0.58</i>	0.37	<i>0.17</i>	-2.3	-3.6	-2.6	-54.8	
ZONA AUSTRAL	Coyhaique	Obs. Actual	0.04	-0.4	-1.2	-0.26	0.90	0.06	0.3	0.9	0.37	0.68	0.02	-16.0	-43.5	1.0	-128.0
		Sim. Actual	0.52	-2.9	3.2	0.81	0.88	0.52	-2.6	2.6	0.65	<i>0.73</i>	0.00	-4.6	-5.2	-2.8	-22.1
		Sim. Futuro	0.43	-2.6	2.4	-0.06	0.49	0.52	-4.8	2.3	0.51	0.41	0.09	6.0	3.6	-1.4	5.4
	Balmaceda	Obs. Actual	0.17	0.0	0.9	0.13	0.34	0.39	-1.1	3.3	0.49	0.36	0.22	-5.9	-17.6	-2.2	-46.0
		Sim. Actual	0.56	-3.2	2.1	0.18	1.63	0.42	-2.9	4.2	0.41	0.57	<i>-0.14</i>	3.9	7.0	-0.1	5.1
		Sim. Futuro	0.49	-3.3	2.2	0.47	0.68	0.59	-3.2	2.9	0.86	0.23	0.10	-1.0	-8.8	-1.3	-26.6
	Pta. Arenas	Obs. Actual	0.26	-1.7	1.5	0.33	0.84	0.12	-0.4	0.4	0.32	0.55	-0.14	1.4	<i>4.1</i>	0.2	3.7
		Sim. Actual	0.40	-1.6	3.3	0.62	0.38	0.39	-3.8	2.3	0.09	0.61	-0.01	1.2	<i>4.0</i>	1.4	8.8
		Sim. Futuro	0.45	-2.1	3.5	0.18	0.27	0.41	-2.2	3.2	0.23	0.23	-0.03	1.1	0.3	0.4	-0.1
	Reg. Austral	Obs. Actual	0.15	-0.7	0.4	0.07	0.70	0.19	-0.4	1.5	0.40	0.53	0.04	-6.8	-19.1	-0.8	-56.7
		Sim. Actual	0.49	-2.6	2.9	0.54	0.96	0.44	-3.1	3.0	0.38	0.64	-0.05	0.2	1.9	0.0	10.1
		Sim. Futuro	0.45	-2.7	2.7	0.20	0.48	0.51	-3.4	2.8	0.53	<i>0.29</i>	0.05	2.0	-1.7	-0.8	-7.1

Tendencias de primavera (SON).

