



UNTEC

UNIVERSIDAD Y TECNOLOGIA
FUNDACION PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLOGICA.



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Actualización del Balance Hídrico Nacional

Seminario de Escasez Hídrica

10 de Mayo 2019

Presenta: Ximena Vargas Mesa



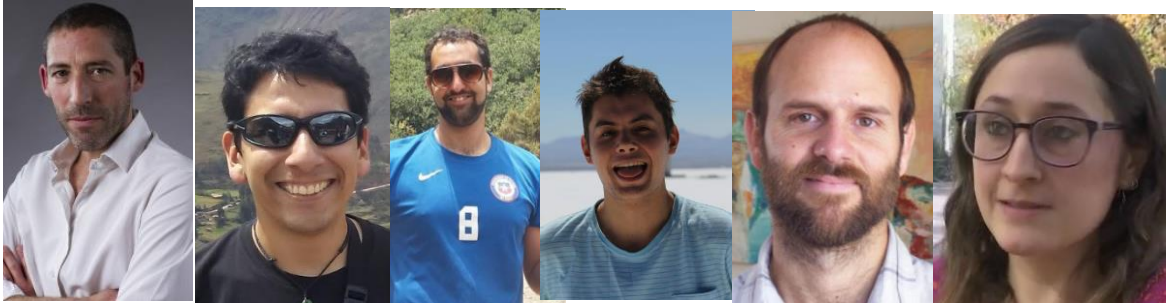
ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA
Y AMBIENTAL - CAPÍTULO CHILENO

Los Autores

Jefa de Proyecto
Ximena Vargas



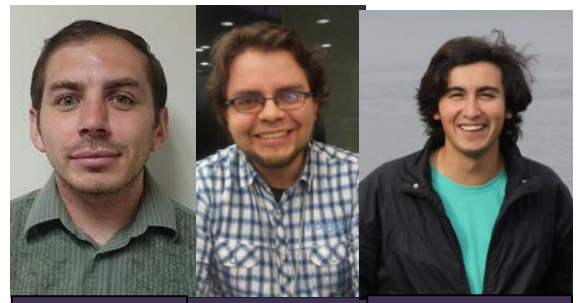
Hidrología



James McPhee Pablo Mendoza Javier Cepeda Nicolás Vásquez Sebastián Vicuña Camila Álvarez

Gonzalo Yañez

SIG



David Morales Miguel Lagos Alexis Caro

Meteorología



Roberto Rondanelli Juan P. Boisier Tomás Gómez

Hidrogeología



Linda Daniele Angello Negri

Cristóbal Méndez

Variabilidad Climática



Sebastián Vicuña Nicolás Bambach

Evapotranspiración



Francisco Suárez Francisco Meza David Morales Jorge Sandoval

Agenda

- Etapas del Proyecto
- Etapa 1
 - Enfoque Metodológico (Forzantes, Variabilidad y Cambio Climático, Modelación Hidrológica)
 - Cuencas Piloto
- Etapa 2
 - Cambios Metodológicos
 - Calibración, Modelación
 - Balance
 - Cambio Climático
 - Proyecto SIG
 - Oportunidades y Limitaciones

Etapas del Proyecto

Etapa I

Definición de
Metodología y
Aplicación en 5 cuencas
piloto

Etapa II

Aplicación de la
metodología en cuencas
de macrozonas norte y
centro

Etapa III

Aplicación de la metodología
en cuencas de macrozonas sur
y parte norte de la austral

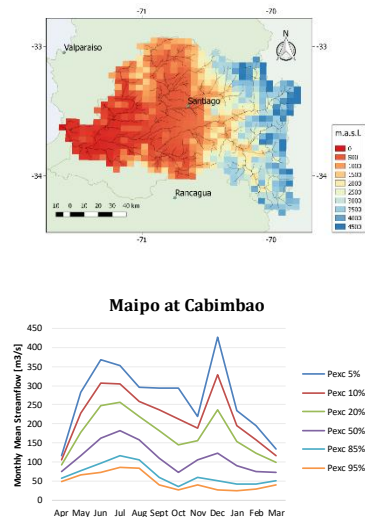
Etapa 1: Enfoque Metodológico

Consensuado por equipo de investigadores y validado por Taller de expertos nacionales e internacionales

Metodología Balance Hídrico (2017)

1. Caracterización de cuenca

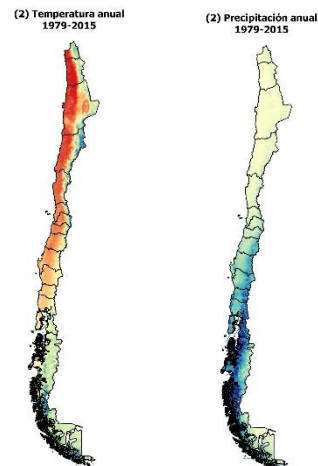
- Geomorfología
- Geología
- Cobertura vegetal
- Hidrología



2. Forzantes Meteorológicas

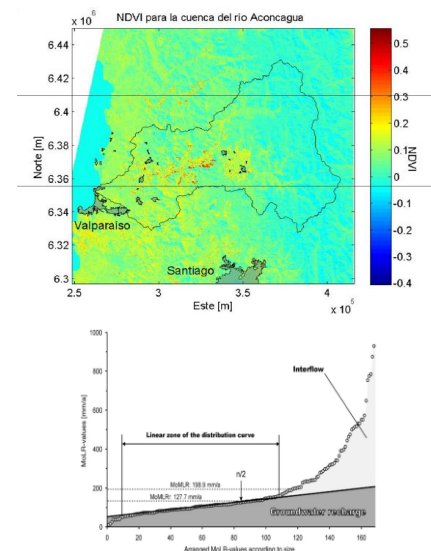
- Precipitación
- Temperaturas extremas
- Viento

$$P_{LOCAL} = \alpha + \beta P_{LS} + \gamma \vec{Q}_{LS} \cdot \nabla Z$$



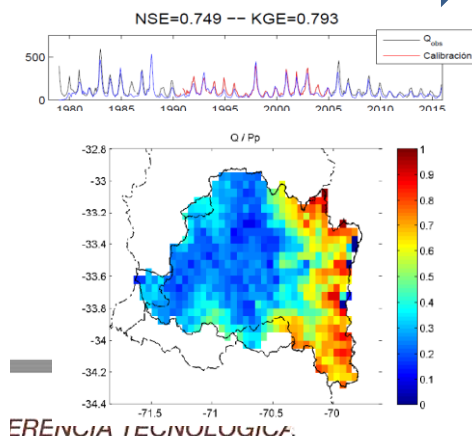
4. Estimaciones de validación

- Cobertura nival
- Evapotranspiración
- Caudal
- Tasas de recarga



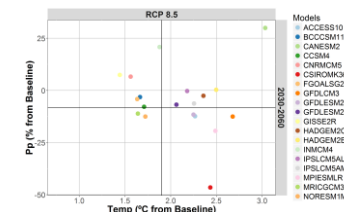
3. Modelación hidrológica

- Representación de caudales en curvas de duración y de variación estacional
- Representación física de otros procesos.
- Consideran principales extracciones consuntivas superficiales.
- Similitud hidrológica para transferencia de parámetros.

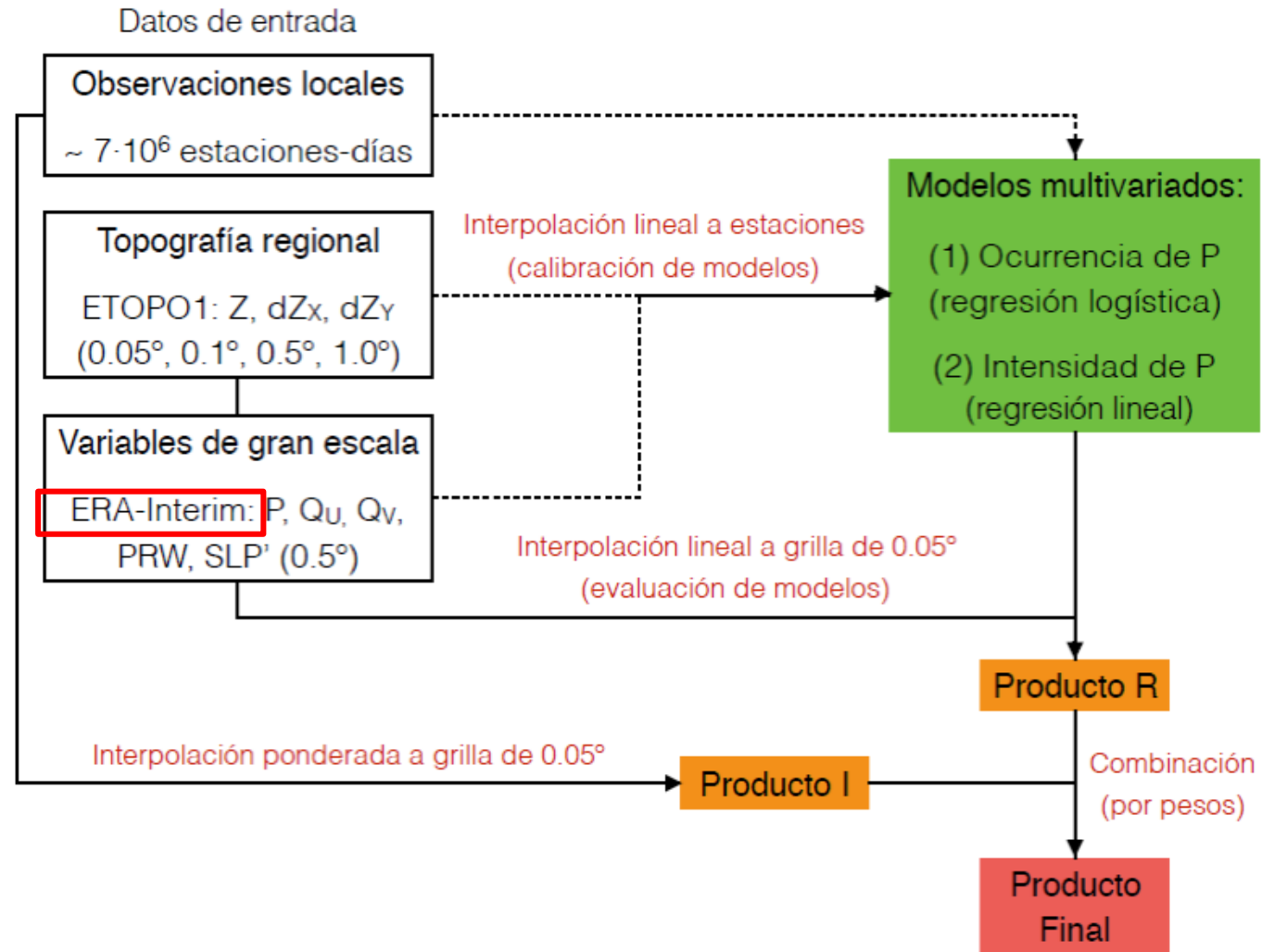


5. Variabilidad Climática

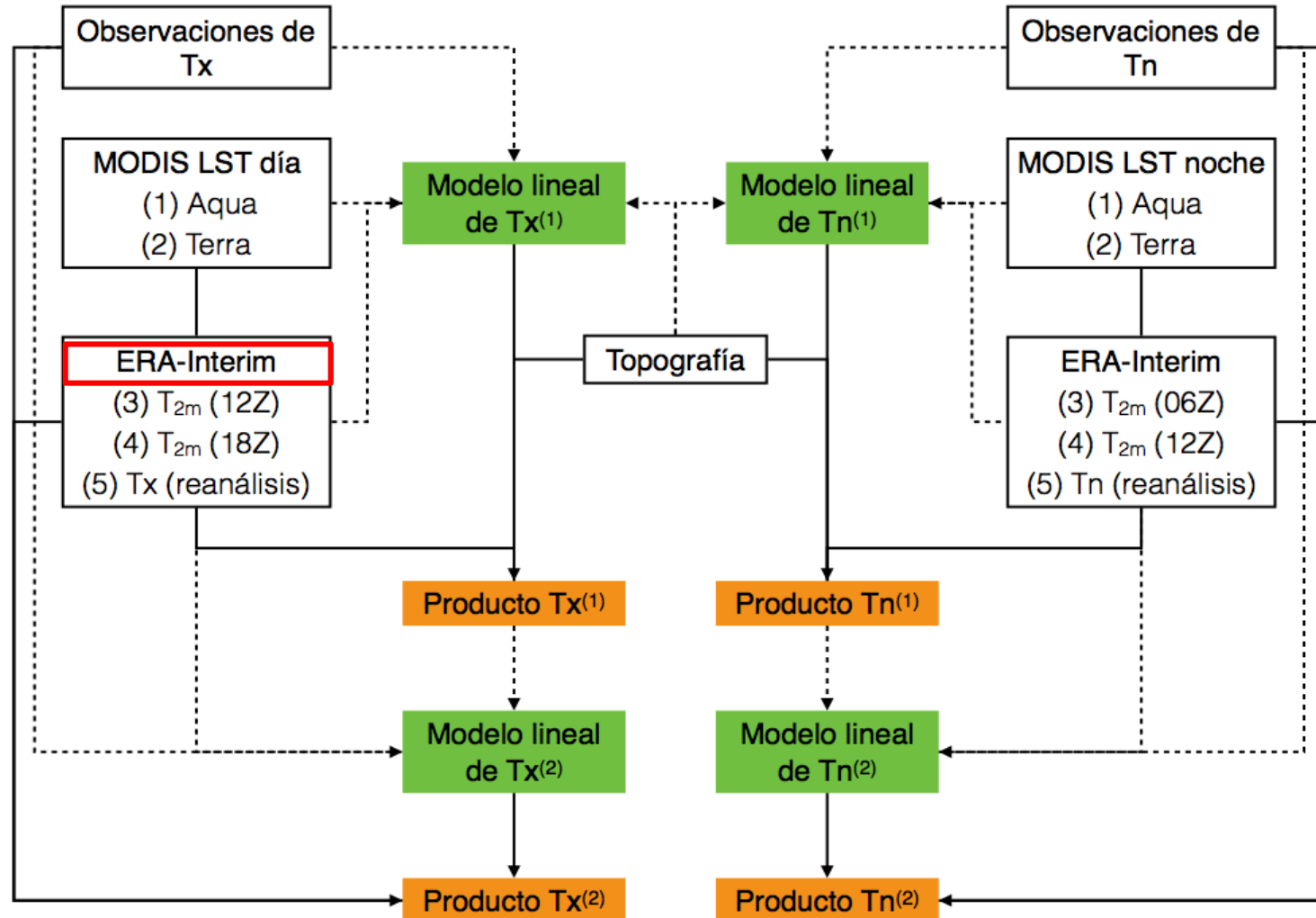
- Análisis en base a variaciones de modelos propuestos (CCSM4, IPSL-CM5A-LR y CSIRO MK3.6 y MIROC-ESM) para RCP8.5.