PRIMAVERA (SON)			Ind. Temperatura								Ind. Rango	Ind. Precipitación					
Unidades por Decada			TN	TN10p	TN90p	TNx	TNn	TX	TX10p	TX90p	TXx	TXn	DTR	Rx1	Rx5	RND	Preptot
			°C	%días	%días	°C	°C	%días	%días	°C	°C	°C	°C	mm	mm	días	mm
ZONA NORTE	Arica	Obs. Actual	0.47	-0.4	8.4	0.46	0.06	0.28	-3.3	5.1	0.27	0.38	-0.19	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.29	-2.5	4.2	0.39	0.22	0.03	-1.8	0.1	0.12	0.45	-0.26	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.89	-8.4	12.6	0.94	0.89	0.63	-6.9	5.9	0.81	0.63	-0.26	-	-	-	-
	Iquique	Obs. Actual	0.27	-4.0	3.9	0.08	0.62	0.28	-7.1	1.8	-0.05	0.14	0.01	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.31	-3.3	5.5	0.37	0.31	0.30	-4.2	3.1	0.61	0.30	-0.01	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.80	-8.1	11.7	0.76	0.86	0.65	-9.0	5.5	0.65	0.87	-0.15	-	-	-	-
	Antofagasta	Obs. Actual	0.68	-4.8	9.9	0.68	0.02	0.12	-2.6	2.3	0.08	0.20	-0.55	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.25	-3.1	3.5	0.20	0.27	0.23	-4.1	2.5	0.18	0.29	-0.02	-	-	-	-
		Sim. Futuro	0.79	-9.1	10.3	0.81	0.91	0.79	-8.0	8.4	1.18	0.79	0.00	-	-	-	-
	Copiapó	Obs. Actual	0.58	-5.2	4.6	0.39	0.88	-0.04	0.6	-1.4	-0.24	-0.12	-0.62	-0.9	-1.2	0.0	-0.9
		Sim. Actual	0.26	-2.4	3.5	0.14	0.67	0.14	-0.8	1.4	0.01	0.44	-0.12	0.2	0.3	0.3	0.0
		Sim. Futuro	0.81	-7.3	8.0	0.82	0.92	0.80	-4.5	6.1	1.46	0.51	-0.01	0.5	0.5	0.3	0.0
Reg. Norte	Obs. Actual	0.50	-3.6	6.7	0.40	0.39	<i>0.16</i>	-3.1	1.9	0.05	0.15	-0.34	-	-	-	-	
	Sim. Actual	0.28	-2.8	4.2	0.27	0.36	0.18	-2.7	1.8	0.25	0.37	-0.10	-	-	-	-	
	Sim. Futuro	0.82	-8.3	10.6	0.83	0.90	0.72	-7.1	6.5	1.02	0.70	-0.10	-	-	-	-	
ZONA CENTRO	La Serena	Obs. Actual	0.46	-4.8	7.0	0.46	0.77	0.18	-0.9	1.7	-0.02	0.38	-0.28	-3.9	-7.7	-0.7	-6.6
		Sim. Actual	0.30	3.2	2.4	0.66	0.34	<i>-1.60</i>	-0.7	1.8	0.51	-0.13	-0.15	0.7	1.3	0.5	1.8
		Sim. Futuro	0.85	-9.0	7.5	1.08	0.98	0.74	-3.9	5.9	1.23	0.84	-0.11	0.0	-0.2	0.2	0.1
	Valparaíso	Obs. Actual	0.29	<i>-3.4</i>	<i>3.0</i>	-0.39	0.49	0.21	-5.9	-1.2	-0.59	0.75	-0.08	1.6	-2.0	-0.3	-0.9
		Sim. Actual	0.31	-2.3	2.5	0.99	0.47	0.20	-0.8	1.4	1.13	-0.29	-0.12	5.0	11.7	-0.2	8.8
		Sim. Futuro	0.89	-10.1	11.9	0.93	0.94	0.89	-9.8	10.9	1.16	1.01	0.01	-2.6	-1.5	0.1	-1.7
	Santiago	Obs. Actual	0.31	-1.2	4.2	0.54	0.45	0.38	-1.3	2.4	0.57	-0.16	0.07	1.5	-0.3	0.3	0.4
		Sim. Actual	0.39	-3.0	3.8	0.90	0.04	0.29	0.1	2.0	0.79	-0.40	-0.10	4.7	8.4	1.0	11.5
		Sim. Futuro	0.47	-4.4	3.8	0.37	0.38	0.66	-2.8	3.7	0.66	1.18	0.19	-2.9	-3.3	0.2	-4.9
	Curicó	Obs. Actual	0.78	-4.3	4.8	0.52	0.96	0.12	-1.0	0.3	-0.04	0.75	-0.66	5.0	3.9	-1.1	-4.9
		Sim. Actual	0.27	-1.6	2.4	0.65	0.33	0.16	0.0	1.0	0.92	-0.12	-0.11	4.1	13.0	<i>1.9</i>	<i>19.5</i>
		Sim. Futuro	0.48	-4.9	3.5	0.47	0.45	0.72	-2.9	4.4	0.37	0.74	0.24	0.4	-1.0	-0.1	-2.5
Chillán	Obs. Actual	0.38	-0.1	4.5	0.44	0.05	0.28	-1.2	2.3	0.07	-0.04	-0.11	5.2	4.2	-0.3	9.8	
	Sim. Actual	0.27	-1.4	2.1	0.44	0.29	0.16	-0.8	1.4	0.85	0.14	-0.11	5.5	12.4	0.7	18.4	
	Sim. Futuro	0.42	-5.2	1.9	0.05	0.72	0.49	-1.8	2.1	0.17	0.44	0.07	-1.0	-0.7	-0.2	-0.6	
Concepción	Obs. Actual	0.41	-4.0	2.4	-0.02	0.51	0.21	-1.3	2.8	0.37	0.45	-0.20	4.5	1.8	-0.1	-4.2	
	Sim. Actual	0.23	-1.6	2.0	0.43	0.25	<i>0.24</i>	-2.4	1.2	<i>0.64</i>	0.22	0.01	4.2	13.7	-0.6	18.0	
	Sim. Futuro	0.39	-5.9	2.4	0.23	0.59	0.42	-4.8	1.4	0.27	0.40	0.02	0.2	1.0	-1.0	0.0	
Reg. Centro	Obs. Actual	0.44	-3.0	4.3	<i>0.26</i>	0.53	0.23	-2.0	1.5	0.12	0.37	-0.21	2.3	0.0	-0.4	-1.1	
	Sim. Actual	0.34	-2.4	3.0	0.60	0.29	0.21	-0.8	1.9	0.69	-0.07	-0.13	4.0	6.7	0.5	13.0	
	Sim. Futuro	0.58	-6.6	5.2	0.52	0.68	0.65	-4.3	4.7	0.64	0.77	0.07	-1.0	-0.9	-0.1	-1.6	
ZONA SUR	Temuco	Obs. Actual	0.14	-0.4	2.3	0.16	0.32	0.15	0.1	0.7	<i>0.68</i>	0.36	0.01	-0.5	0.8	-3.1	-10.4
		Sim. Actual	0.08	-0.1	-0.6	0.13	<i>0.33</i>	0.09	-1.2	-0.3	0.48	-0.03	0.01	-4.6	2.6	-0.3	-1.9
		Sim. Futuro	0.19	-3.1	0.4	-0.11	0.19	<i>0.27</i>	-2.2	0.7	0.31	0.14	0.08	-1.3	-2.7	0.3	4.3
	Valdivia	Obs. Actual	0.29	-0.6	3.3	0.91	-0.17	0.20	-1.7	1.1	0.35	0.51	-0.03	-0.4	-11.9	-0.5	-33.0
		Sim. Actual	0.12	-0.9	0.1	0.31	<i>0.36</i>	0.09	-1.3	-0.3	0.38	0.01	-0.03	-2.4	8.2	-0.5	4.3
		Sim. Futuro	0.22	-2.4	0.7	-0.27	<i>0.33</i>	0.33	-3.9	0.9	0.11	0.44	0.11	3.2	1.0	-0.4	10.3
	Osorno	Obs. Actual	0.21	1.4	3.8	<i>0.59</i>	-0.43	-0.03	-1.5	-0.7	0.03	0.32	-0.12	-3.3	<i>-8.0</i>	-1.2	-17.3
		Sim. Actual	0.16	-1.5	<i>1.2</i>	0.47	0.39	0.03	-0.5	-0.6	0.24	0.12	-0.13	0.4	6.6	0.5	8.0
		Sim. Futuro	0.23	-2.2	1.2	-0.33	<i>0.35</i>	0.35	-3.7	0.6	0.44	0.55	0.12	2.8	3.6	-0.8	4.7
	Pto. Montt	Obs. Actual	0.15	-1.3	1.4	0.10	-0.15	0.19	-1.8	0.6	0.20	0.12	0.04	-3.7	-8.2	-1.0	-39.6
		Sim. Actual	0.09	-0.9	0.2	0.25	0.26	0.01	-1.3	-0.2	0.05	0.10	-0.08	-3.0	3.9	2.0	14.4
		Sim. Futuro	0.28	-4.3	2.8	0.18	0.23	0.32	-5.6	1.6	0.33	0.39	0.04	6.0	9.3	-0.6	-1.4
Reg. Sur	Obs. Actual	<i>0.20</i>	-0.2	2.7	0.44	-0.11	0.16	<i>-1.3</i>	0.4	0.31	0.33	-0.04	-2.0	-6.8	-1.4	-25.1	
	Sim. Actual	0.11	-0.8	0.2	0.29	<i>0.34</i>	0.06	-1.1	-0.3	0.29	0.05	-0.06	-2.4	5.3	0.1	4.1	
	Sim. Futuro	0.23	-3.0	1.3	-0.13	0.27	0.32	-3.8	1.0	0.30	0.38	0.09	2.7	2.8	-0.4	4.5	
ZONA AUSTRAL	Coyhaique	Obs. Actual	0.11	-1.3	0.8	-0.20	0.20	0.17	-0.8	1.0	0.17	0.14	0.05	-10.2	-20.6	1.5	-38.6
		Sim. Actual	0.19	-1.9	0.8	0.09	0.61	<i>0.33</i>	-1.5	1.5	0.33	0.60	0.13	-0.9	-1.7	-0.6	-2.4
		Sim. Futuro	0.37	-2.5	<i>1.7</i>	0.36	1.06	0.11	-0.8	1.0	0.47	<i>0.43</i>	-0.25	1.8	-1.2	1.9	16.4
	Balmaceda	Obs. Actual	-0.01	0.5	-0.9	<i>-0.39</i>	-0.09	0.18	-1.1	1.6	0.21	0.68	0.19	-2.7	-7.9	-0.1	-9.0
		Sim. Actual	0.19	-1.3	1.4	0.23	0.94	0.21	-1.3	0.3	0.06	0.31	0.02	-0.3	-1.3	-0.4	-5.9
		Sim. Futuro	0.38	-2.9	2.6	0.21	1.28	0.20	<i>-1.5</i>	1.0	0.49	<i>0.48</i>	-0.18	0.7	-3.8	0.5	2.6
	Pta. Arenas	Obs. Actual	0.21	<i>-1.9</i>	2.0	0.41	-0.05	0.18	-1.6	-0.1	0.07	-0.09	-0.02	3.5	2.7	0.9	12.9
		Sim. Actual	0.13	-1.2	1.1	0.12	0.25	0.09	-0.6	0.6	0.02	0.69	-0.04	1.4	0.5	1.4	13.0
		Sim. Futuro	0.25	-1.7	3.5	0.41	0.09	<i>0.23</i>	-0.9	<i>1.8</i>	0.23	0.24	-0.02	2.0	1.8	1.1	5.0
	Reg. Austral	Obs. Actual	0.10	-0.9	0.6	-0.06	0.02	0.18	-1.2	0.8	0.15	0.24	0.07	-3.1	-8.6	0.6	-11.6
		Sim. Actual	0.17	-1.5	1.1	0.15	0.60	0.21	-1.1	0.8	0.13	<i>0.53</i>	0.04	0.1	-0.8	1.0	4.4
		Sim. Futuro	0.33	-2.4	2.6	0.33	0.81	0.18	-1.1	1.3	0.40	0.38	-0.15	1.5	-1.1	1.2	8.0

Tendencias anuales de otros indicadores.

Unidades por Década		Ind. Temperatura								Ind. Precipitación								
		SU25 días	SU32 días	ID0 días	TR20 días	WSDI días	CSDI días	FD0 días	FD-2 días	SDII mm/día	R95p %días	R99p %días	R10mm días	R20mm días	R30mm días	CDD días	CWD días	
ZONA NORTE	Arica	Obs. Actual	6.5	-	-	11.5	11.0	-1.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sim. Actual	5.5	-	-	0.7	2.8	-4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sim. Futuro	39.0	0.1	-	39.6	6.9	-13.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Iquique	Obs. Actual	11.3	-	-	5.2	1.1	-2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sim. Actual	0.9	-	-	0.3	3.6	-2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sim. Futuro	32.4	-	-	33.1	9.9	-9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Antofagasta	Obs. Actual	0.9	-	-	1.9	3.0	-1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sim. Actual	-0.1	-	-	0.1	6.6	-3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Sim. Futuro	11.0	-	-	24.0	12.6	-11.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Copiapó	Obs. Actual	0.1	0.1	-	-	-0.3	-0.4	-0.8	-0.1	0.91	3.1	-	0.2	0.1	-	-0.9	0.0	
	Sim. Actual	9.4	0.2	-	-	1.3	-1.2	0.1	0.1	-0.24	-2.0	-2.6	-0.2	0.0	0.0	6.7	-0.2	
	Sim. Futuro	19.7	7.6	-	1.1	4.3	-5.9	-	-	0.41	7.9	2.1	0.4	0.1	0.1	3.7	0.3	
Reg. Norte	Obs. Actual	4.7	-	-	6.2	5.0	-1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sim. Actual	3.9	-	-	0.3	3.6	-3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Sim. Futuro	25.6	-	-	30.1	7.4	-9.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ZONA CENTRO	La Serena	Obs. Actual	0.3	-	-	-	0.3	-0.6	-	-	0.67	4.6	8.9	-0.1	-0.2	-0.1	1.6	-0.5
		Sim. Actual	9.3	-0.1	-	-	-0.3	0.2	-	-	-0.77	-1.2	-3.7	-0.4	-0.1	0.0	3.5	0.0
		Sim. Futuro	18.2	2.0	-	1.2	3.9	-7.6	-	-	-0.78	-6.5	-6.9	-2.7	-	0.0	-3.2	0.3
	Valparaíso	Obs. Actual	-1.0	-	-	-	-0.7	2.1	-	-	0.92	9.2	6.6	0.7	0.1	0.5	8.6	0.1
		Sim. Actual	9.0	0.4	-	-	0.7	-0.1	0.0	-	-1.20	-24.1	-12.8	-1.5	-0.9	-1.0	-8.5	0.4
		Sim. Futuro	0.0	-	-	2.3	2.6	-3.5	-	-	-0.09	-10.7	1.6	-0.5	-0.4	0.1	1.2	-1.1
	Santiago	Obs. Actual	4.5	3.7	-	-	1.4	0.8	-0.7	-0.1	0.34	29.9	21.3	0.8	0.7	0.7	6.0	-0.1
		Sim. Actual	3.4	10.8	-	0.0	1.4	0.1	1.2	0.7	-0.36	-7.5	-6.6	-1.1	-0.5	-0.2	10.1	-0.2
		Sim. Futuro	6.9	7.9	-	1.4	0.8	-1.3	-1.2	-0.3	-1.13	-0.2	-5.3	-0.5	-0.3	0.1	-7.2	0.2
	Curicó	Obs. Actual	0.1	-2.1	-	-	0.1	-0.4	-9.2	-4.6	-0.31	2.6	-7.7	-0.9	0.5	0.1	3.7	-0.3
		Sim. Actual	3.3	8.3	-	0.1	1.6	-1.5	1.3	0.9	-0.49	6.0	-9.7	-1.6	-0.7	0.1	5.4	0.3
		Sim. Futuro	6.8	6.5	-	3.4	1.8	-0.9	-0.7	-0.1	-0.68	6.6	-4.4	-1.9	-0.8	-0.4	-0.5	-0.2
	Chillán	Obs. Actual	4.1	0.9	-	-	0.2	-0.7	-1.3	-1.5	1.03	81.2	36.1	1.5	2.5	2.0	-6.7	-0.6
		Sim. Actual	8.9	8.7	-	0.2	0.9	0.2	0.6	0.5	-0.30	-38.6	-51.8	-3.1	-2.1	-0.9	6.8	0.5
		Sim. Futuro	5.9	5.3	-	4.8	1.3	-0.7	-0.3	0.0	-0.70	3.8	17.4	-2.6	-2.0	-0.9	-3.4	-0.6
	Concepción	Obs. Actual	1.8	0.0	-	-	0.0	-1.9	-0.2	-	0.27	14.5	20.3	0.1	0.3	0.0	1.2	-0.2
		Sim. Actual	8.5	0.3	-	0.1	0.4	0.4	0.0	-	0.09	-30.8	-17.8	-3.4	-0.9	-1.3	6.7	-0.4
		Sim. Futuro	8.1	1.2	-	2.7	1.0	-1.0	-	-	-0.50	-20.1	-3.8	-3.1	-2.4	-1.0	2.0	-0.6
Reg. Centro	Obs. Actual	1.6	2.6	-	-	0.3	0.2	-3.3	-2.1	0.48	23.7	14.2	0.3	0.6	0.5	2.4	-0.3	
	Sim. Actual	7.1	4.7	-	-	0.8	-0.1	1.0	0.7	-0.51	-16.0	-17.1	-1.8	-0.9	-0.5	4.0	-0.1	
	Sim. Futuro	7.5	3.6	-	-	1.8	-2.5	-0.6	-0.1	-0.65	-5.3	3.4	-1.6	-1.2	-0.4	-2.3	-0.4	
ZONA SUR	Temuco	Obs. Actual	4.7	0.3	-	-	0.2	0.1	0.9	0.6	0.62	-4.0	13.7	0.1	0.7	-0.2	6.3	0.4
		Sim. Actual	10.2	2.5	-	0.8	0.7	0.4	0.8	0.0	0.14	-4.6	-11.4	-2.9	-0.8	0.1	5.8	-0.8
		Sim. Futuro	8.6	5.0	-	0.8	0.6	-0.8	-1.2	0.1	-0.30	0.9	3.0	-3.6	-1.3	-0.4	-1.7	0.2
	Valdivia	Obs. Actual	2.9	-0.3	-	-	0.0	0.2	4.6	2.4	-1.20	-104.0	-28.1	-6.7	-5.1	-3.5	3.1	-0.1
		Sim. Actual	9.5	1.7	-	-0.1	0.1	-	0.7	-0.3	0.13	3.3	21.3	-4.4	-1.0	-0.9	4.6	-1.1
		Sim. Futuro	7.2	4.4	-	0.6	1.4	-0.3	-1.9	-0.1	-0.50	-32.3	-26.9	-3.2	-2.1	-1.4	-0.8	-0.4
	Osorno	Obs. Actual	1.8	-0.1	-	-	-0.4	-	0.8	2.3	-0.57	-64.7	-23.4	-5.6	-3.4	-1.7	1.9	-0.2
		Sim. Actual	9.2	0.9	-	0.1	0.9	-	-0.4	-0.5	-0.01	-8.9	-2.2	-2.9	-0.3	-0.5	2.3	-0.9
		Sim. Futuro	7.9	4.2	-	0.7	1.5	0.0	-1.6	0.0	-0.40	-38.7	-28.1	-2.6	-2.5	-0.7	1.8	-0.3
	Pto. Montt	Obs. Actual	0.7	0.0	-	-	0.6	0.1	0.0	0.6	-0.90	-116.0	-39.3	-7.7	-5.1	-2.2	0.9	-0.5
		Sim. Actual	0.1	-	-	-	-0.4	-	-	-	-0.03	4.3	-2.5	-4.5	-0.9	-0.4	0.8	-0.8
		Sim. Futuro	1.6	-	-	0.3	1.3	-0.3	-	-	-0.20	-47.8	-28.2	-3.1	-1.8	-0.8	0.8	0.3
Reg. Sur	Obs. Actual	2.5	3.1	-	-	0.1	-	2.1	1.7	-0.52	-72.0	-19.3	-5.0	-3.2	-1.9	3.1	-0.1	
	Sim. Actual	7.2	9.6	-	-	0.3	-	0.4	-0.3	0.05	-1.5	1.3	-3.7	-0.7	-0.4	3.4	-0.9	
	Sim. Futuro	6.3	4.5	-	-	1.2	-	-1.6	0.0	-0.38	-29.5	-20.0	-3.1	-1.9	-0.8	0.1	0.0	
ZONA AUSTRAL	Coyhaique	Obs. Actual	-0.1	0.0	-0.2	-	0.3	-0.6	-3.1	-1.1	-1.30	-126.0	-52.1	-5.6	-4.0	-2.6	-2.1	-0.5
		Sim. Actual	2.0	-0.1	-1.9	-	-0.1	0.1	-6.8	-7.2	-0.17	-12.7	7.0	-1.1	-0.5	0.1	5.0	0.1
		Sim. Futuro	4.6	0.3	-0.5	0.1	0.7	-0.3	-9.1	-5.7	0.20	11.3	9.6	0.7	0.2	-0.2	0.8	0.3
	Balmaceda	Obs. Actual	-0.6	-	-0.7	-	0.4	-0.3	2.9	-0.2	-0.80	-58.0	-20.0	-3.8	-1.9	-0.8	-2.3	-0.7
		Sim. Actual	0.1	-	-5.7	-	0.8	-0.3	-2.6	-6.5	-0.18	-38.4	7.8	-3.3	-2.5	-0.4	0.5	1.7
		Sim. Futuro	3.9	0.1	-2.8	-	0.7	-	-10.2	-8.9	0.10	-9.8	-0.4	-0.4	0.1	-0.4	0.0	-1.1
	Pta. Arenas	Obs. Actual	-0.1	-	0.1	-	-0.4	-0.4	-4.9	-3.6	0.09	5.9	4.5	-0.2	0.2	0.0	-0.1	0.1
		Sim. Actual	-0.1	-	-0.9	-	-0.5	-0.1	-7.7	-4.2	-0.10	-8.0	-15.3	0.2	-0.7	-0.1	0.2	-0.3
		Sim. Futuro	0.1	-	0.0	-	0.7	-0.3	-3.5	-0.4	-0.03	3.3	-2.2	0.2	-0.1	0.0	0.3	-0.3
	Reg. Austral	Obs. Actual	-0.3	-	-0.3	-	0.1	-0.4	-1.7	-1.7	-1.23	-107.0	-42.9	-5.1	-3.6	-2.2	-1.2	-0.5
		Sim. Actual	0.7	-	-2.8	-	0.2	-0.2	-5.7	-6.0	-0.14	-19.7	-0.2	-1.4	-1.2	-0.1	1.9	0.5
		Sim. Futuro	2.9	-	-1.1	-	0.7	-0.2	-7.6	-5.0	0.09	1.6	2.3	0.2	0.1	-0.2	0.4	-0.4