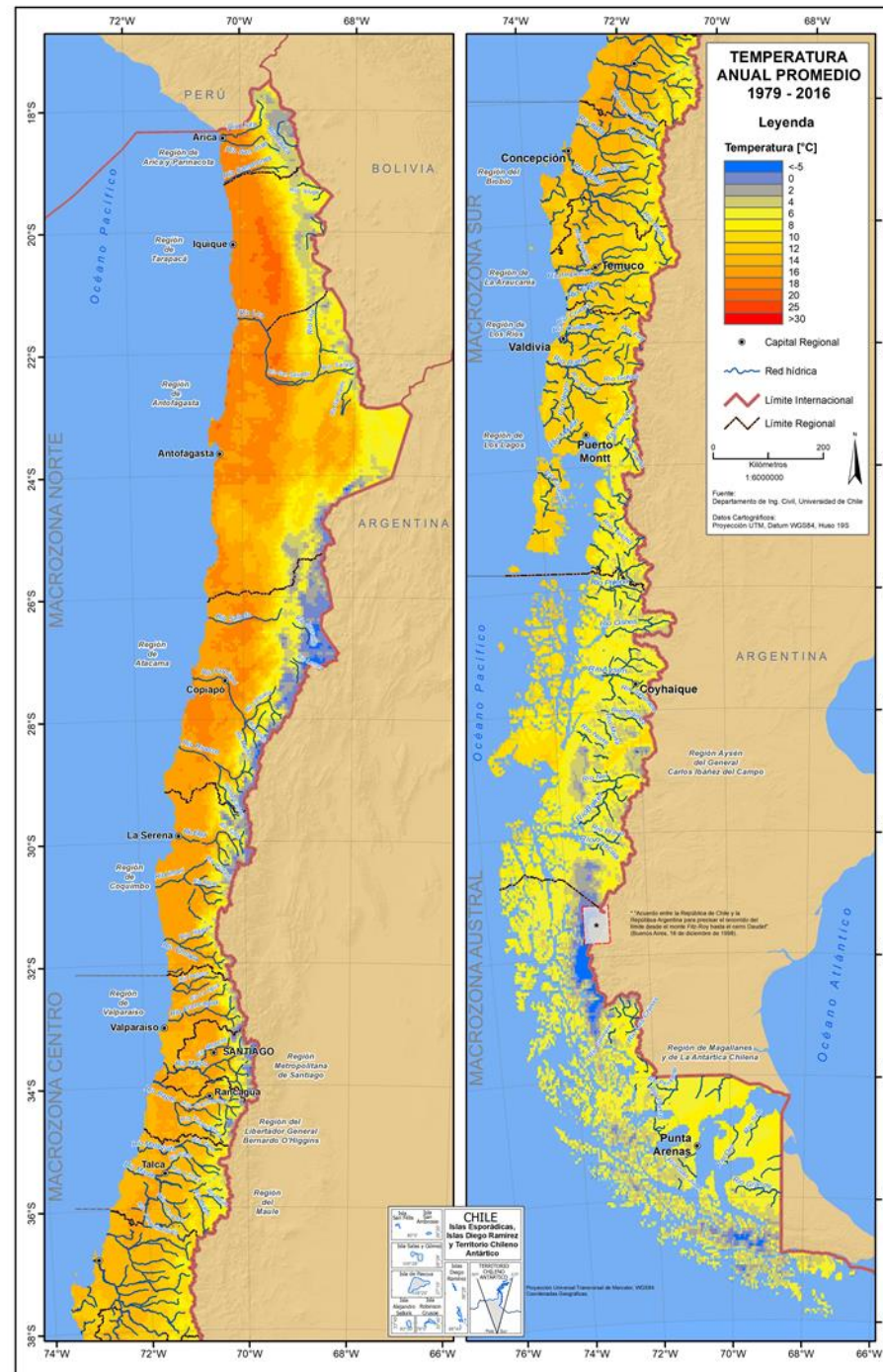
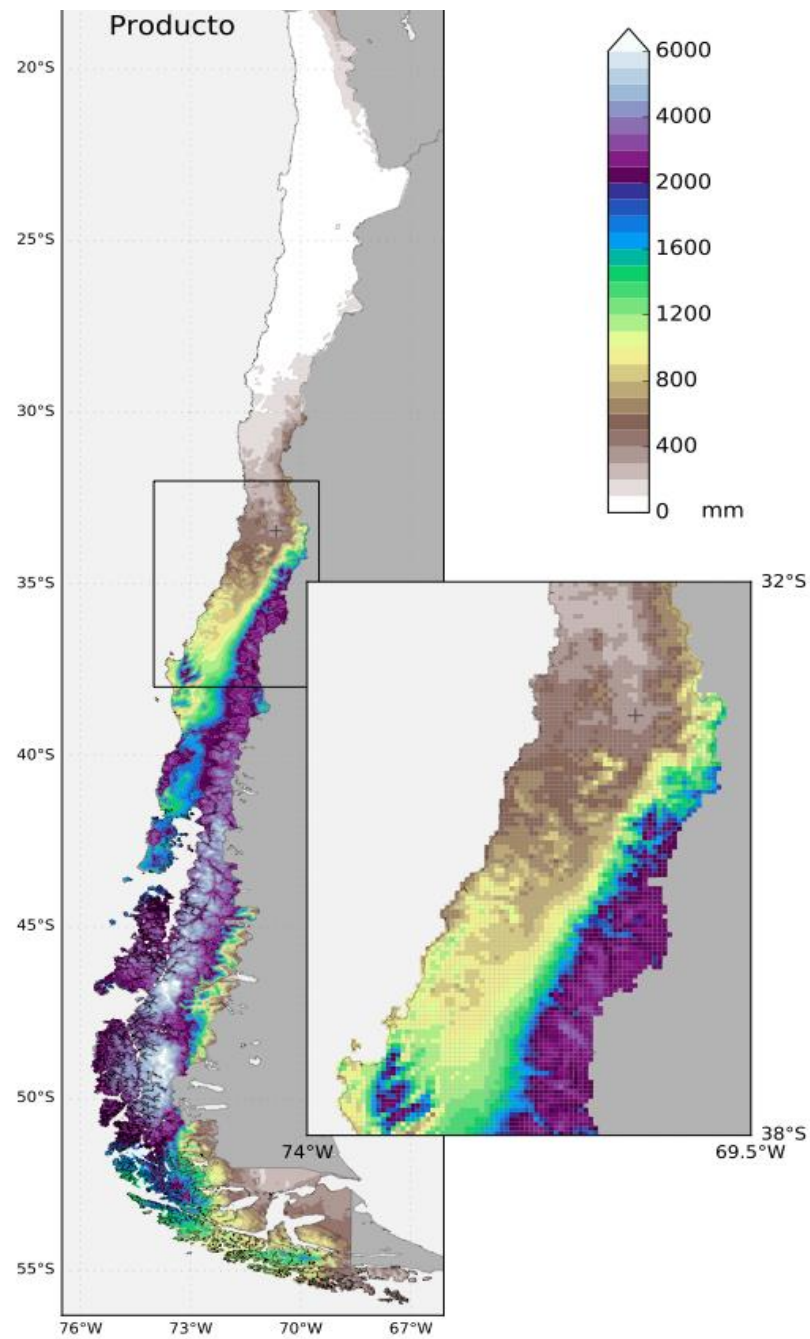
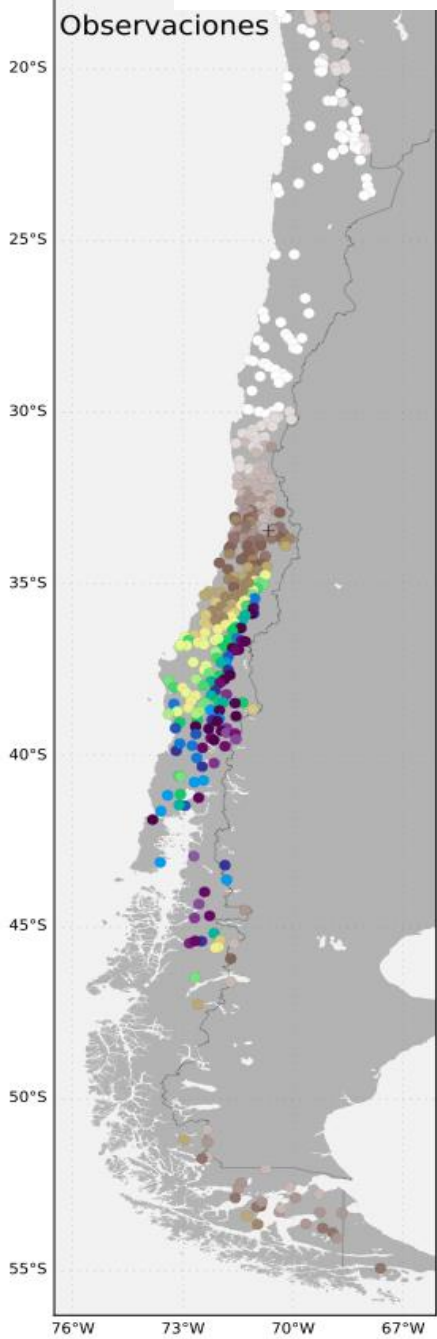


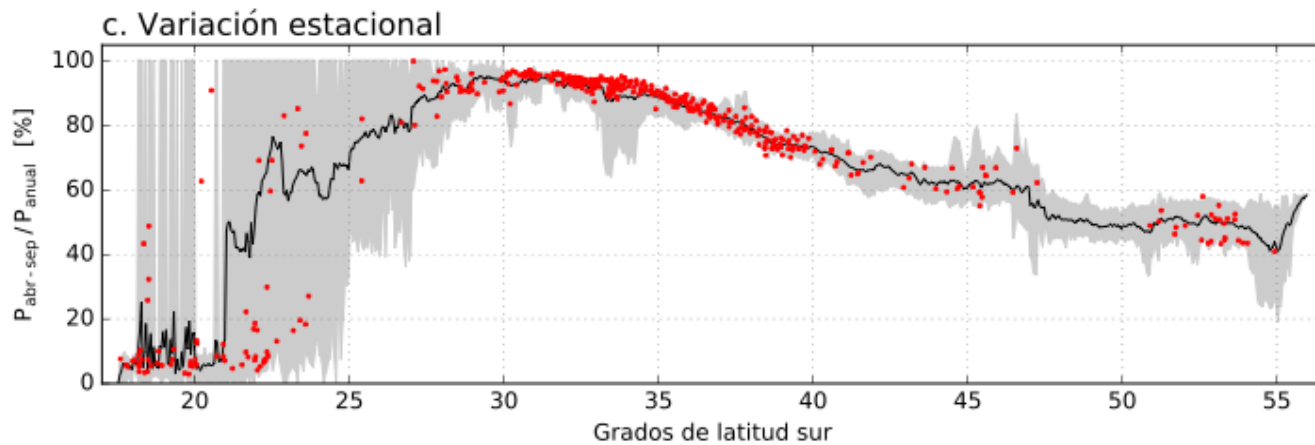
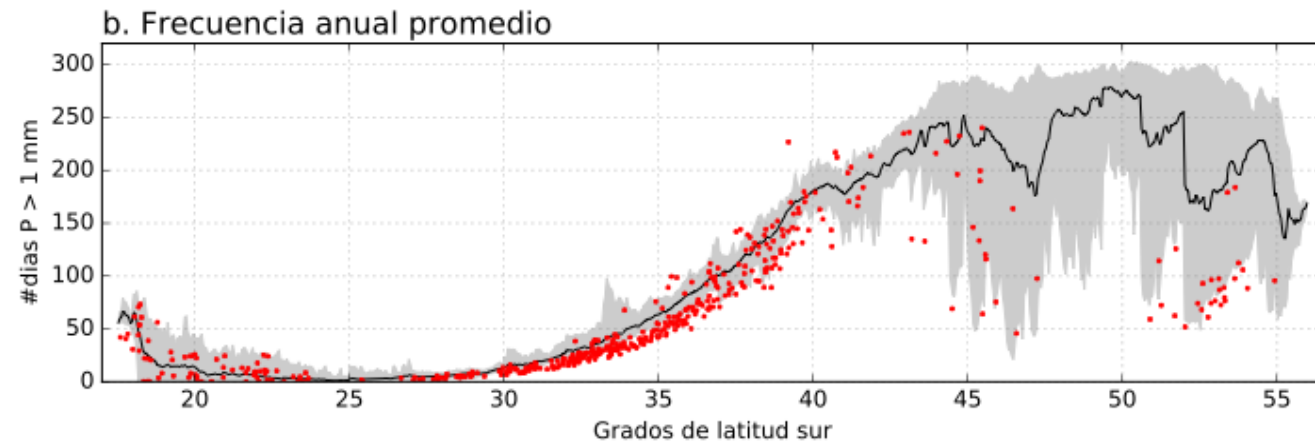
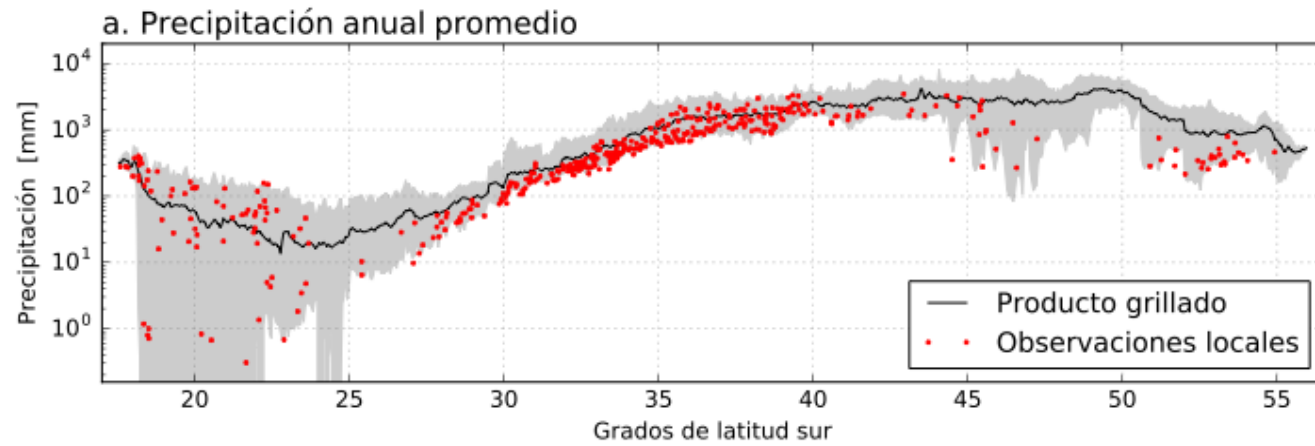
Producto de Precipitación diario



Producto de Temperaturas extremas diarias



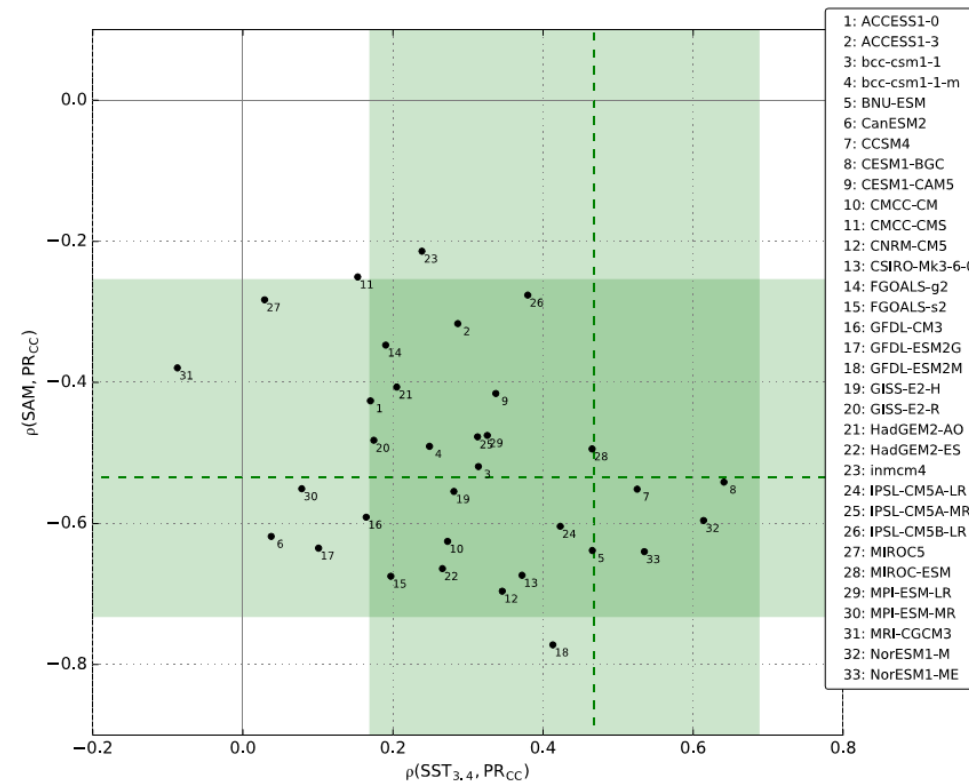
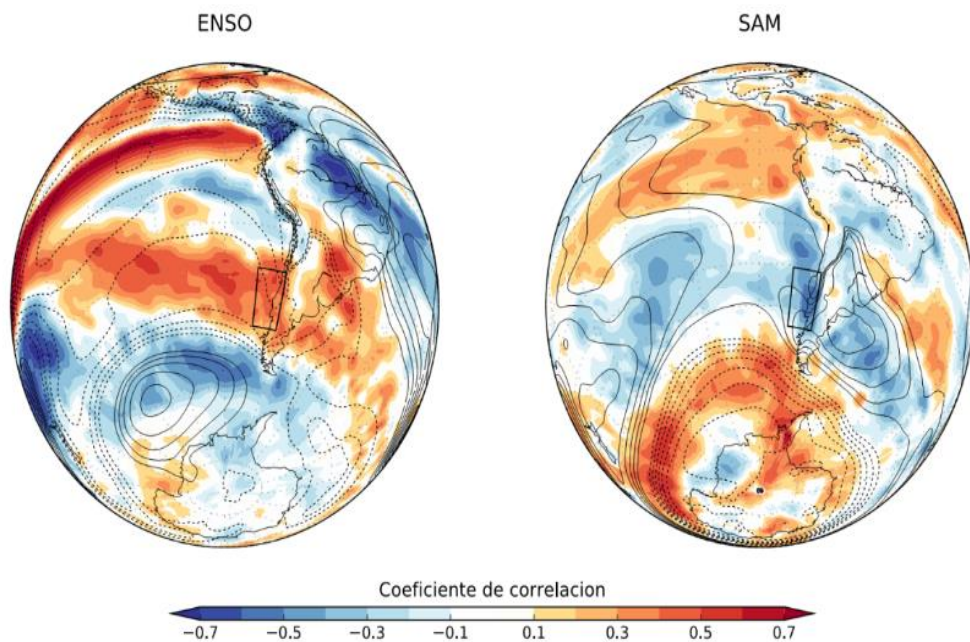




Variabilidad Climática

Selección de Modelos

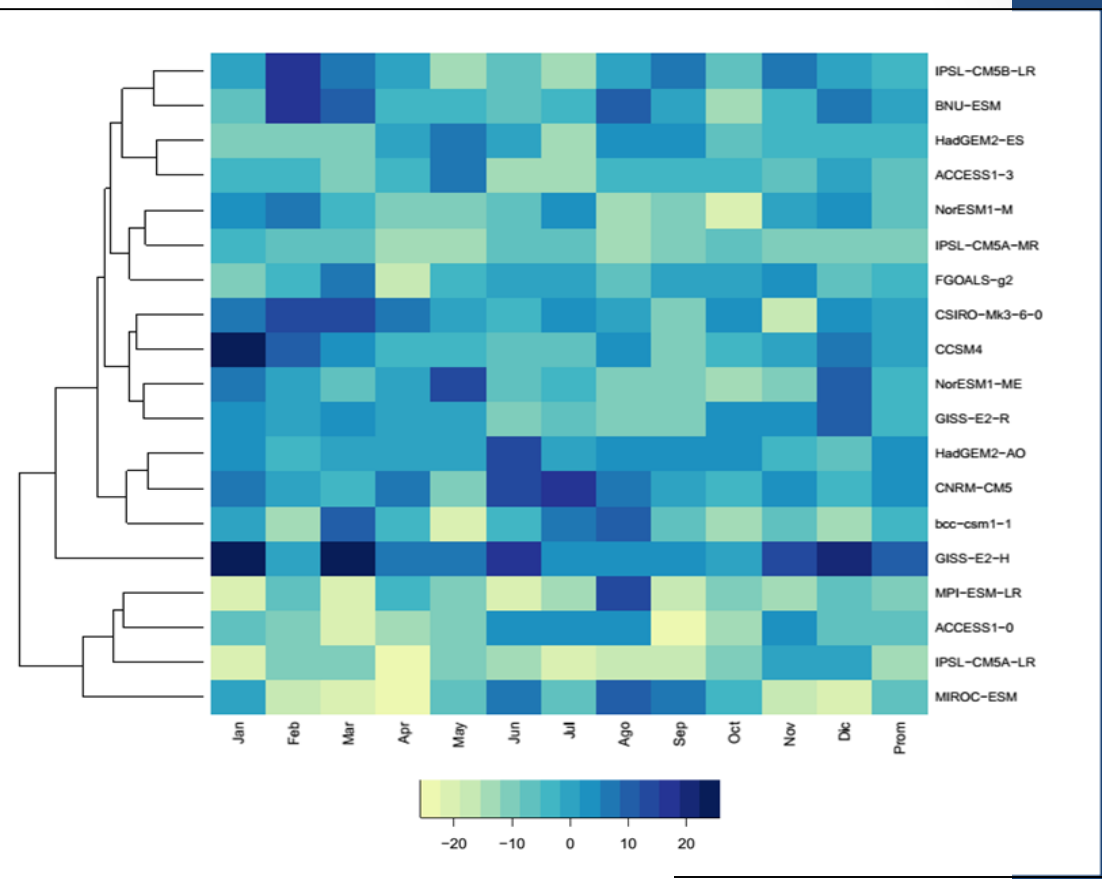
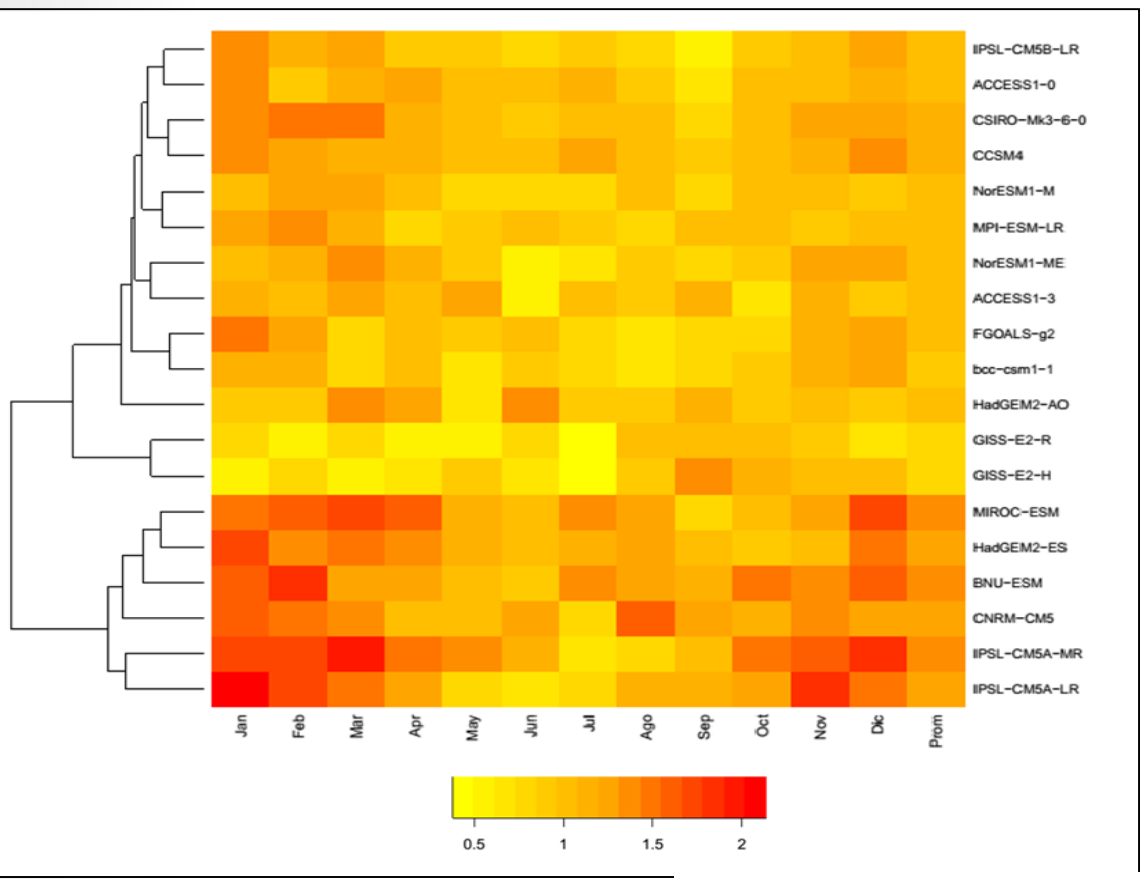
- Representación de SAM y ENSO
- Sensibilidad climática
- Cambios de temperatura y precipitación a escala regional (Análisis de delta)