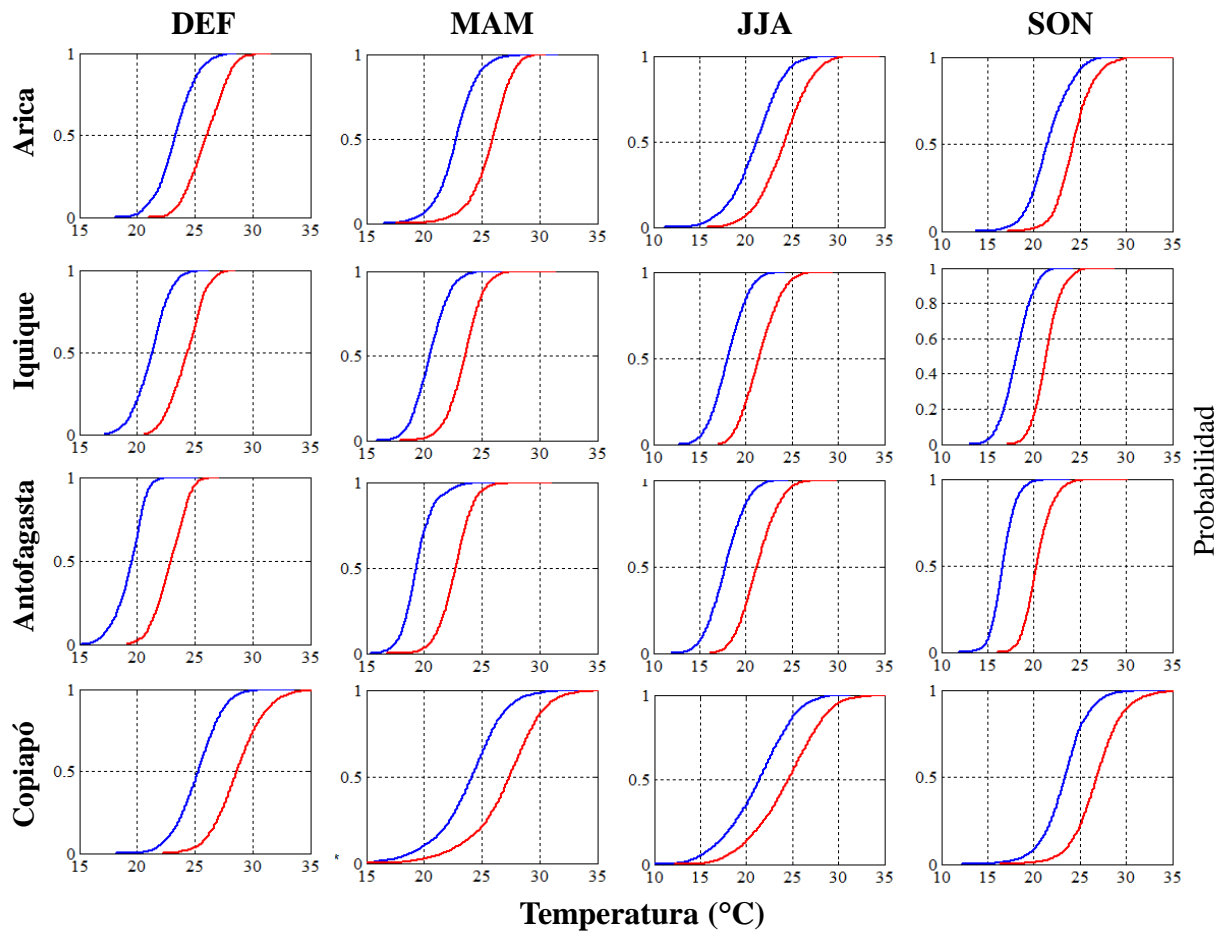
Anexo H.

Indicadores ICE significativos > 90% de confianza del clima actual (1961-1990).

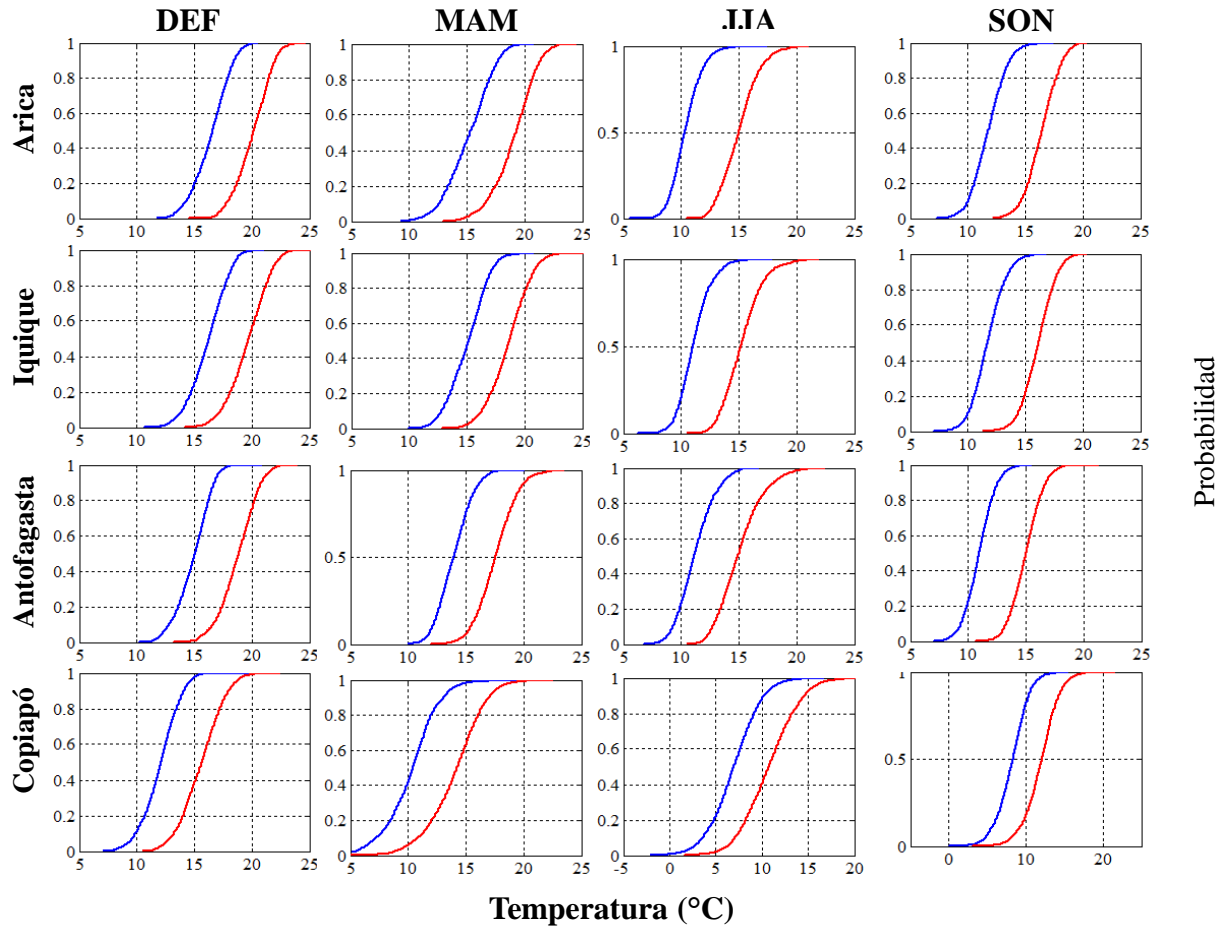
Estacion	Indicadores
1 Arica	TN, TN10p, TN90p, TN _x , TN _n , TX90p, DTR, TR20, CSDI.
2 Iquique	TN, TN10p, TN _x , TN _n , TX, TX10p, TX _x , SU25.
3 Antofagasta	TN, TN10p, TN90p, TN _x , TN _n , TX _n .
4 Copiapo	TN, TN10p, TN90p, TN _n , DTR, FD0.
5 La Serena	TN, TN10p, TN90p, TN _x , TN _n , TX, DTR, R99p, CWD.
6 Valparaiso	TN90p, TX10p, TX _n , SU25, CSDI.
7 Santiago	TN, TN90p, TN _x , TX, TX10p, TX90p, SU25, SU32, WSDI, R95p, R99p.
8 Curicó	TN, TN10p, TN90p, TN _x , TN _n , TX _x , DTR, SU32, FD0, FD-2 .
9 Chillán	TN, TN10p, TN90p, TN _x , TX10p, TX _x , DTR, RX1, RX5, PrcpTot, SU25, SDII, R95p, R99p
10 Concepción	TN, TN10p, TN90p, TN _x , TX, TX90p, DTR, RX1, SU25, FD0.
11 Temuco	TN, TN90p, TN _x , TX, TX90p, DTR, RX1, SU25, SDII, CDD.
12 Valdivia	TN, TN90p, TN _x , TX _n , Prcptot, FD0, FD-2, SDII, R95p, R10, R20, R30, CDD.
13 Osorno	TN, TN90p, TN _x , TN _n , TX10p, RND, Prcptot, SDII, R95p, R10, R20, R30.
14 Pto. Montt	TN90p, TN _x , TX, TX90p, TX _x , RX5, Prcptot, SU25, SDII, R95p, R99p, R10, R20, R30.
15 Coyhaique	TX _x , RX1, RX5, Prcptot, SDII, R95p, R99p, R10, R20, R30.
16 Balmaceda	TX, TX10p, DTR, RX5, Prcptot, SDII, R95p, R10mm, R20mm, R30mm.
17 Pta. Arenas	TN, TN10p, TN90p, DTR, RX5.

ANEXO I: Función de distribución empírica acumulada de temperaturas extremas y precipitación para el clima actual (1961-1990) y clima futuro (2071-2100) simulado con PRECIS.

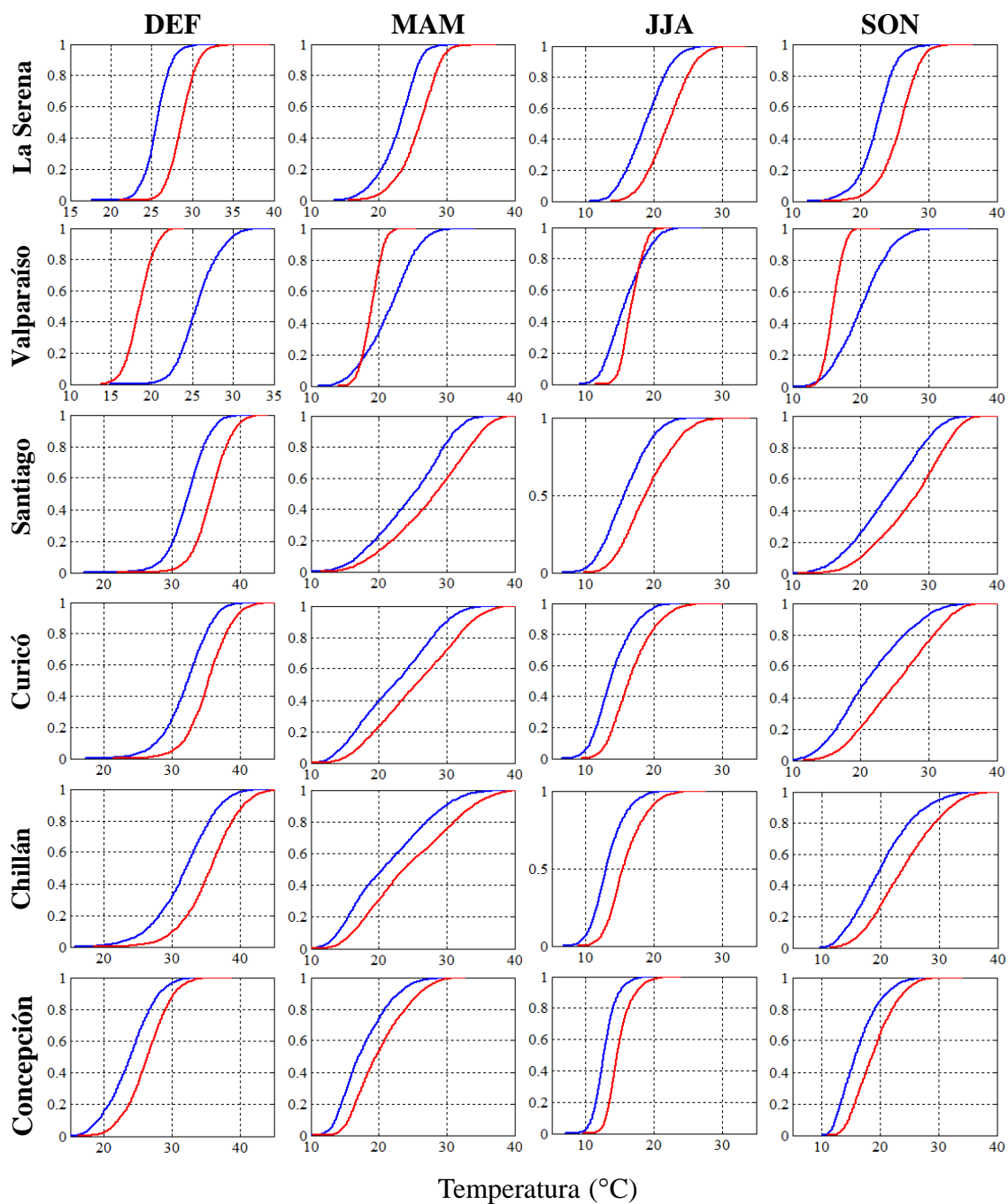
Región Norte – Temperatura Máxima.