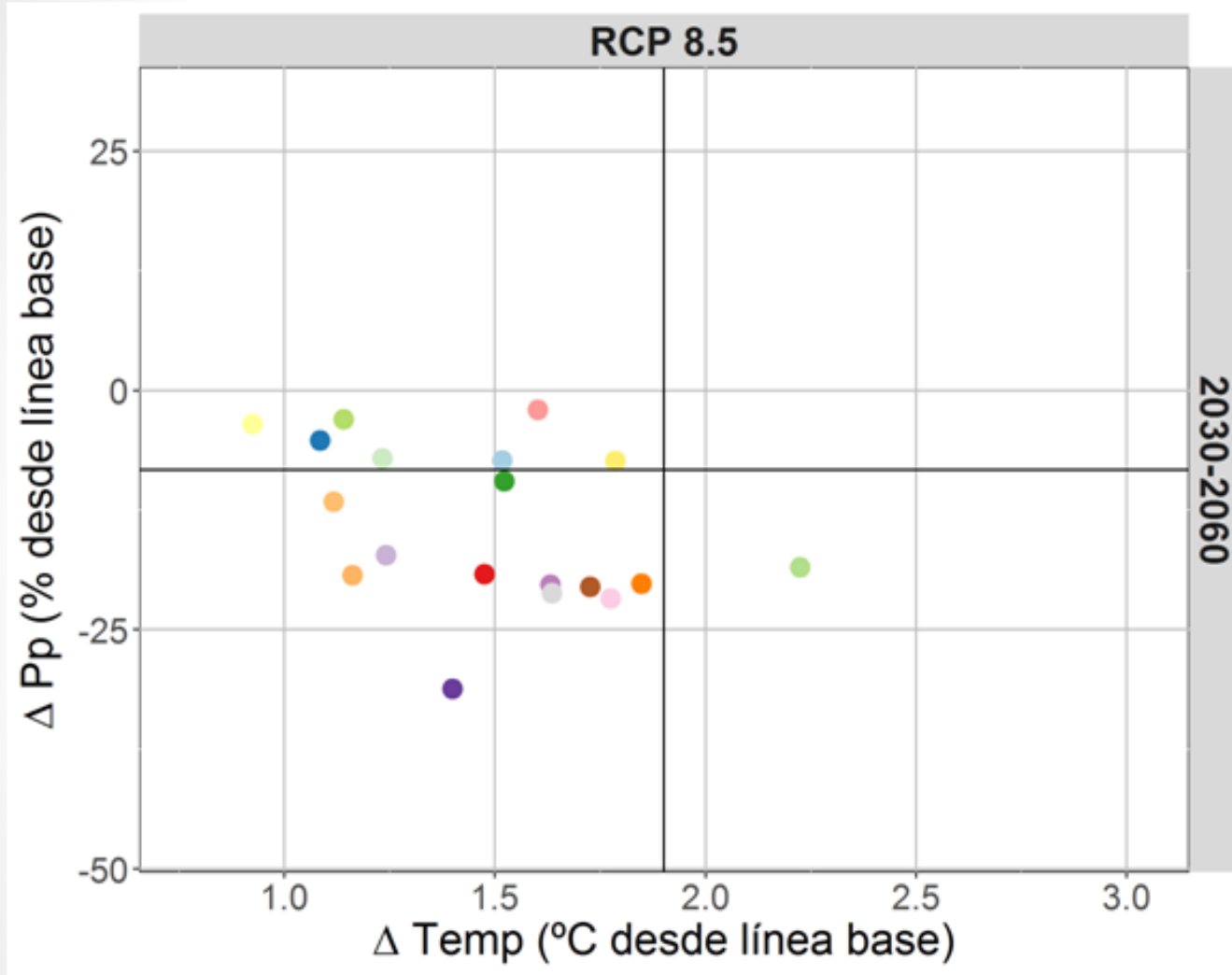
Influencia de ENSO (SST3.4) y el modo anular del hemisferio sur (SAM) en la precipitación anual (1979-2015) sobre distintas regiones del globo. Se muestra también la correlación entre ambos índices y la presión a nivel del mar (isolíneas a partir de ± 0.2). Datos: GPCP (Pr); ERA-Interim (SLP); ERSST (SST).

Variabilidad Climática

Señales de modelos GCM



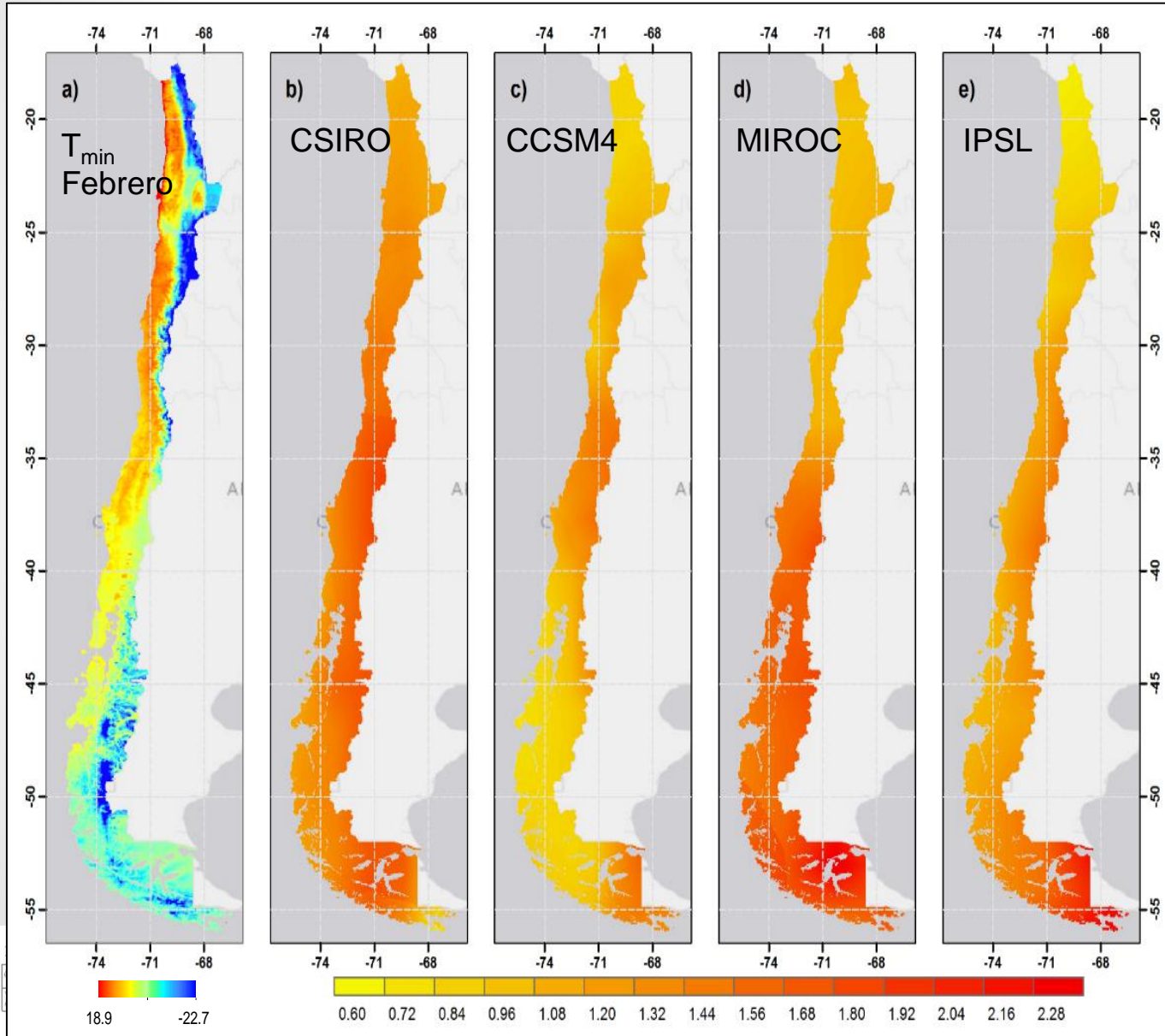
- Sensibilidad baja extrema: CSIRO-Mk3-6-0 (En adelante CSIRO)
- Sensibilidad baja moderada: CCSM4 (En adelante CCSM4)
- Sensibilidad alta moderada: MIROC-ESM (En adelante MIROC)
- Sensibilidad alta extrema: IPSL-CM5A (En adelante IPSL)



Models

- ACCESS10
- BCCCSM11
- CANESM2
- CCSM4
- CNRMCM5
- CSIROMK360
- FGOALSG2
- GFDLCM3
- GFDLESM2G
- GFDLESM2M
- GISSE2R
- HADGEM2CC
- HADGEM2ES
- INMCM4
- IPSLCM5ALR
- IPSLCM5AMR
- MPIESMLR
- MRICGCM3
- NORES1M

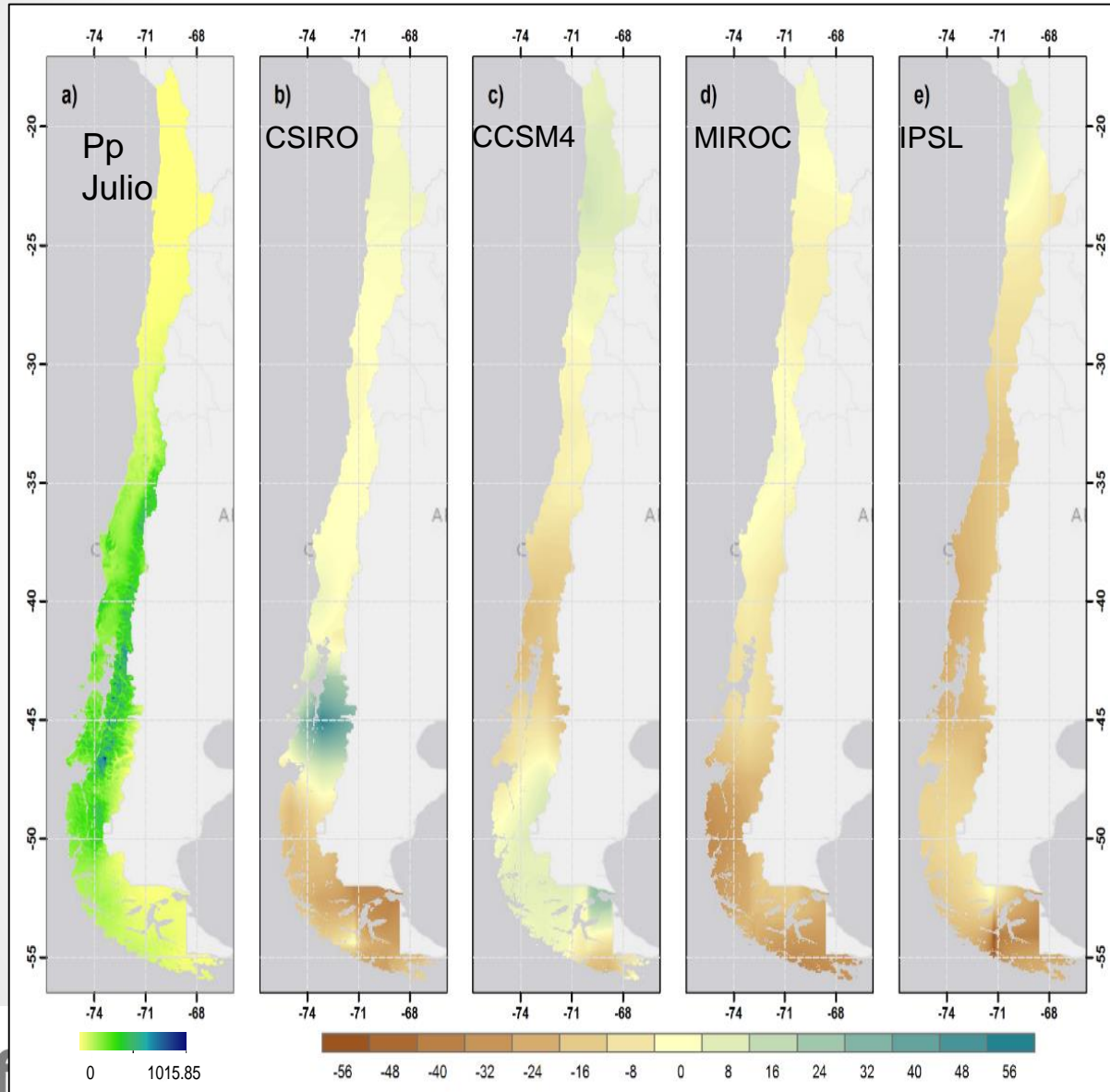
- Sensibilidad baja extrema CSIRO
- Sensibilidad baja moderada: CCSM4
- Sensibilidad alta moderada: MIROC
- Sensibilidad alta extrema: IPSL



Aumento de temperaturas en todo el país (0,6 – 2,3 °C)

Consistencia entre modelos de mayor aumento en la zona Centro-Sur (esp. en altura) y la zona Austral (Patagonia).

Cambio de Temperatura – RCP 8.5 – Período 2030 - 2060



Discrepancia en la señal de cambio entre modelos y entre regiones.

La mayoría de los modelos proyecta una tendencia a un leve aumento en la zona Norte.

Existe algún grado de consistencia en señal de disminución en el Centro Sur y la zona Austral.

Cambio de Precipitaciones - RCP 8.5 - Período 2030 - 2060

Modelo seleccionado

❑ Variable Infiltration Capacity (VIC)

- Modelo de motivación física.
- Semi-distribuido, considera heterogeneidad por tipo de vegetación.
- Balance de masa y energía en cada (sub-)unidad.

❑ Forzantes meteorológicas

- Precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación de onda corta y larga.

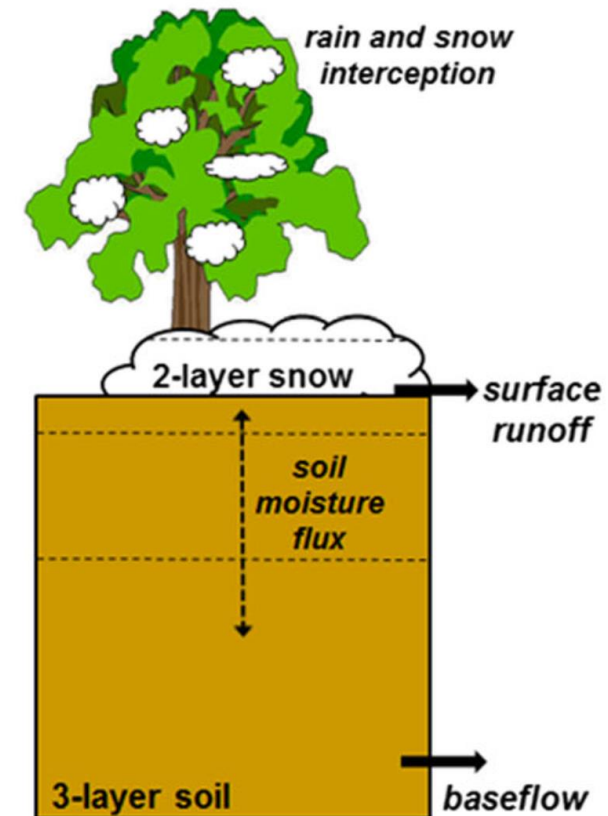
❑ Información requerida (parámetros)

- Mapa de cobertura y tipos de suelo.
- Índice de área foliar (LAI).
- Índice de vegetación mejorado (EVI).

❑ Simulaciones

- Resolución espacial $0,05^\circ \times 0,05^\circ$, $\Delta t = 3$ hr.
- Período de *spin-up* (i.e., inicialización de variables de estado): años hidrológicos 1979/80-1984/85.
- Aproximadamente 2/3 del período para calibración, 1/3 para validación.

Mosaic representation of different vegetation coverages at each cell



Arquitectura del modelo VIC

Proceso de Modelación

❑ Calibración

- Se comienza ajustando parámetros en cuencas de cabecera (régimen natural).
- Se ajustan 9 parámetros de suelo.
- Se ajustan 2 parámetros de nieve.
- Maximización de NSE y KGE para caudales medios mensuales.

❑ Evaluación para cuencas con intervención

- Cálculo de extracciones por riego (Q_{riego}) en cuencas intermedias (i.e., aguas abajo de cuencas en RN) en base a ETP y ETR de VIC, más eficiencias de riego.
- $Q_{mod} = Q(VIC) - Q_{riego}$

❑ Incorporación de almacenamientos

- Área glaciar de la base de datos de la DGA + tasa de rendimiento glaciar.

❑ Otras variables a evaluar

- ET: comparación a nivel de cuenca y en algunos pixeles específicos.
- Nieve: equivalente de agua en nieve (Cortés et al., 2016) y fSCA (MODIS).
- Recarga

❑ Métricas

$$NSE = 1 - \frac{\sum_k [X_{s_k} - X_{o_k}]^2}{\sum_k [X_{o_k} - \bar{X}_o]^2}$$

$$KGE = 1 - ED$$

$$ED = \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$$

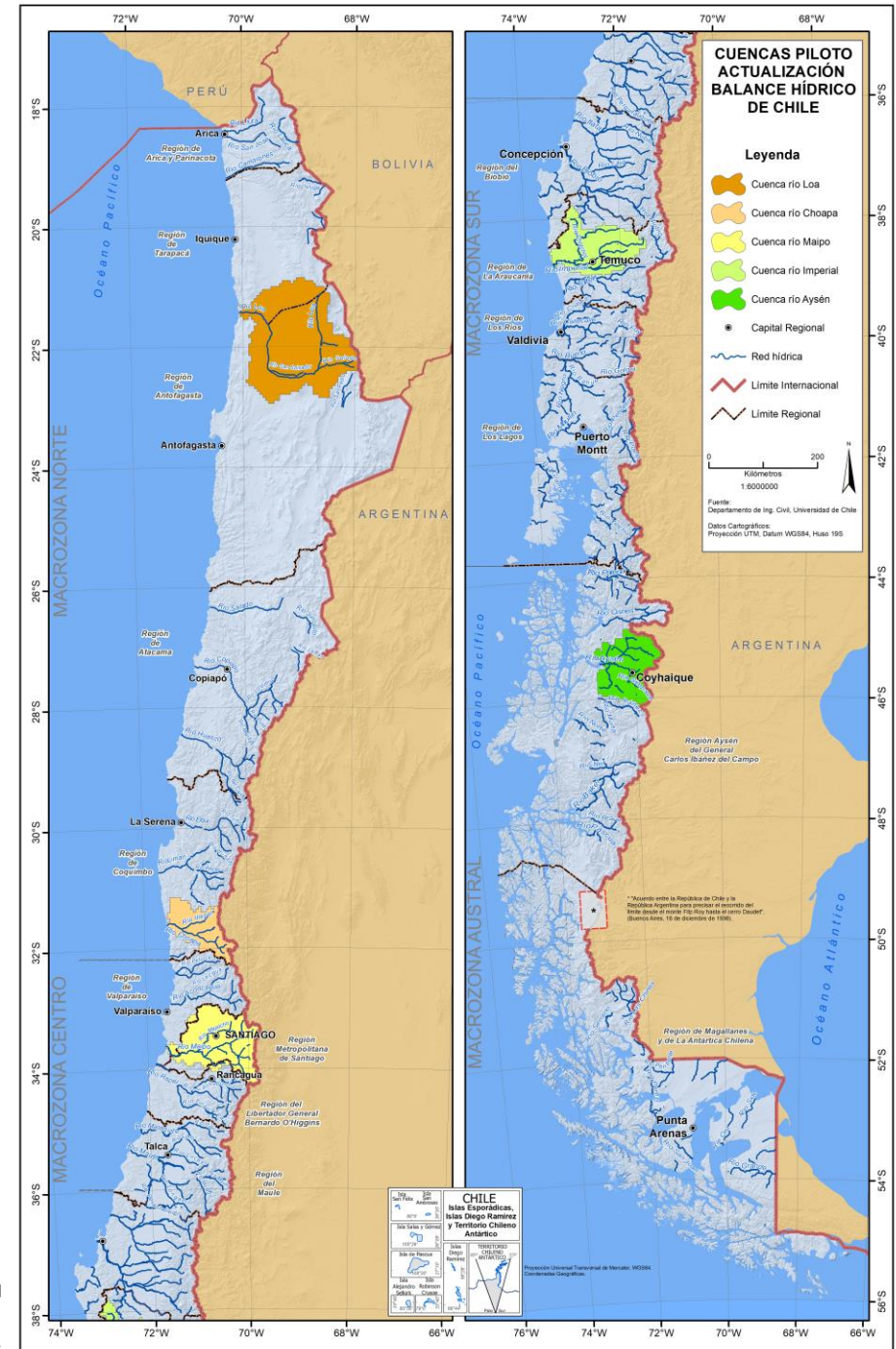
$$\alpha = \sigma_s / \sigma_o \quad \beta = \mu_s / \mu_o$$

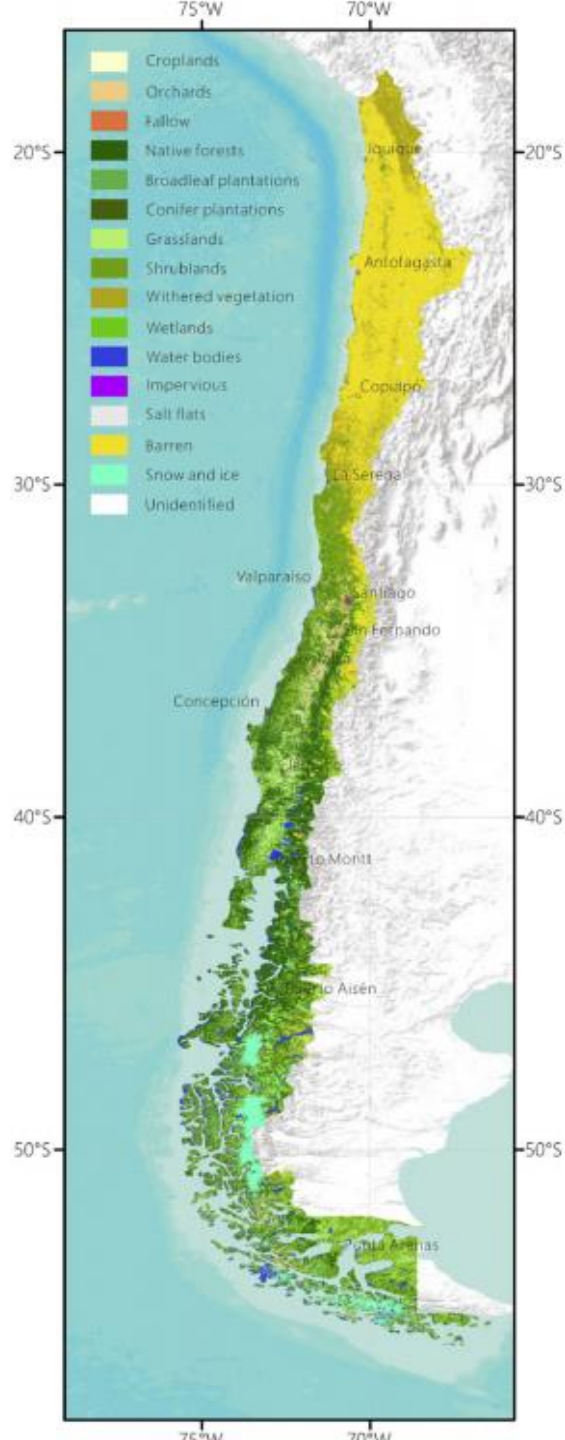
Etapa 1:Cuencas Piloto

En función del nivel de instrumentación, ubicación dentro de su respectiva Macro Zona, diferencia hidroclimática y priorización de estudios DGA, se seleccionan 5 cuencas piloto:

- Loa
- Choapa
- Maipo
- Imperial
- Aysén

<http://www.cr2.cl/camels-cl/>





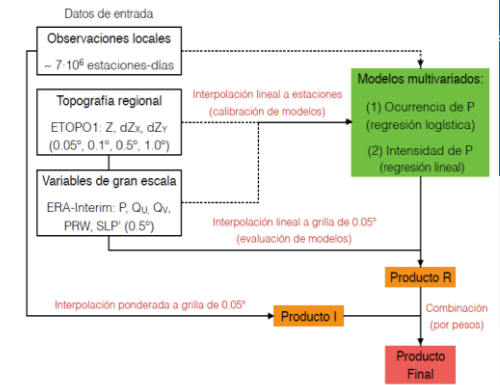
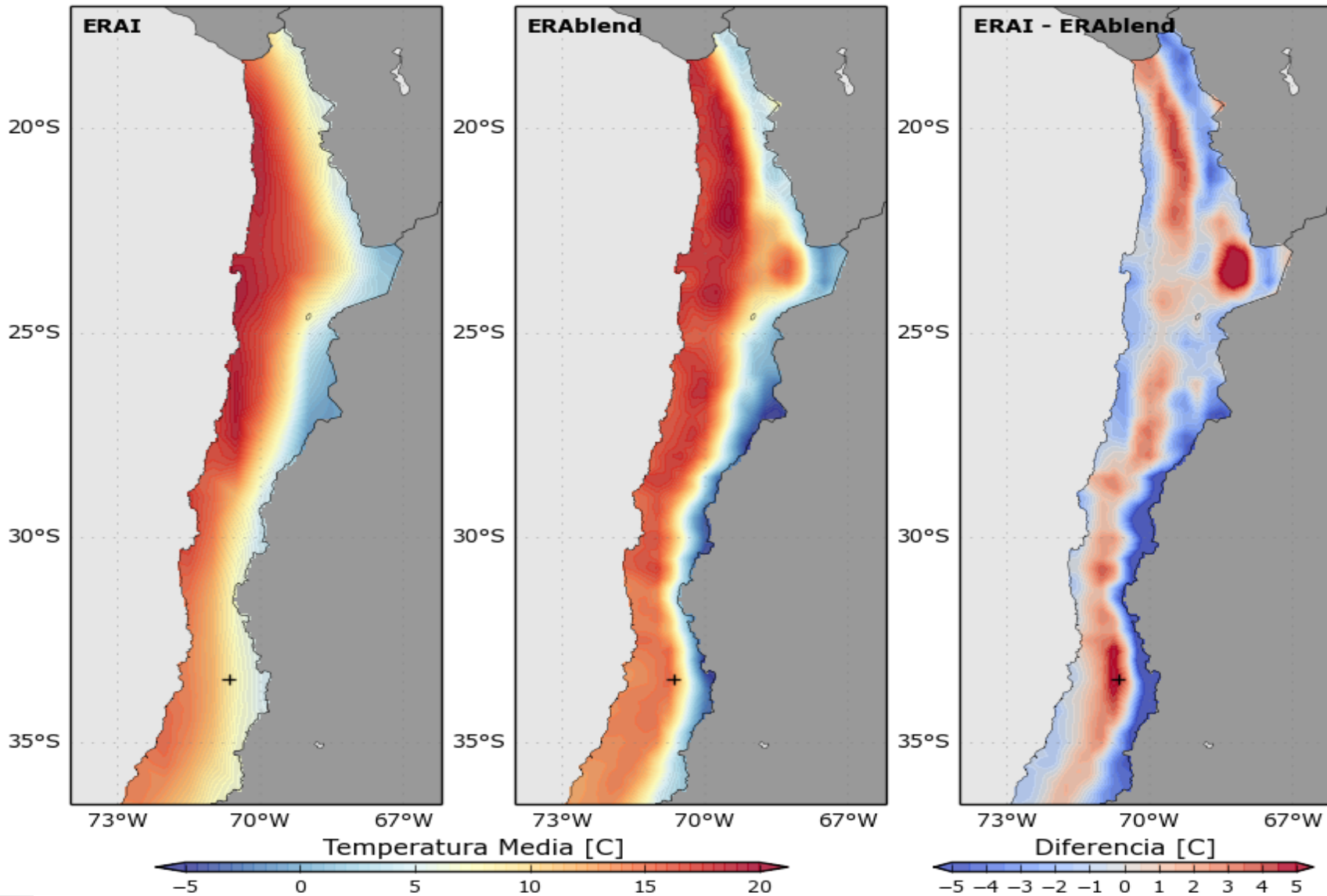
Mapa de usos de suelo para Chile con resolución de 30 metros. Fuente Zhao et al.,2016.

UNTEC

UNIVERSIDAD Y TECNOLOGIA

FUNDACION PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLOGICA

ETAPA 2: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN LAS CUENCAS DE MACROZONAS NORTE Y CENTRO



Modificaciones

ERAI res: 0,5x0,5
 ERA5 res: 0,25x0,25

Temperaturas medias anuales estimadas por cada producto de reanálisis en el periodo 1979-2016. El panel izquierdo muestra los valores estimados por el producto de reanálisis ERAI; el central, las temperaturas estimadas por el nuevo producto generado ERAblend; el panel derecho muestra las diferencias entre los valores estimados por cada producto, donde se observan claras modificaciones en algunos sectores.



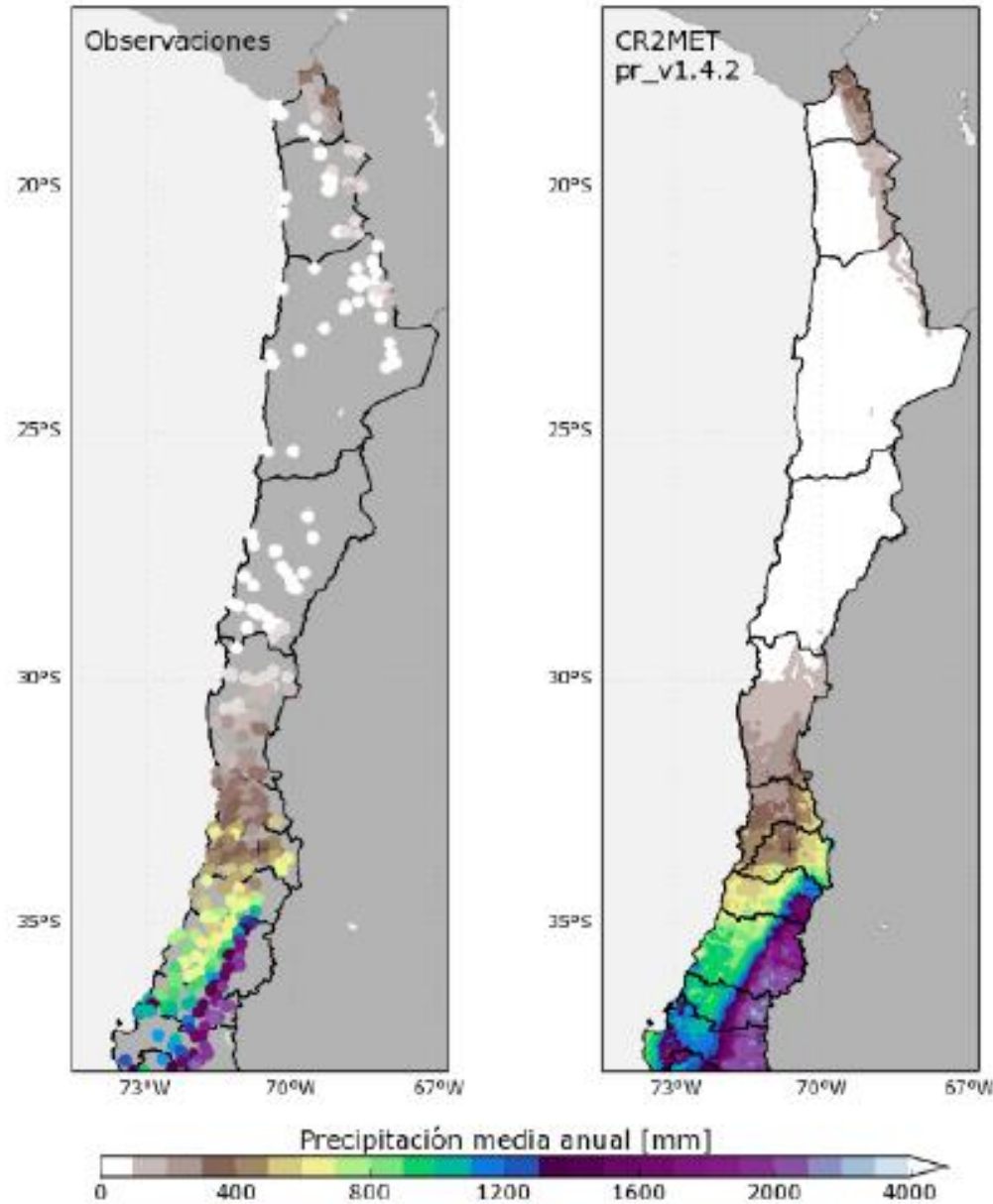
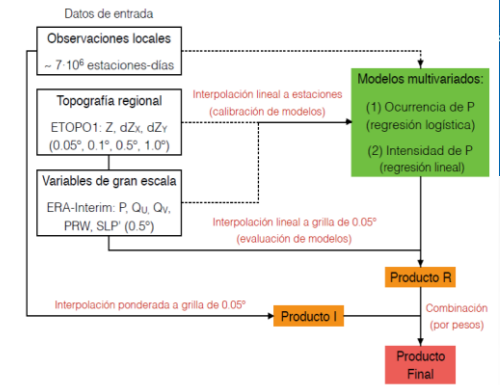


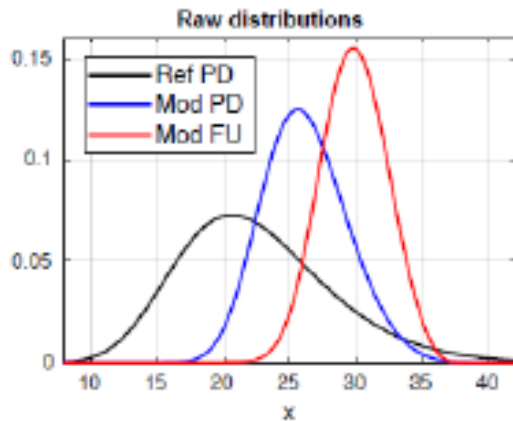
Figura 2.11: Precipitación anual media para el periodo 1979-2016 obtenido de la red de estaciones DMC-DGA (panel izquierdo) y del producto CR2MET (derecha). Notar que la escala de colores no es lineal.



Modificaciones

Se incorpora P de gran escala y P convectiva.
 ERA blend
 Filtro para ocurrencia de P

Con el fin de tener proyecciones de cambio hidrológico se plantea el uso de escalamiento estadístico considerando no estacionariedad de las series de precipitación y temperatura (obtenidas con ERA-Interim) para los 4 GCM propuestos en DGA (2017)



- Sensibilidad baja extrema CSIRO
- Sensibilidad baja moderada: CCSM4
- - Sensibilidad alta moderada: MIROC
- Sensibilidad alta extrema: IPSL

Modificaciones

De las metodologías (Delta, QM y QDM) analizadas se selecciona QDM que preserva cambios absolutos (T) o relativos (P) en los cuantiles.

Metodología

Abril/1985 - Marzo/2015
30 años

Selección de cuencas en régimen natural

- Análisis de base de datos CAMELS-CL.
- Elección en base a grado de intervención humana

Calibración de VIC en cuencas en régimen natural

- Calibración mediante SCE-UA (Búsqueda global).
- Verificación de procesos hidrológicos

Regionalización (transferencia) de parámetros

- Clasificación de pixeles
- Similitud cuenca-píxel.