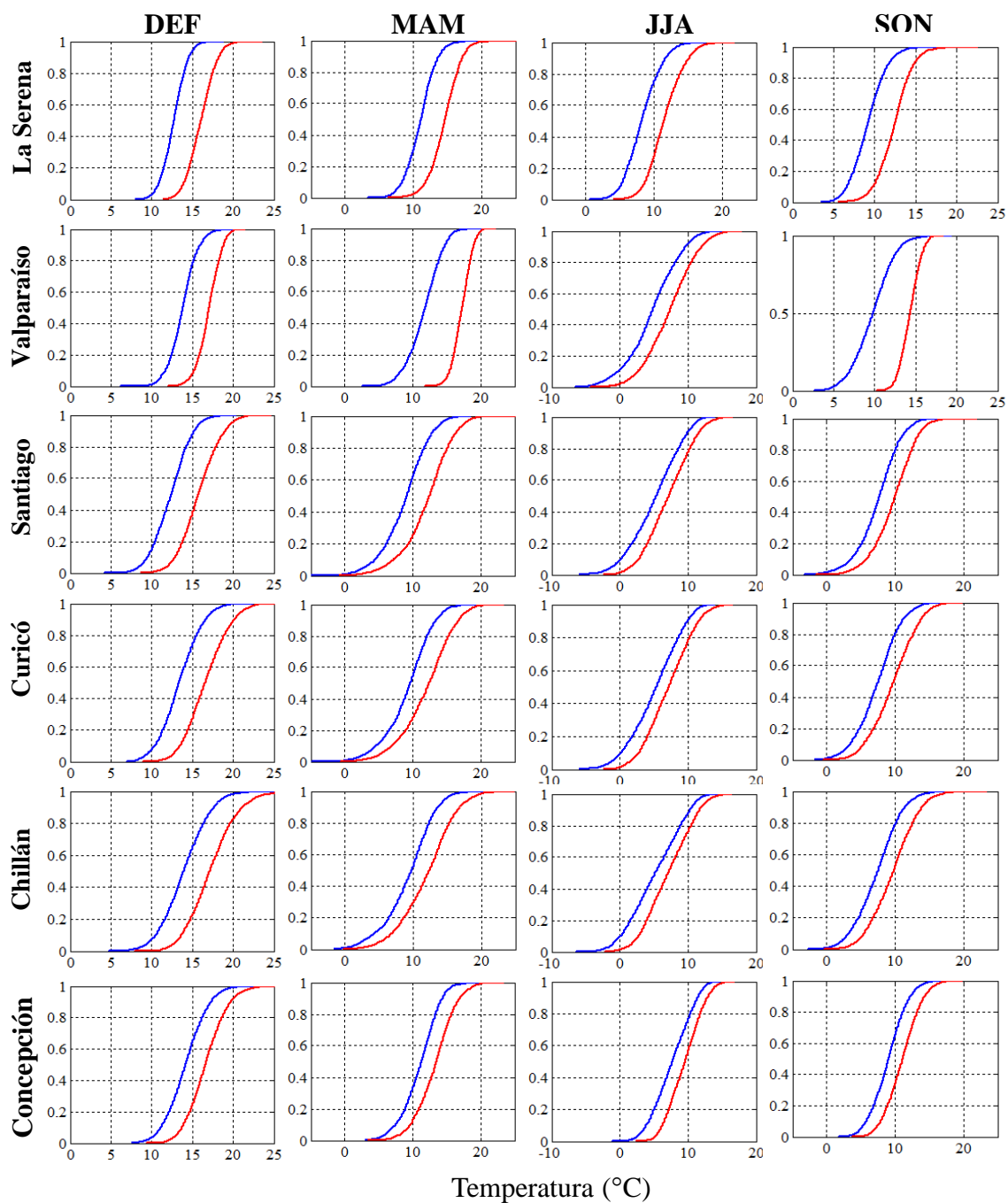
Región Norte – Temperatura Mínima (TN)