Demanda de Riego

Aporte glaciar

Modelación hidrológica regional

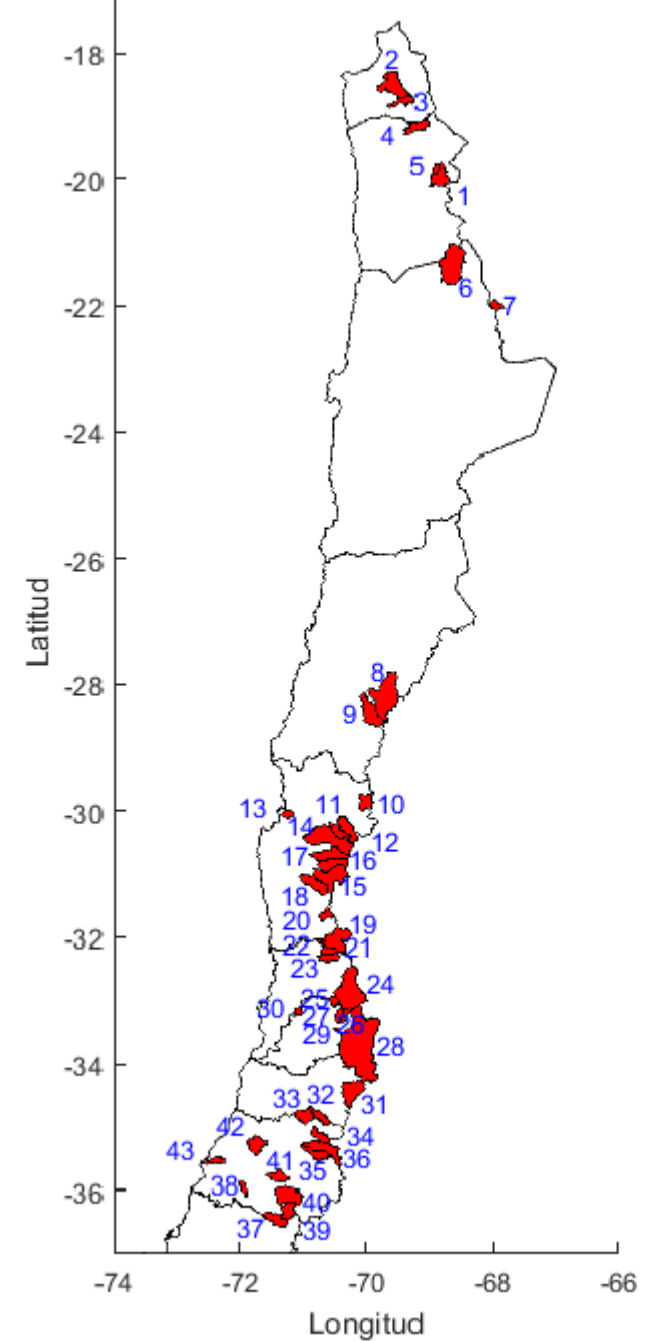
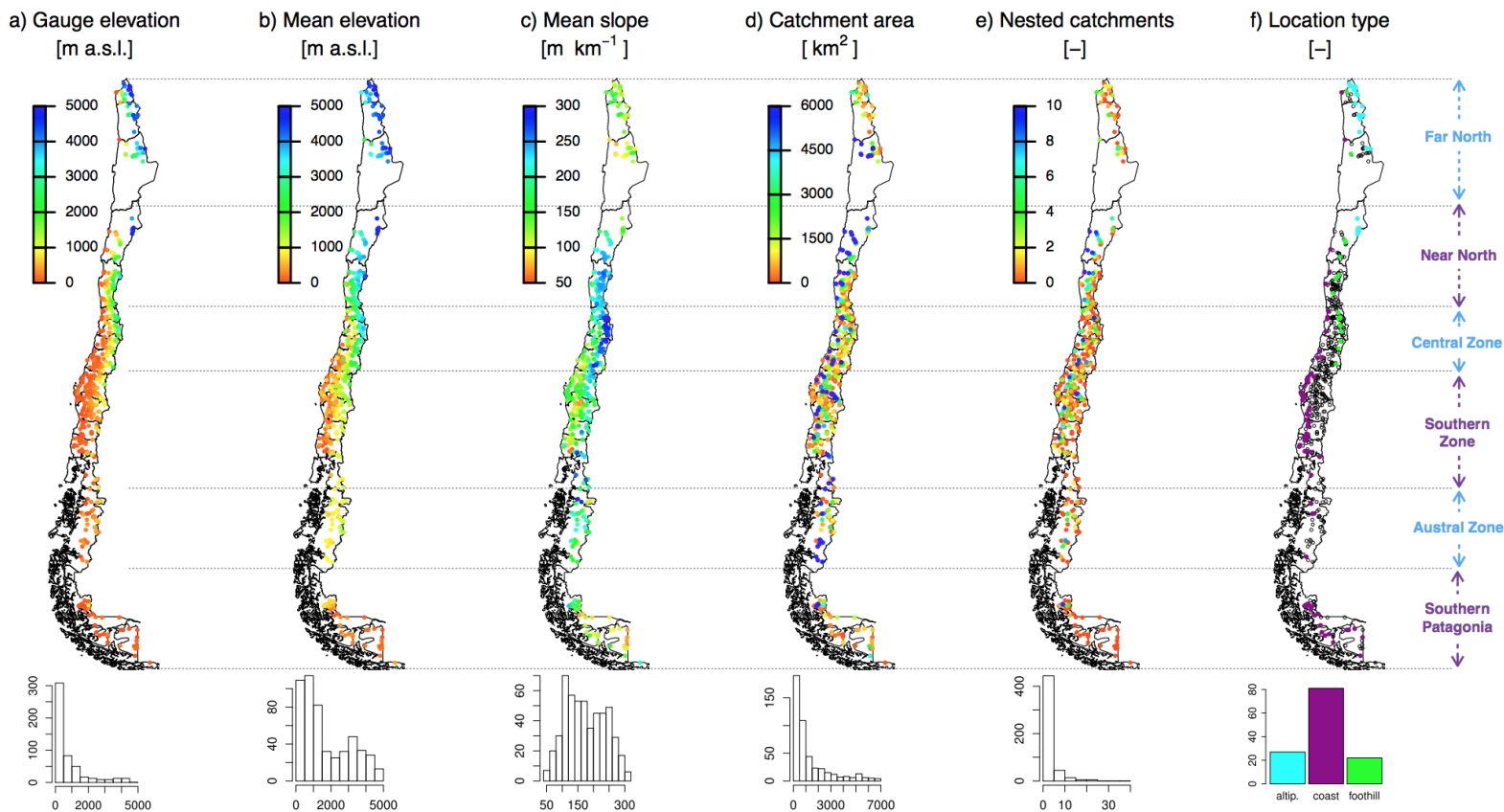
- Transferencia de parámetros a cuencas no controladas.
- Verificación de procesos hidrológicos.
- Incorporación de aporte glaciar y riego

$$Q_{\text{final}} = Q_{\text{VIC}} + Q_{\text{glaciar}} - Q_{\text{riego}}$$

Estimación del balance hídrico bajo escenarios de cambio climático

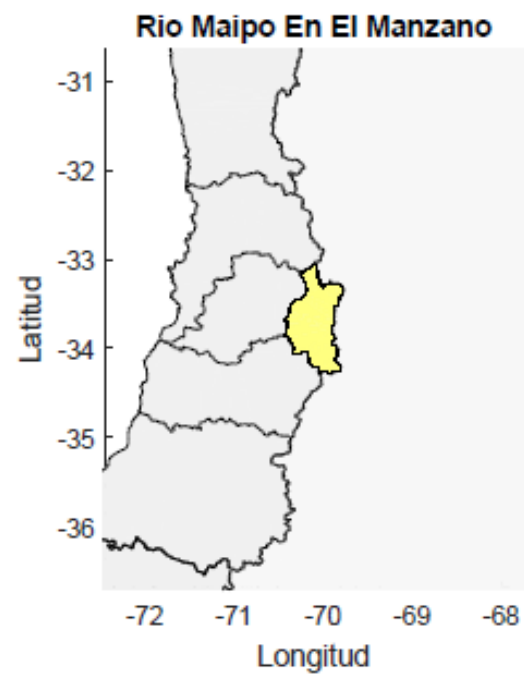
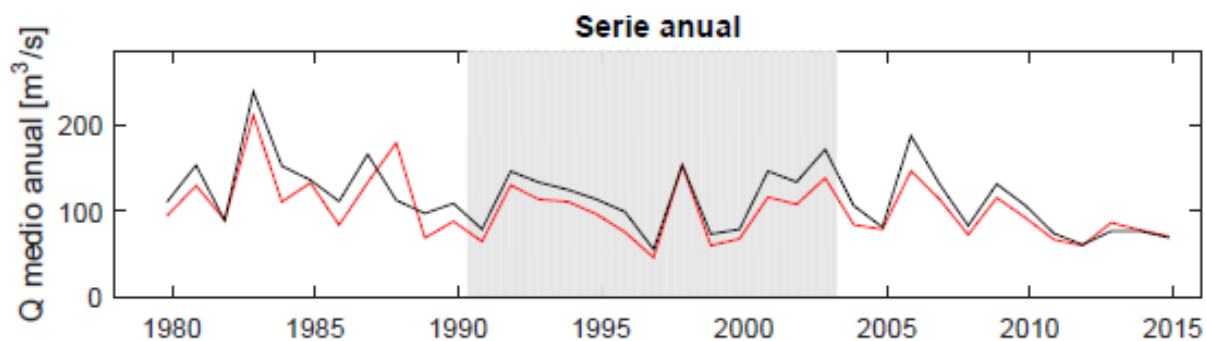
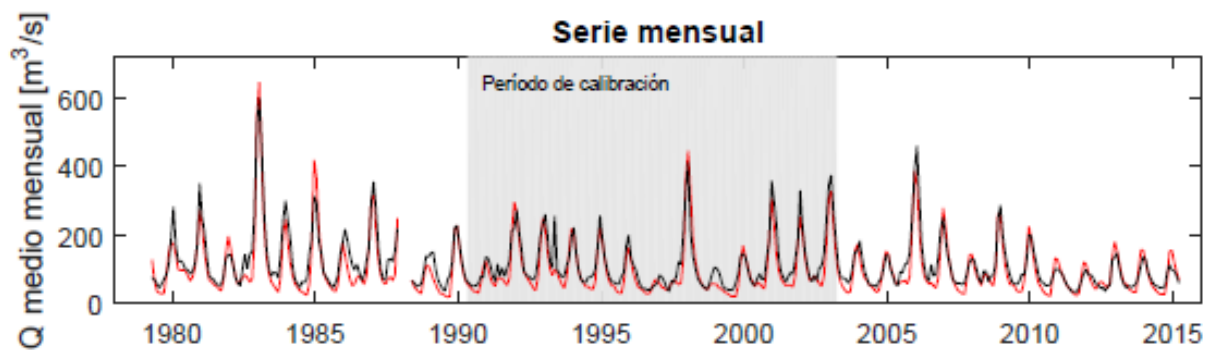
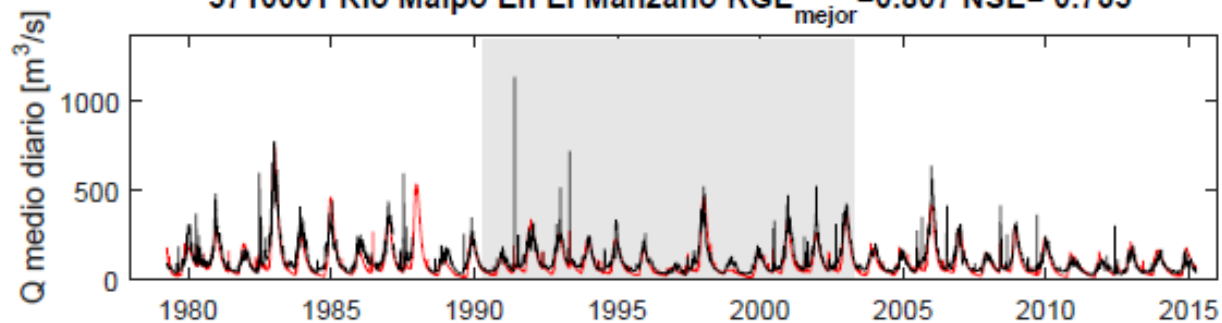
Cuencas en Régimen natural

Base de datos CAMELS

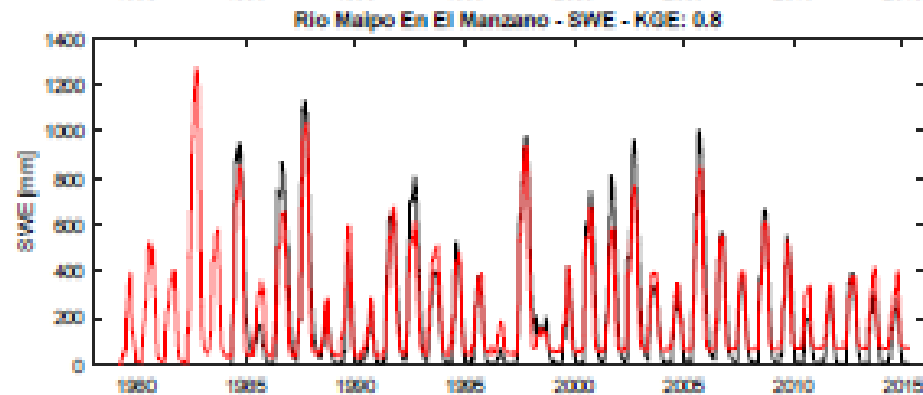
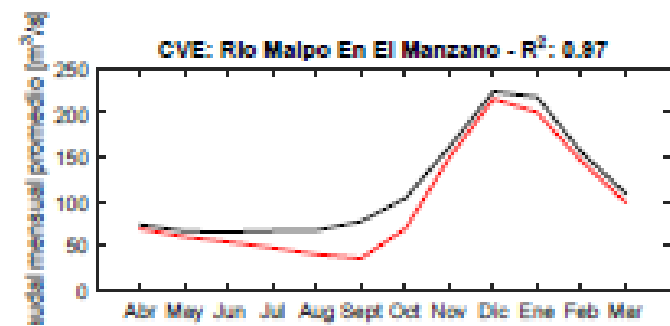
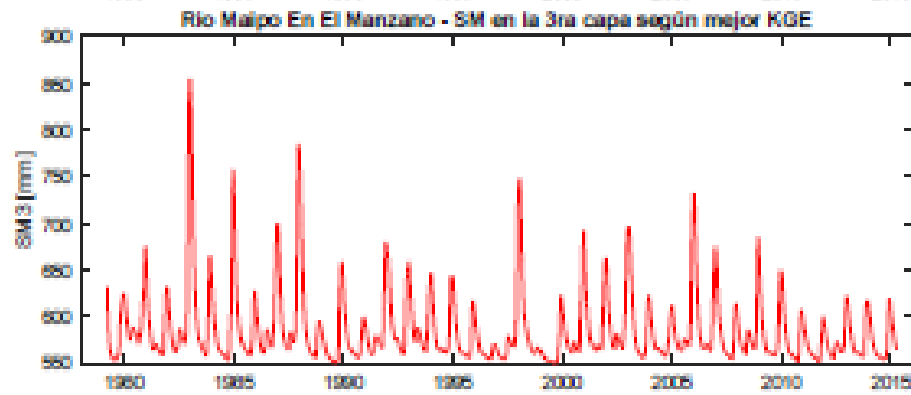
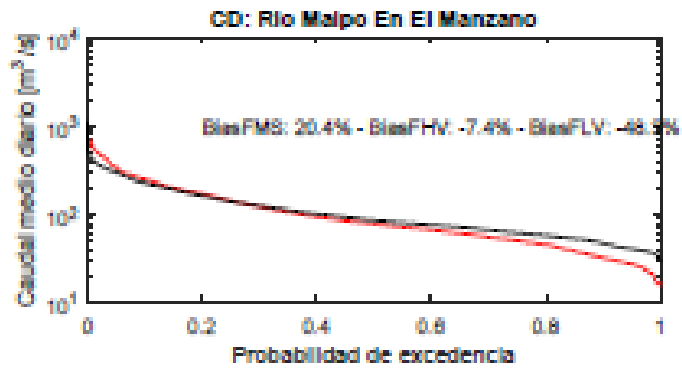
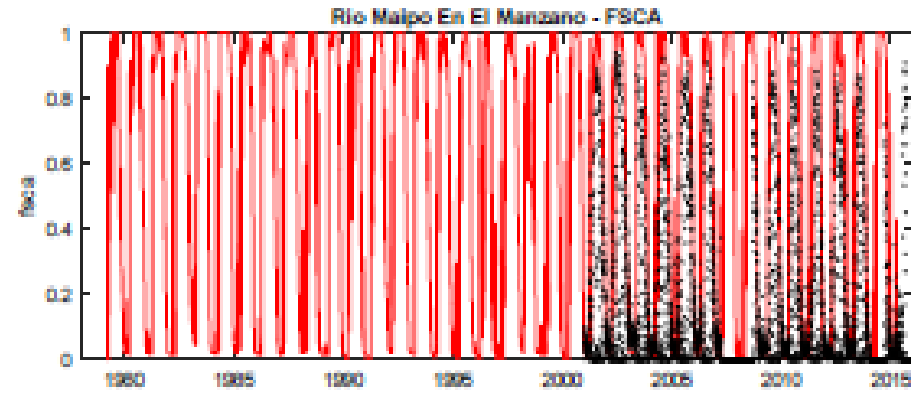
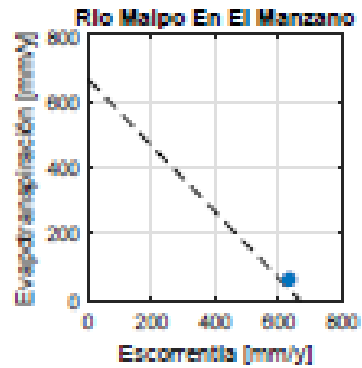


Calibración

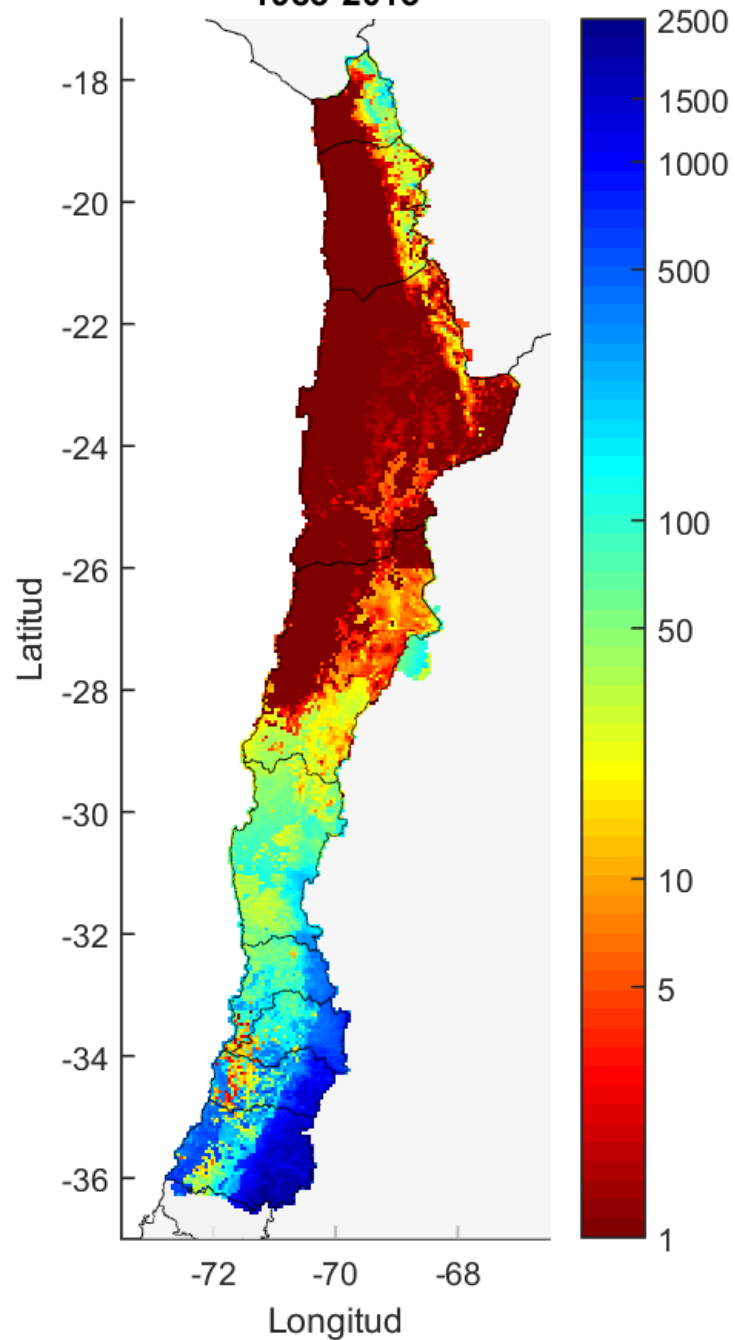
5710001 Rio Maipo En El Manzano KGE_{mejor} = 0.807 NSE = 0.735



Calibración



**Escorrentía
1985-2015**

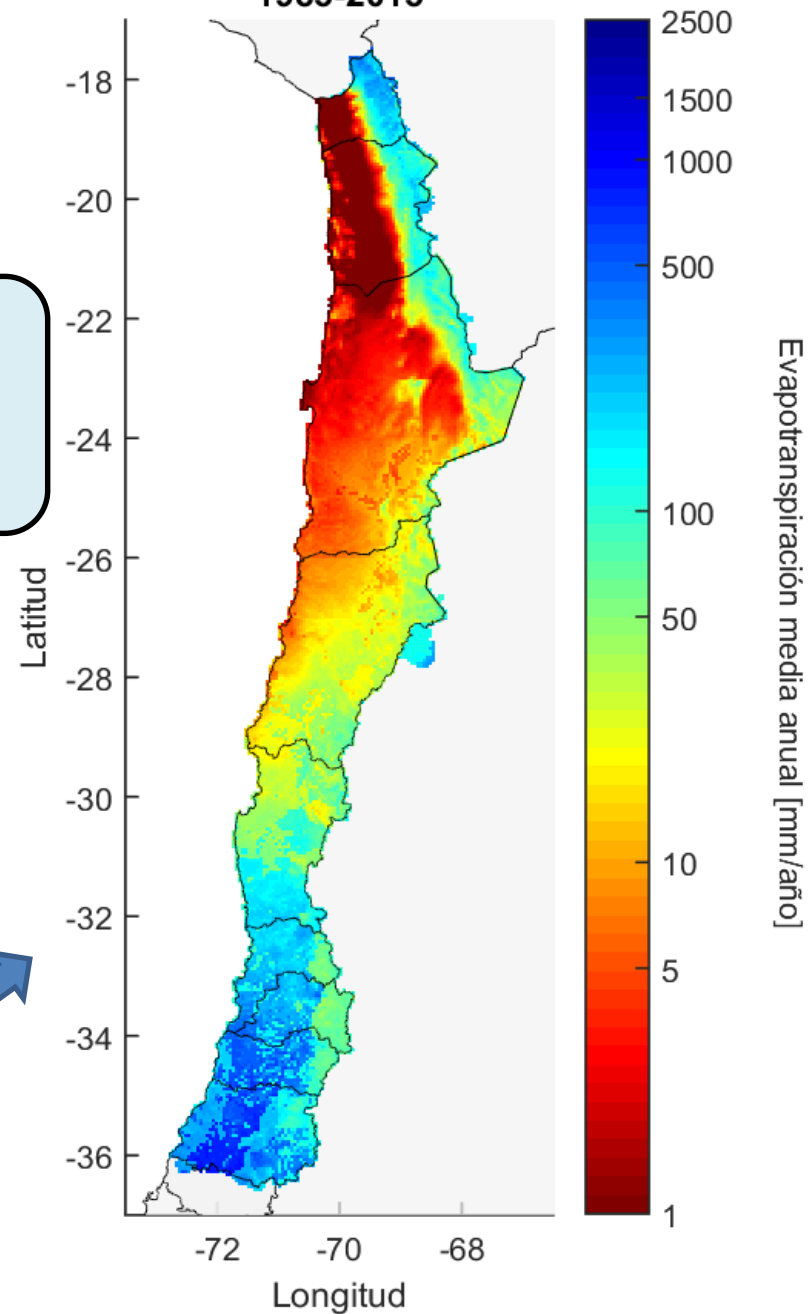


- ESCORRENTÍA ANUAL PROMEDIO
ABRIL 1985- MARZO 2015

Modelación hidrológica regional

- Transferencia de parámetros a cuencas no controladas.
- Verificación de procesos hidrológicos.
- Incorporación de aporte glaciar y riego

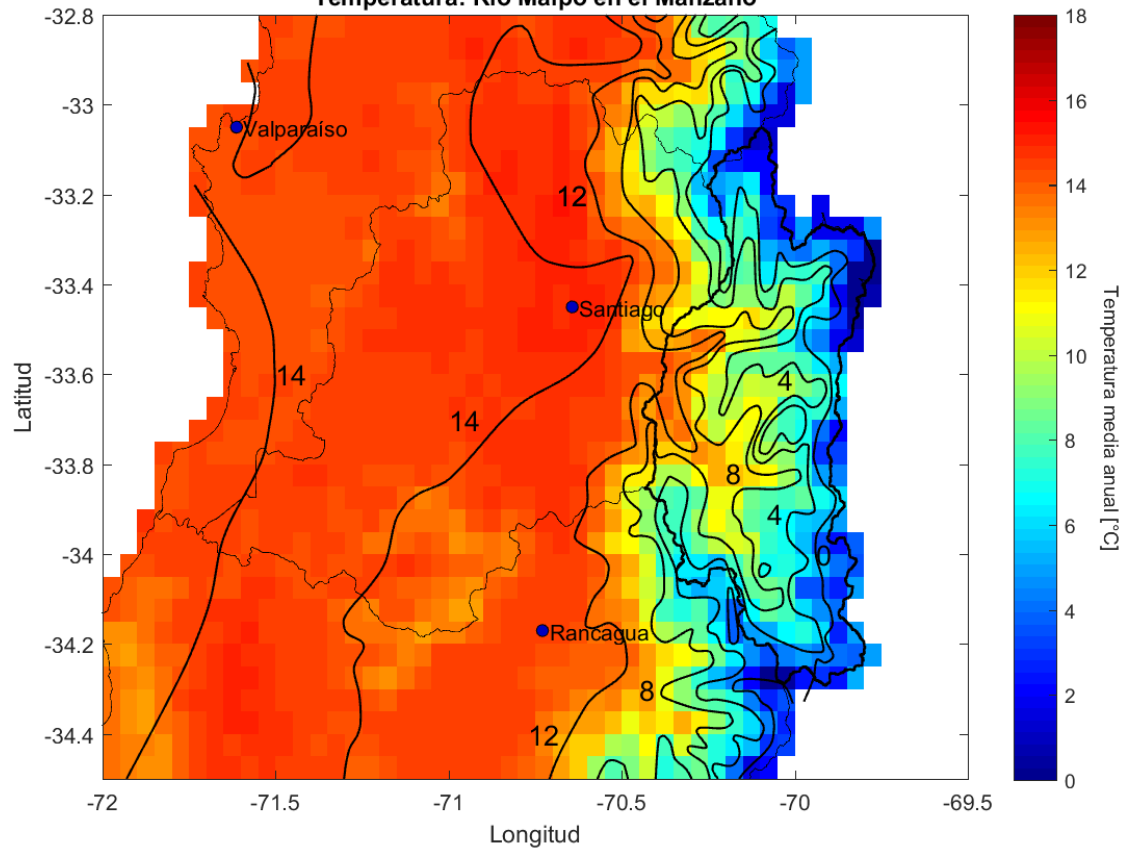
**Evapotranspiración natural
1985-2015**



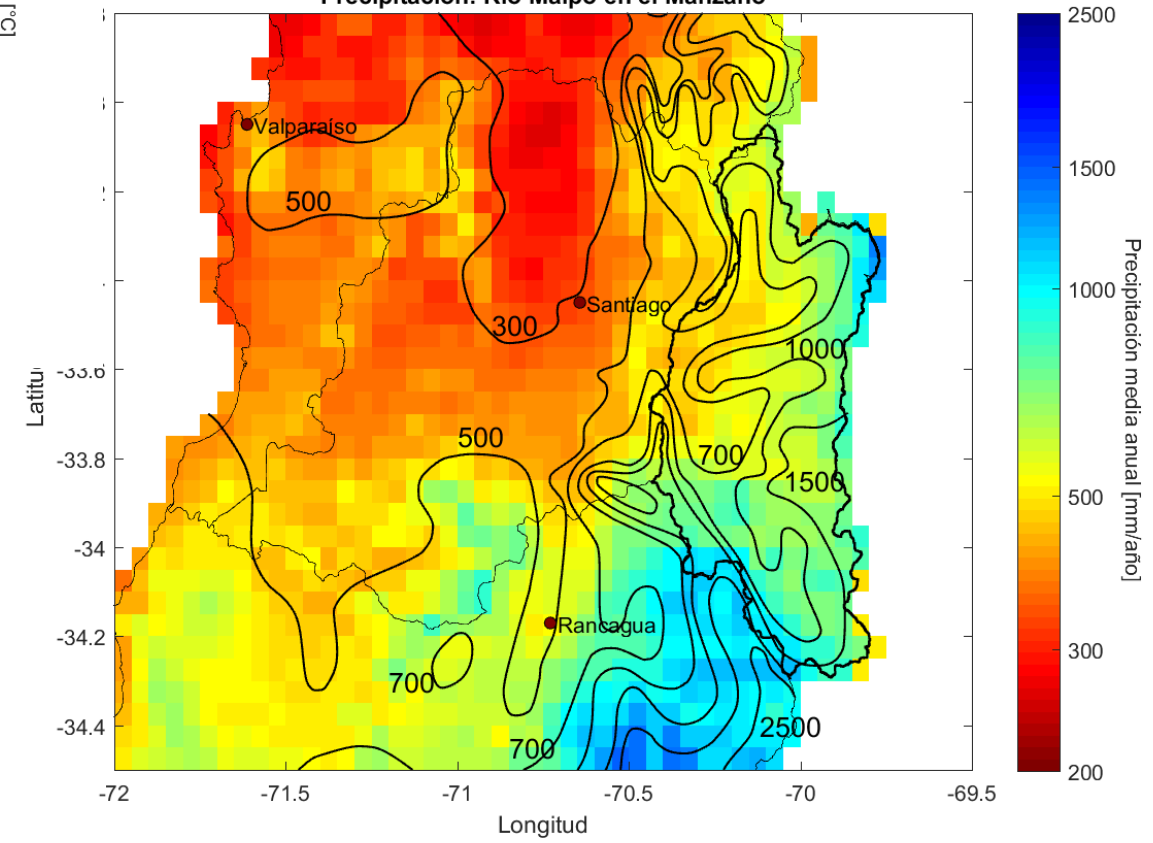
- EVAPOTRANSPIRACION anual
promedio abril 1985- marzo 2015