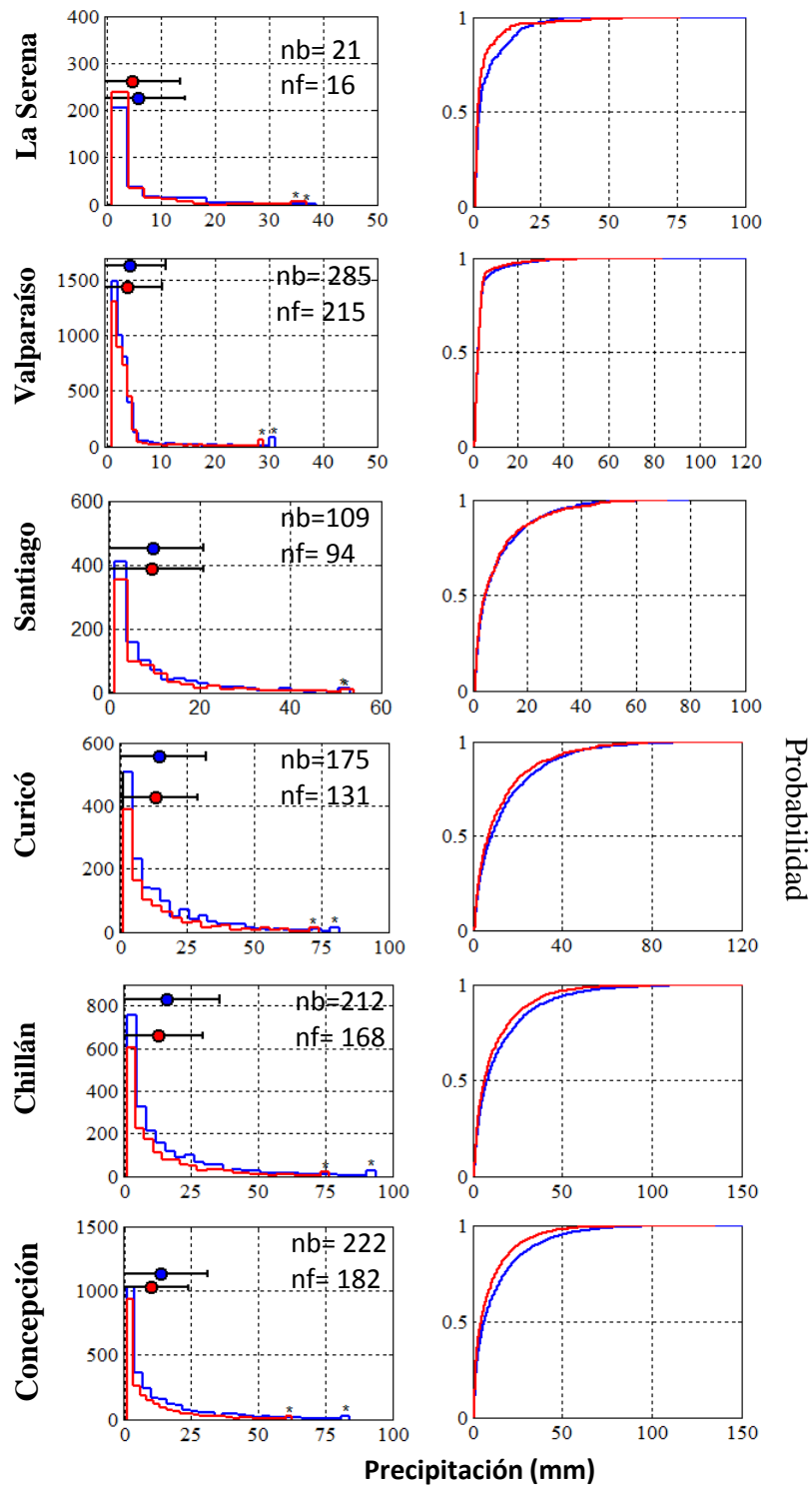
Temperatura Máxima (TX)- Región Centro



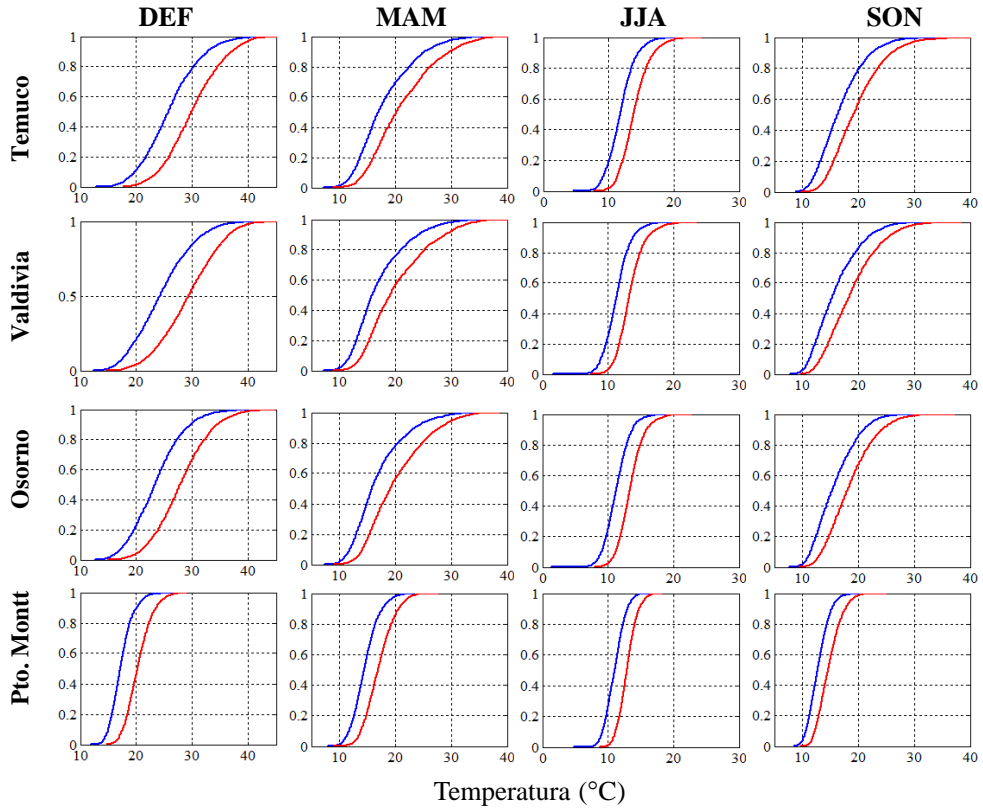
Temperatura Mínima (TN)- Región Centro



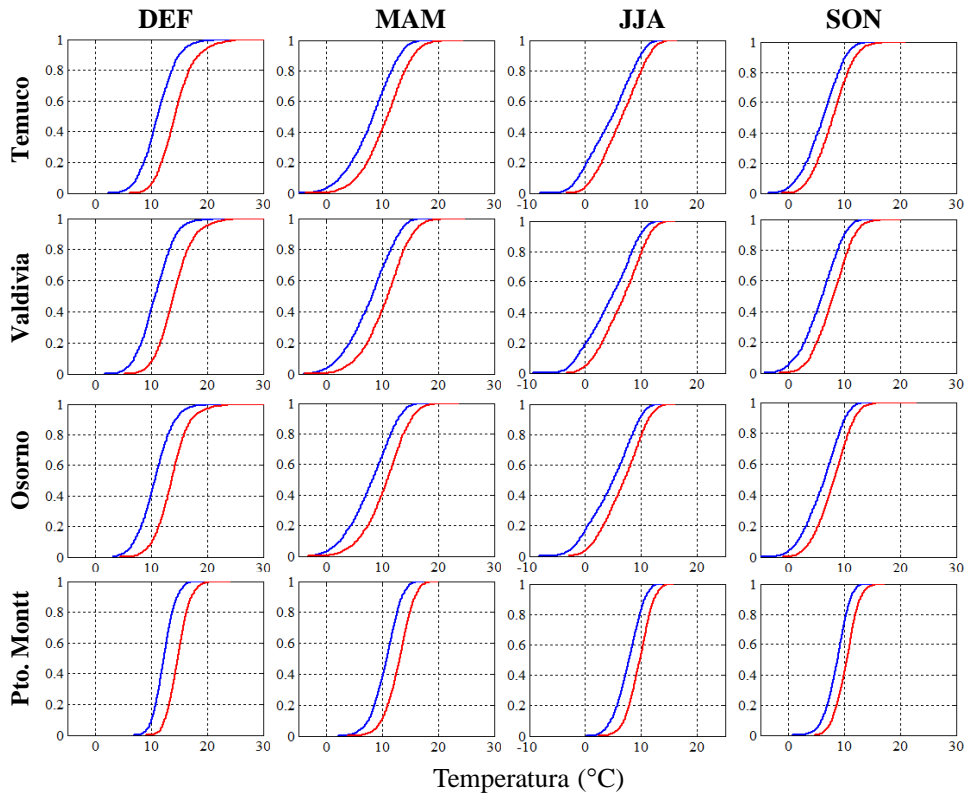
Distribución anual de precipitación
Región Centro



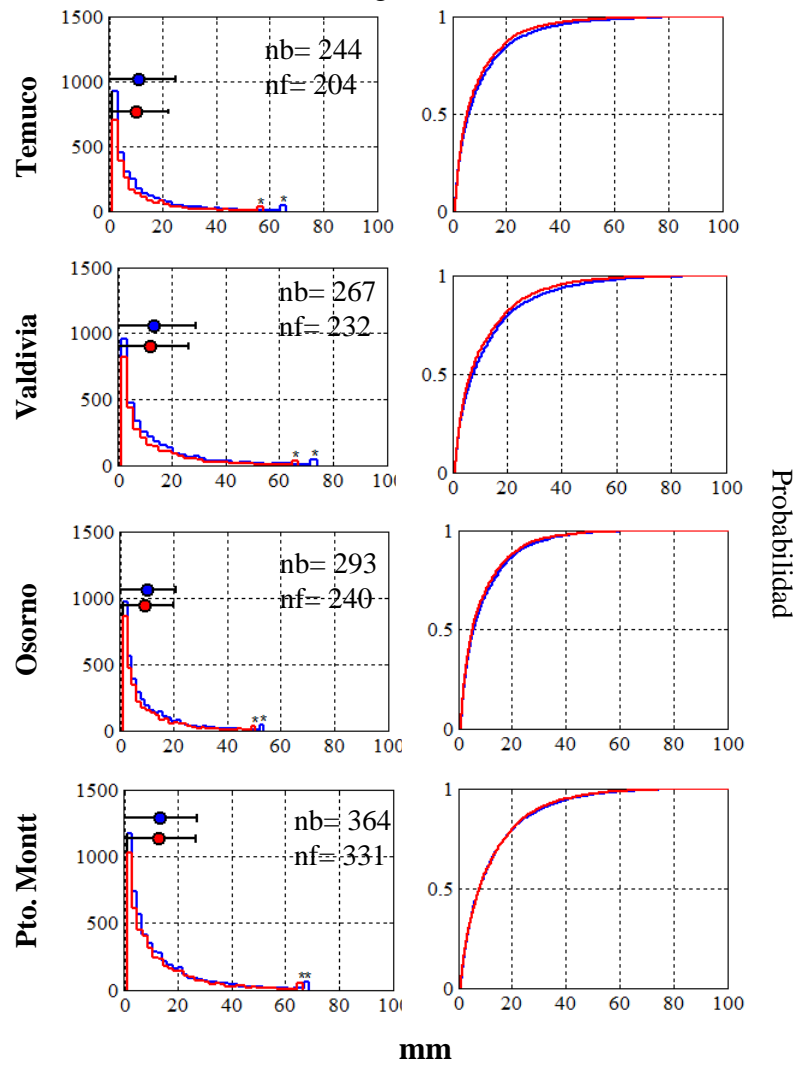
Temperatura Máxima (TX)- Región Sur



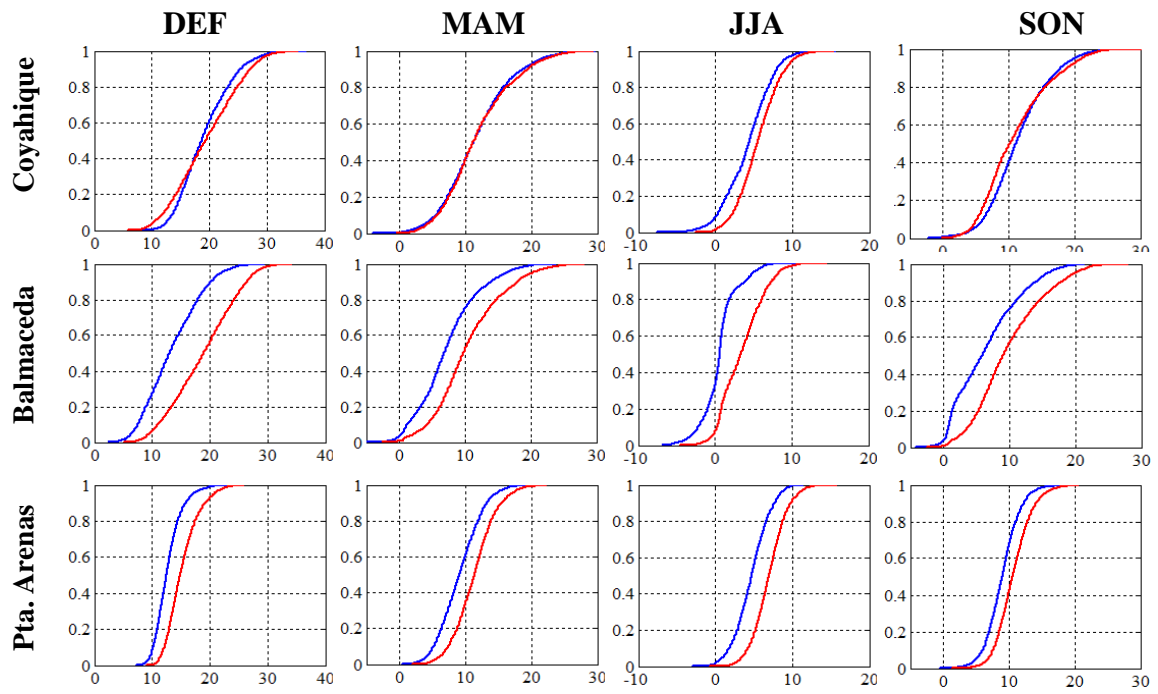
Temperatura Mínima (TN)- Región Sur



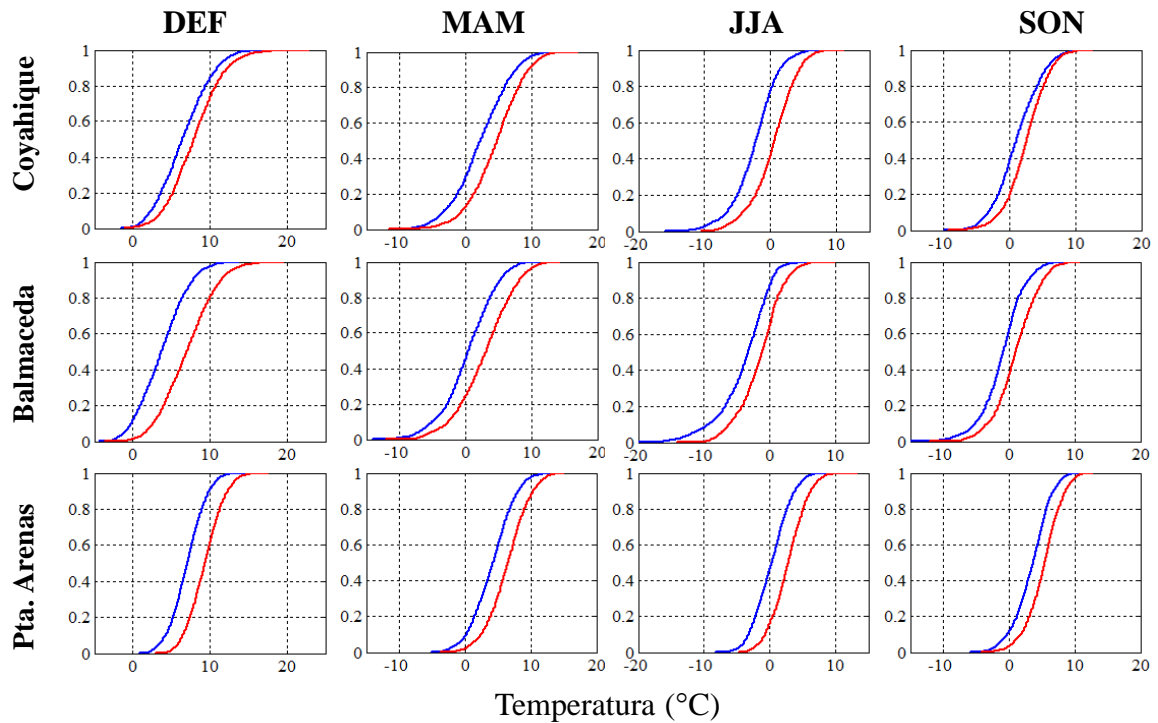
Distribución anual de precipitación Región Sur



Temperatura Máxima (TX)- Región Austral

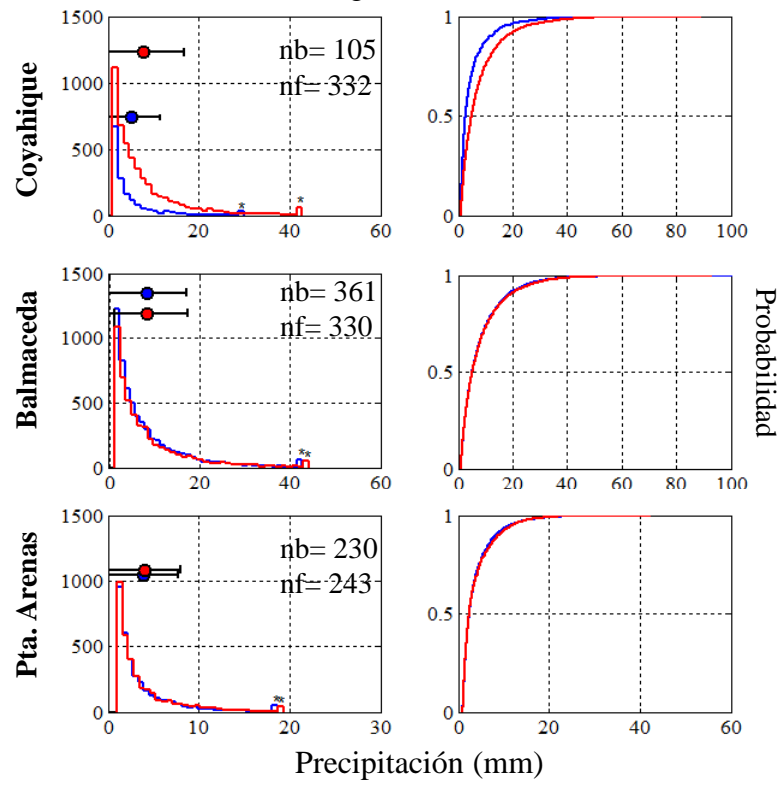


Temperatura Mínima (TN)- Región Austral



Temperatura (°C)

Distribución anual de precipitación
Región Austral



APÉNDICE A

Lista de abreviaturas

AAO	Antarctic Oscillation.
CDD	Máximo número de días consecutivos secos.
CCI	Comisión de Climatología de la OMM.
CCM3	The NCAR Community Climate Model.
CDF	Función de Distribución Acumulada
CLIVAR	Variability and predictability of the ocean-atmosphere system.
CRU	Climate Research Unit.
CSDI	Índice de duración del periodo frío.
CWD	Máximo número de días consecutivos lluviosos.
DMC	Dirección Meteorológica de Chile.
DTR	Amplitud térmica diaria o Rango diurno de temperatura.
ENSO	El Niño y Southern Oscillation.
ETCCDMI	Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices.
FD0	Días con heladas.
FD-2	Días con heladas intensas.
HadCM3	Hadley Centre Coupled Model, version 3.
HadAM3	Atmosphere model (HadCM3).
HadRM3	Regional model (HadCM3).
HadEX2	Gridded Indices of Climate Extremes.
HIRHAM4	The Regional Climate Model (RCM).
ICE	Indicadores Climáticos de Eventos Extremos.
IPCC Grupo	Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
NNRP	Reanalysis NCEP-NCAR.
OMM	Organización Meteorológica Mundial.
PDO	Pacific Decadal Oscillation.
PRECIS	Providing Regional Climates for Impact Studies.
PrpTOT	Precipitación total diaria.
RND	Días con precipitación.
R10mm	Días con precipitación fuerte
R20mm	Días con precipitación muy fuerte.
R30mm	Días con precipitación extrema.
R95p	Días lluviosos moderados.
R99p	Días lluviosos Fuertes

Rx1day	Máximo de precipitación en 1 día.
Rx5day	Máximo de precipitación en 5 días.
SDII	Índice de intensidad de la precipitación.
SERVIMET	Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.
SO	Southern Oscillation.
SRES A2 y B2	La familia de líneas evolutivas y escenarios B2, describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional. Con relación al escenario A2, describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.
SST	Sea Surface Temperature.
SU25-32	Días de verano.
TN	Temperatura Mínima.
TN10p	Noches frías.
TN90p	Noches cálidas.
TNn	Mínima de la Temperatura mínima.
TNx	Máxima de la Temperatura mínima.
TR20	Noches tropicales.
TX10p	Días fríos.
TX90p	Días cálidos.
TX	Temperatura Máxima.
TXn	Mínima de la Temperatura máxima.
TXx	Máxima de la Temperatura máxima.
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change.
USGS	U.S. Geological Survey.
WSDI	Índice de duración del periodo cálido.