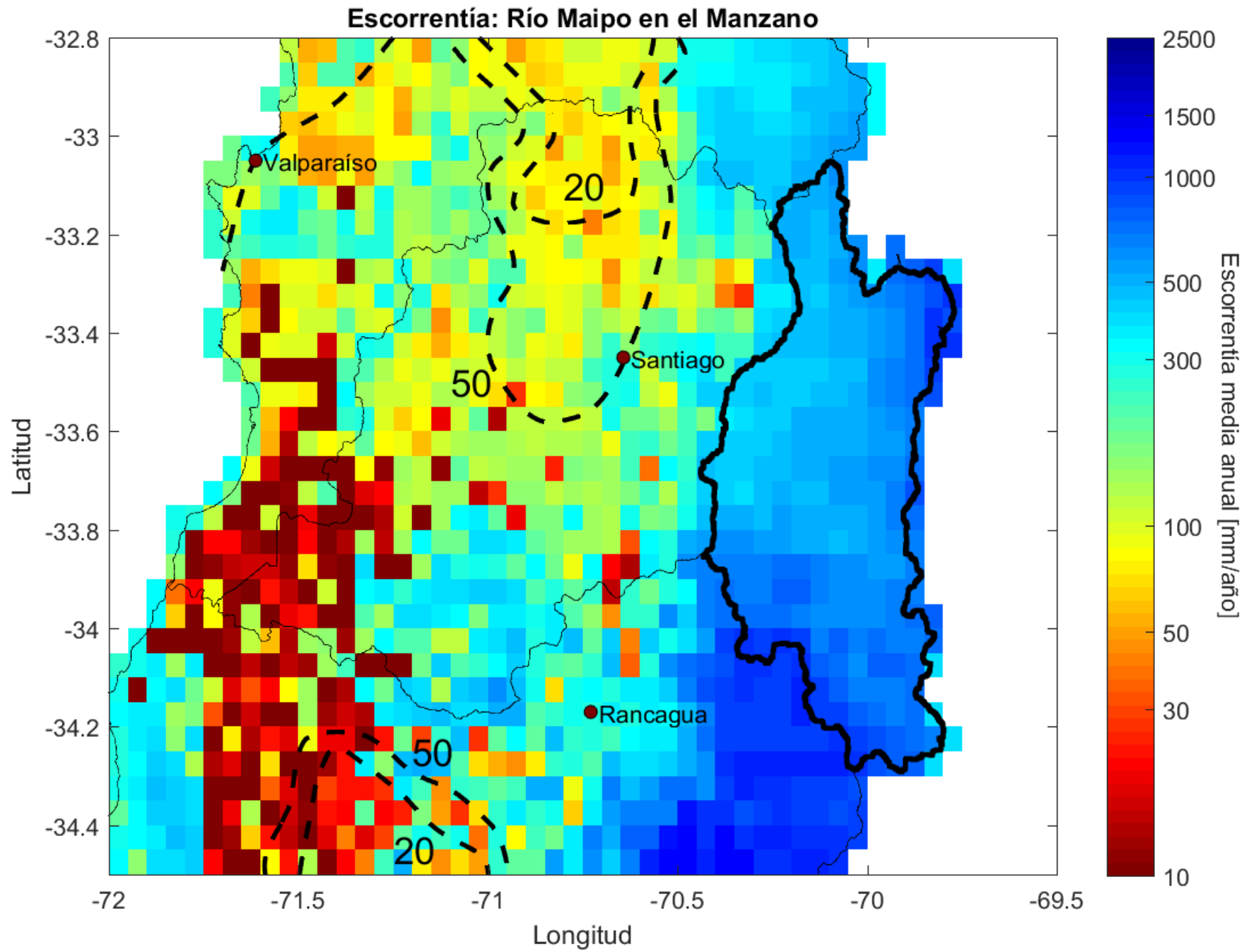
Detalle en Cuenca Maipo

Temperatura: Río Maipo en el Manzano

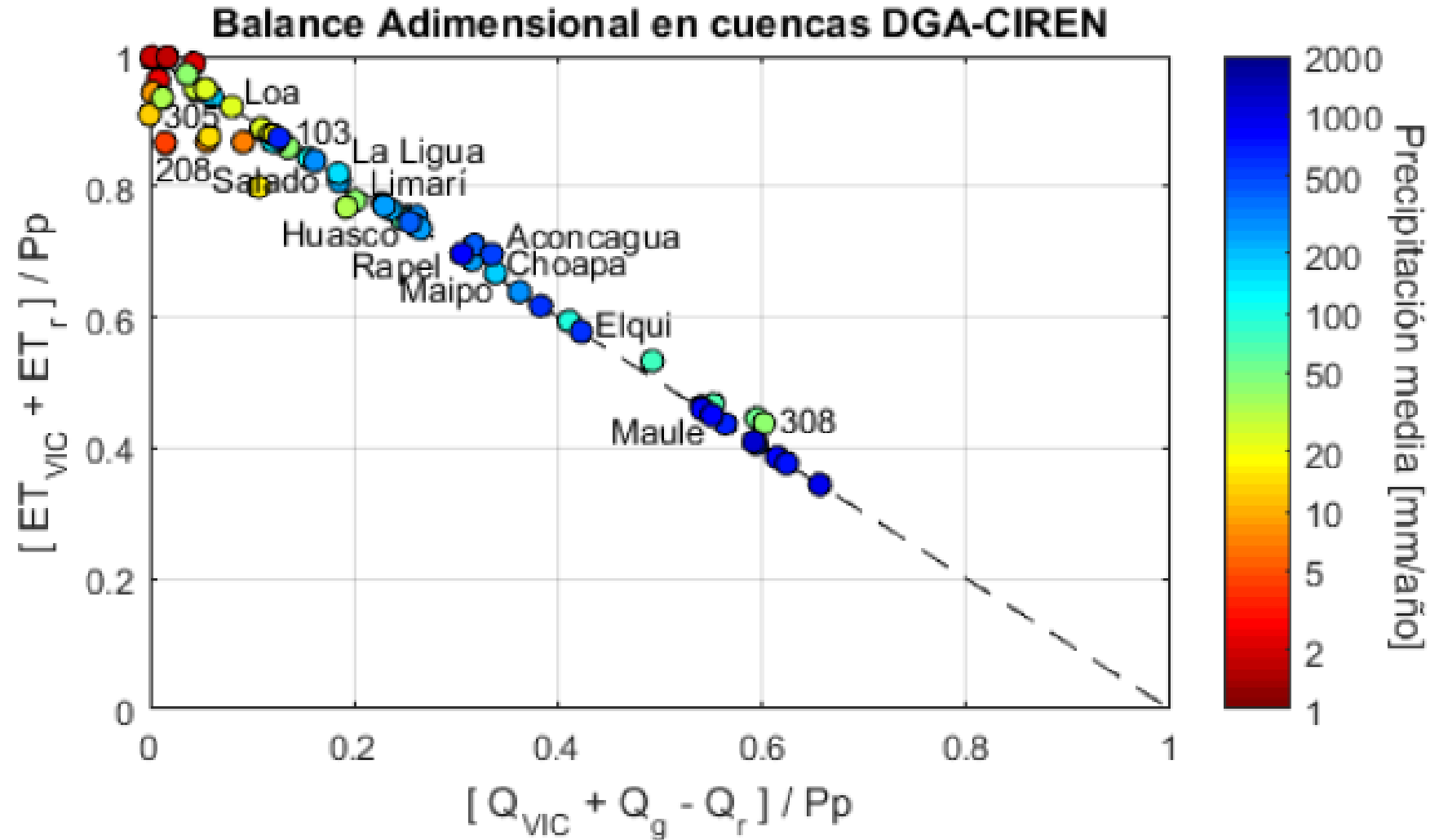


Precipitación: Río Maipo en el Manzano



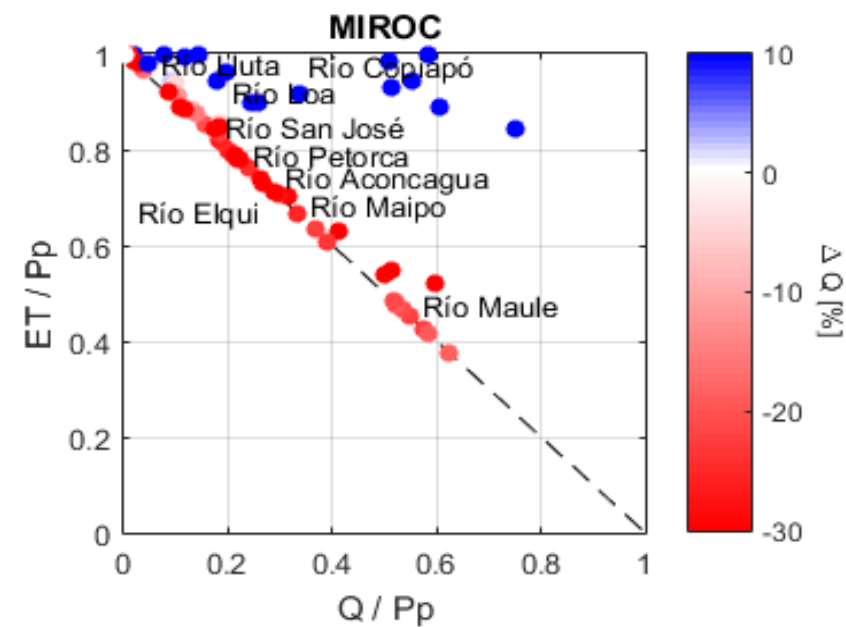
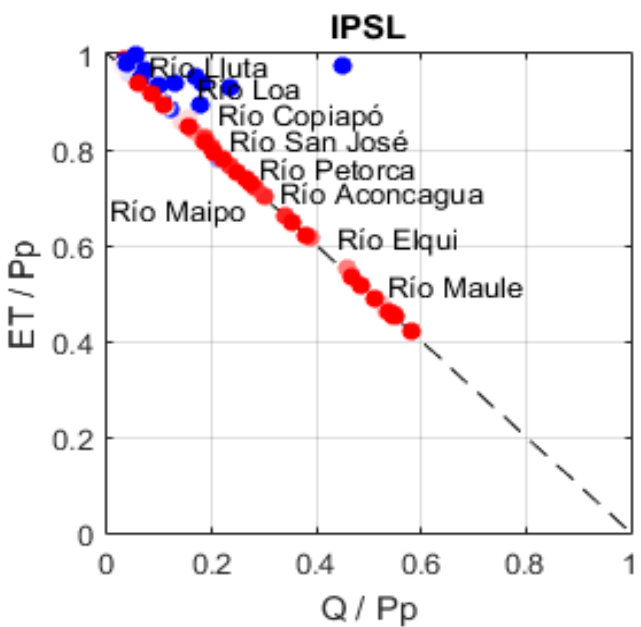
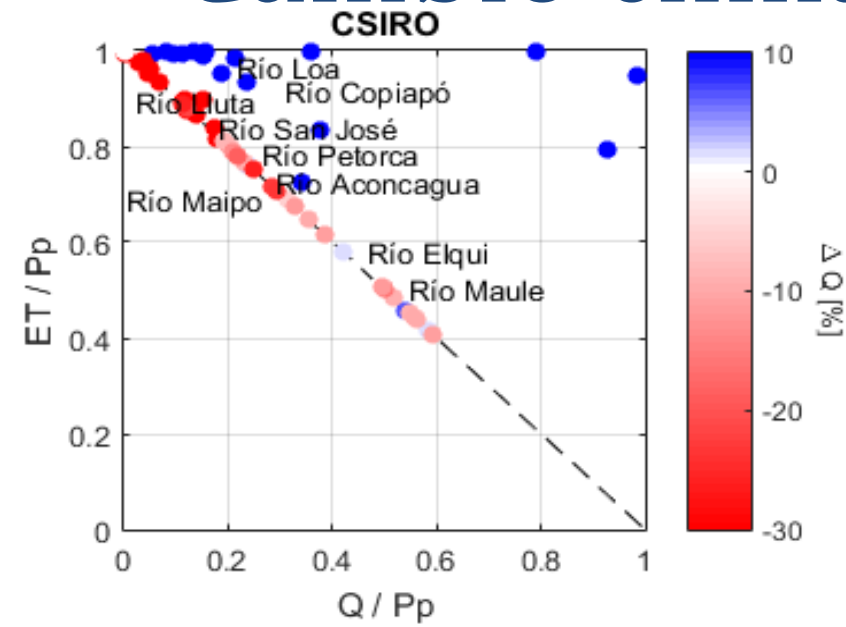
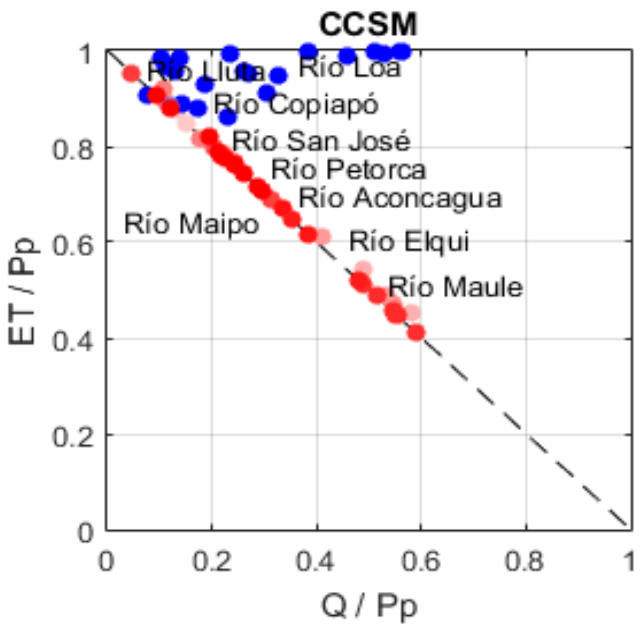


BALANCE ADIMENSIONAL 1985-2015



Cambio climático

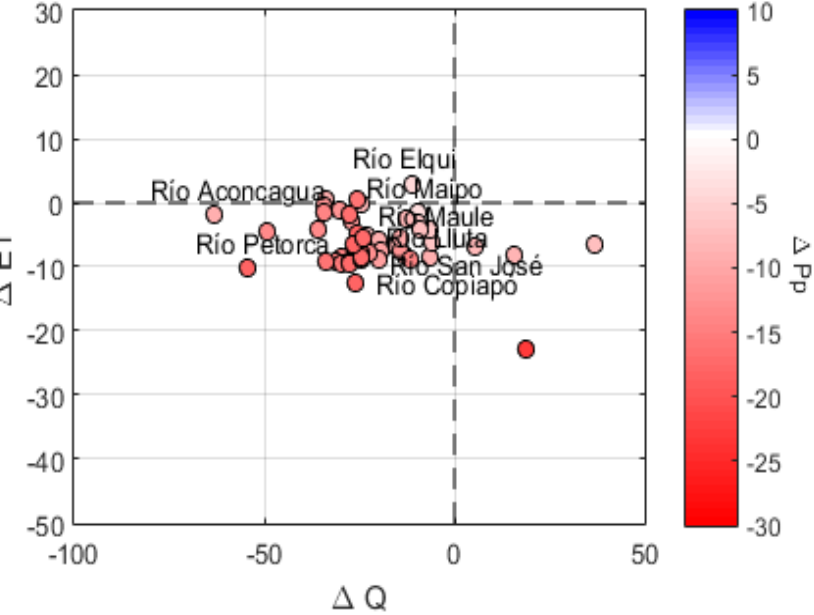
2030-
2060



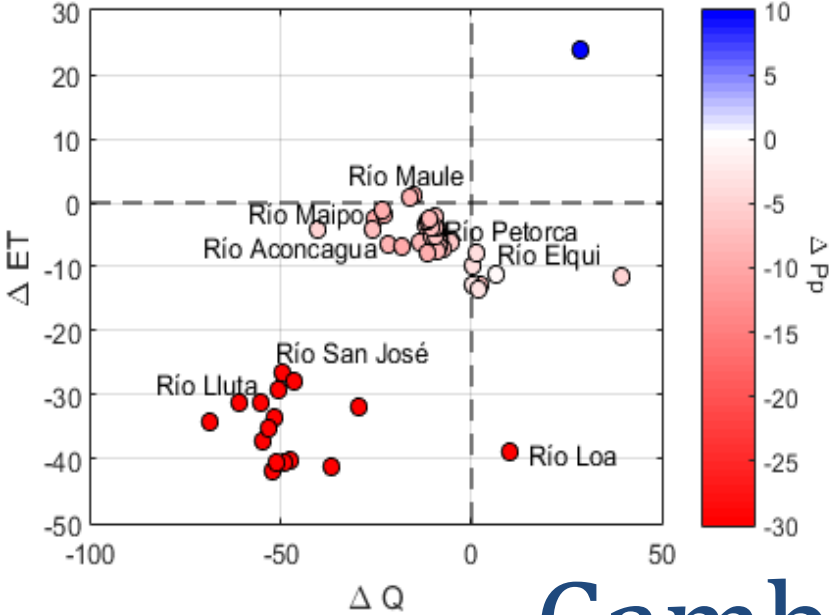
2030-2060

Cambio climático

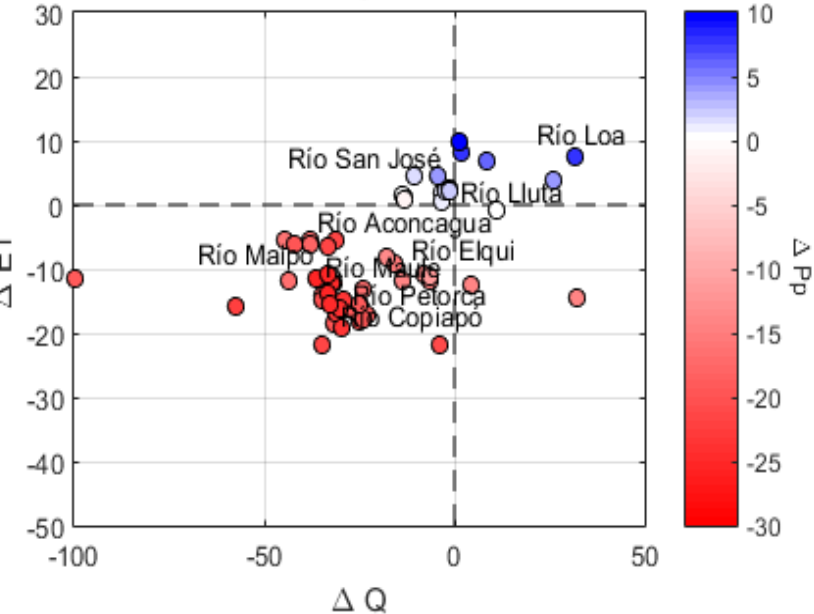
CCSM



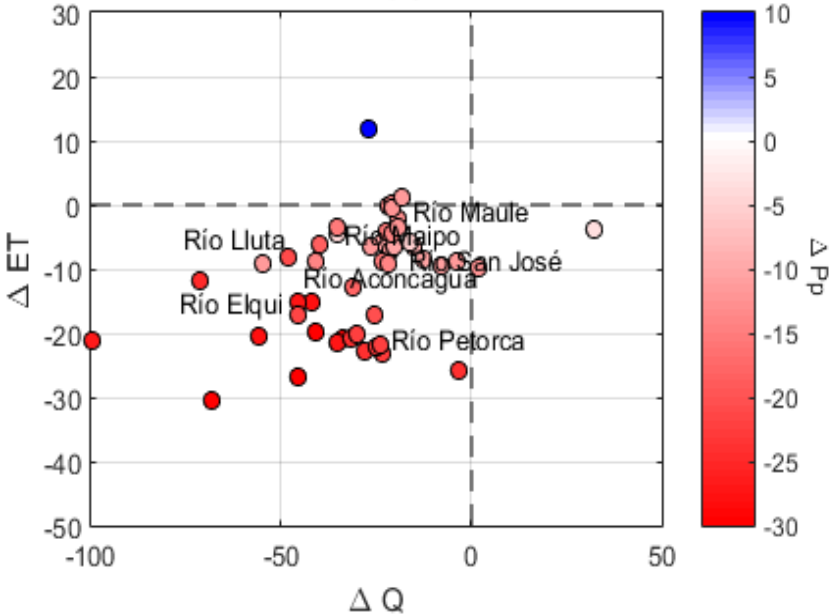
CSIRO

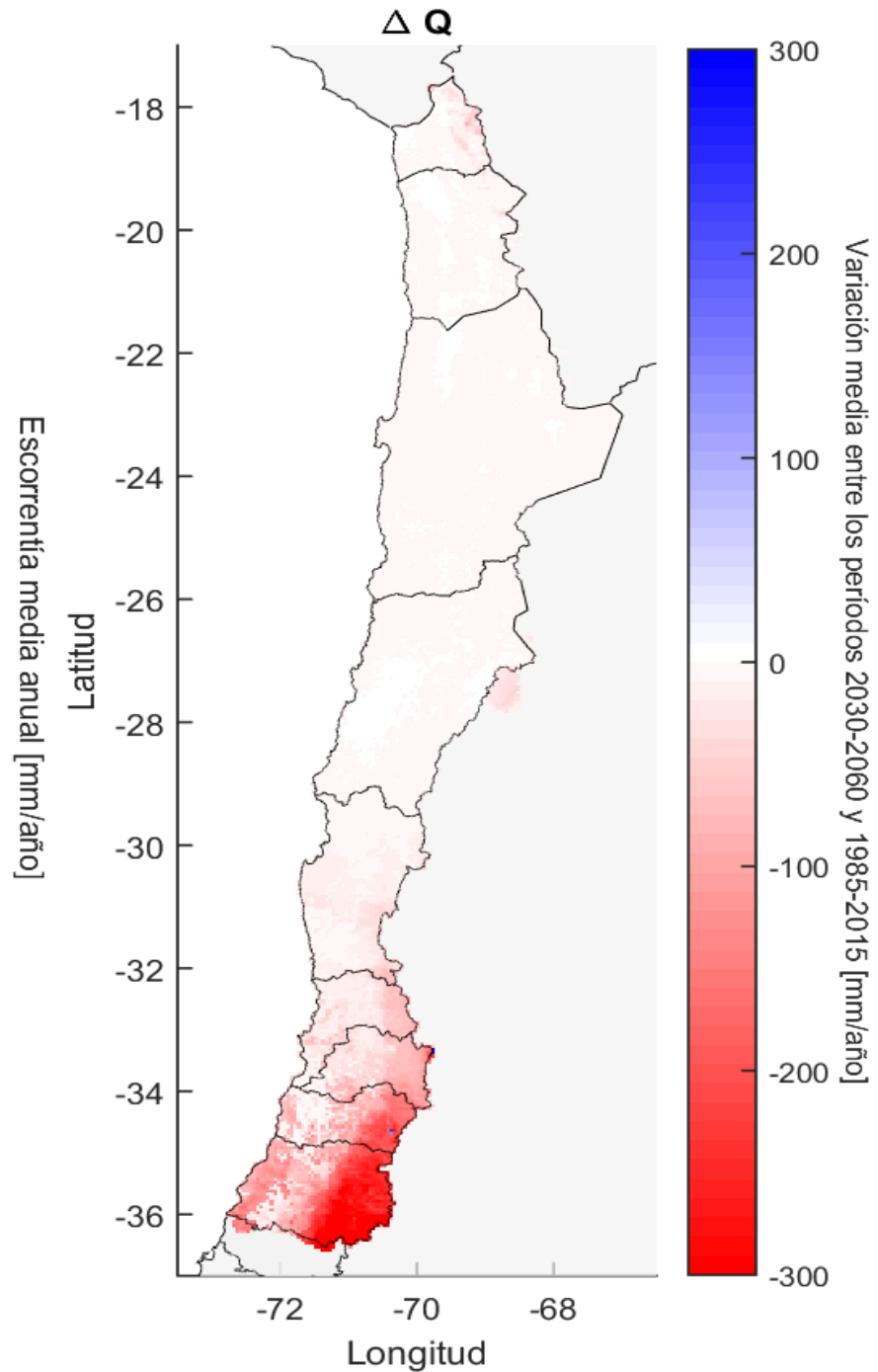
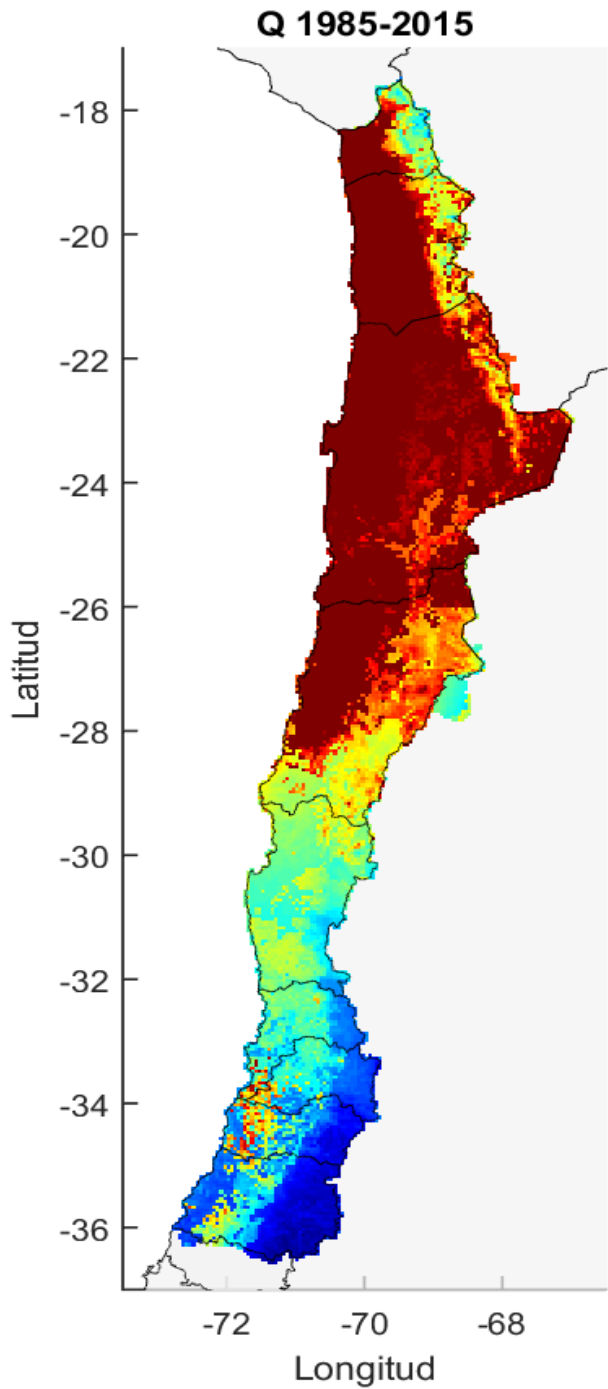


IPSL

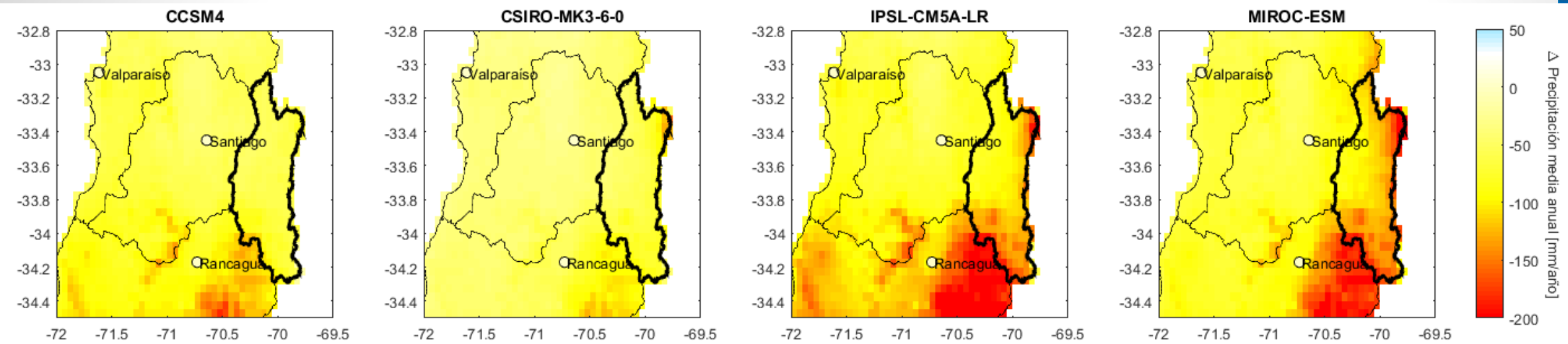


MIROC

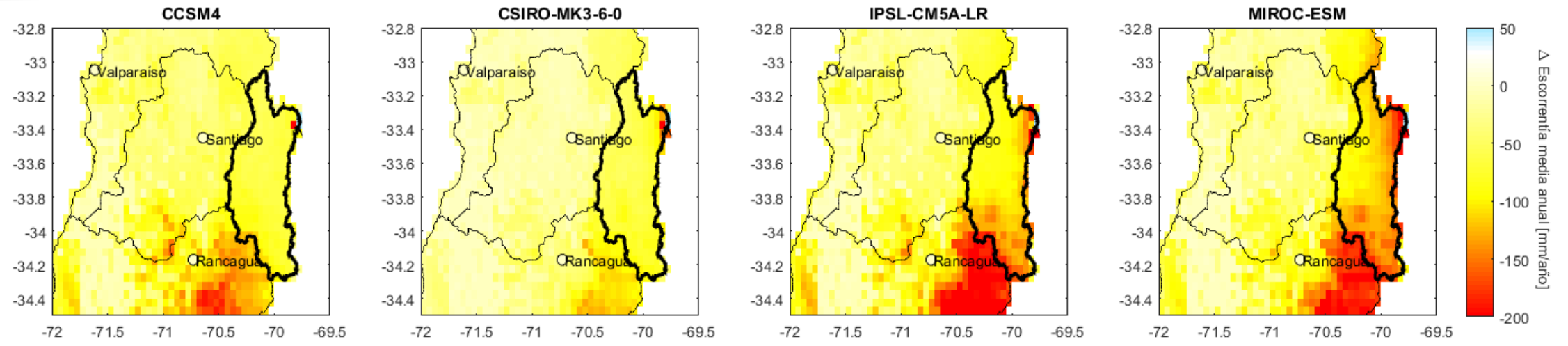




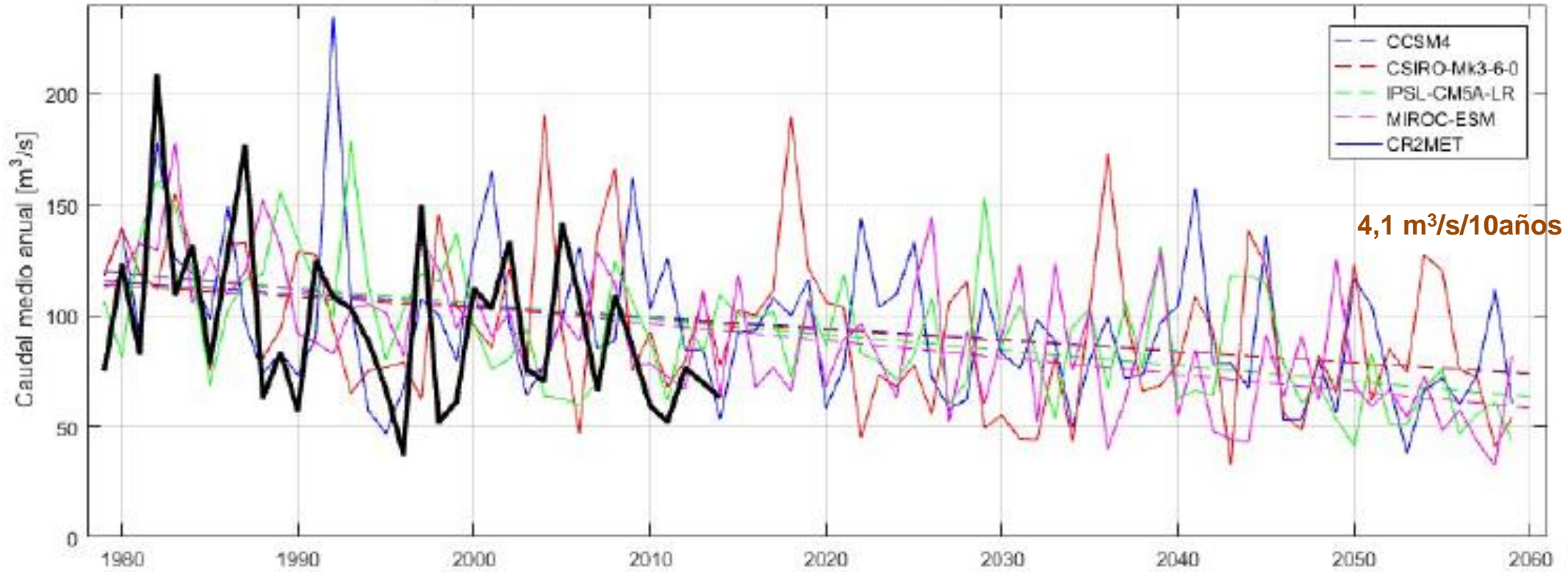
**2030-
2060**



VARIACIÓN DE P y Q (mm/año) en Maipo en el Manzano en 2030-2060 respecto a 1985-2015



Estimación de Q_{ma} bajo distintos modelos de cambio climático para la cuenca río Maipo en el Manzano

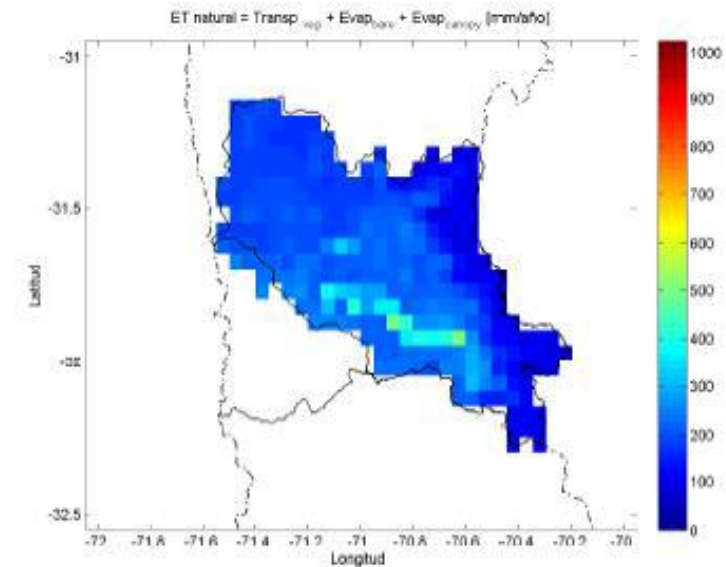


4,1 m³/s/10años

6,7 m³/s/10años

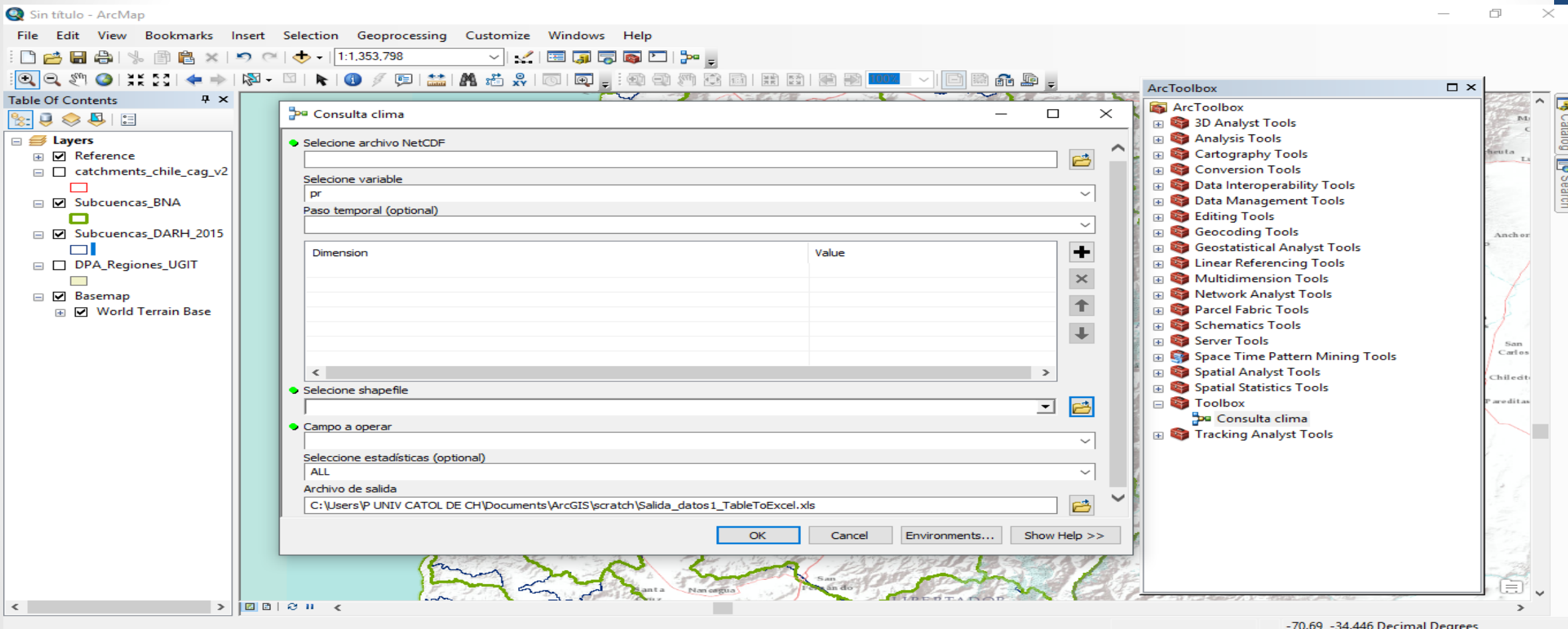
Producto SIG

- Forzantes meteorológicas:
 - Precipitación
 - Temperaturas extremas
 - Viento
- Productos VIC
 - Evapotranspiración potencial
 - Evapotranspiración real (con y sin riego)
 - Caudal en régimen natural
 - Recarga de acuíferos
 - Humedad de suelo
 - Sublimación
 - Equivalente en agua de nieve (SWE)



(b) ET modelada por VIC. No incluye sublimación

Producto SIG Herramientas



Construidas para ArcGIS versión 10.3 con respaldos en versión 10.2 y 10.0.
Almacenadas en ToolBoxes. Diseñadas en ModelBuilder o python directamente para consultas más específicas.

Oportunidades y limitaciones

- Se cuenta con **información meteorológica de base** que puede ser utilizada posteriormente por cualquier modelo hidrológico.
- Se tiene una herramienta (y no sólo un dato) la que **debe ser constantemente actualizada y/o modificada**.
- Se puede obtener **información hidrológica para múltiples escalas temporales**.
- Se pueden generar **escorrentía y caudal asociado a cualquier cuenca o delimitación geográfica**, teniendo en consideración las limitaciones metodológicas.

Oportunidades y limitaciones

- **No es un modelo de gestión y asignación de recursos.**
- **No se representan todos los componentes del balance.** Por ejemplo, evaporación de aguas en zonas urbanas.
- Algunos componentes están **representados de manera acoplada** (ejemplo: procesos físicos en glaciares).
- **Algunos componentes tienen limitaciones** (e.g., representación de los flujos de aguas subterráneas).
- No se aborda la problemática de **incertidumbre hidrológica**.
 - Forzantes meteorológicas.
 - Estructuras de modelos.
 - Parámetros.
 - Observaciones de almacenamientos y flujos.

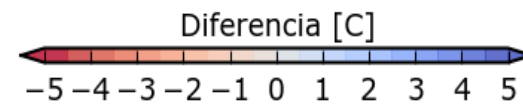
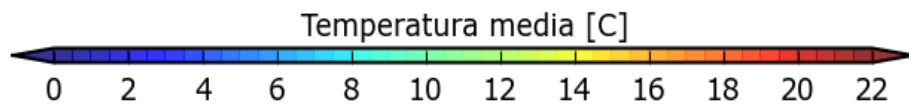
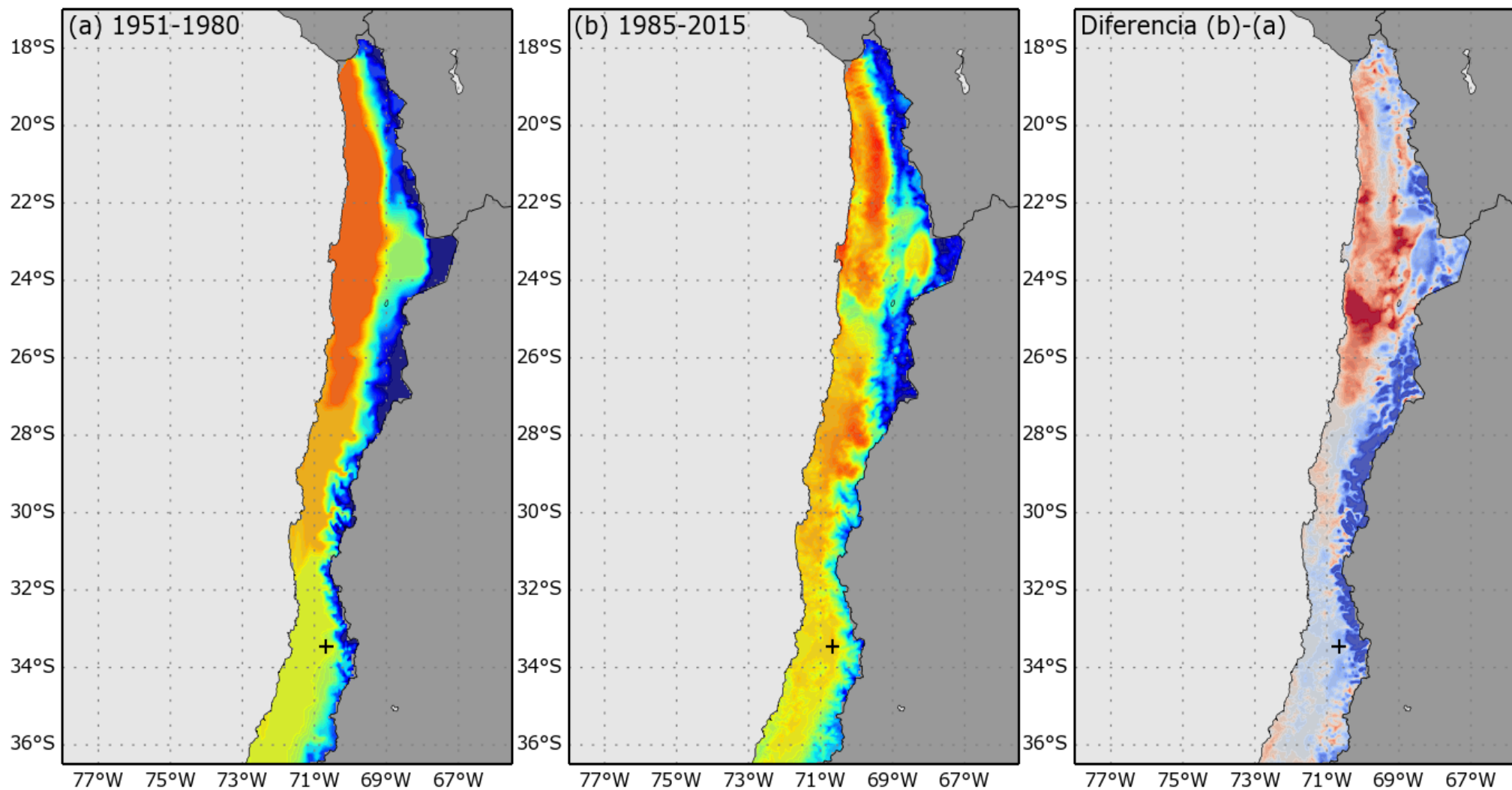
GRACIAS POR SU ATENCIÓN

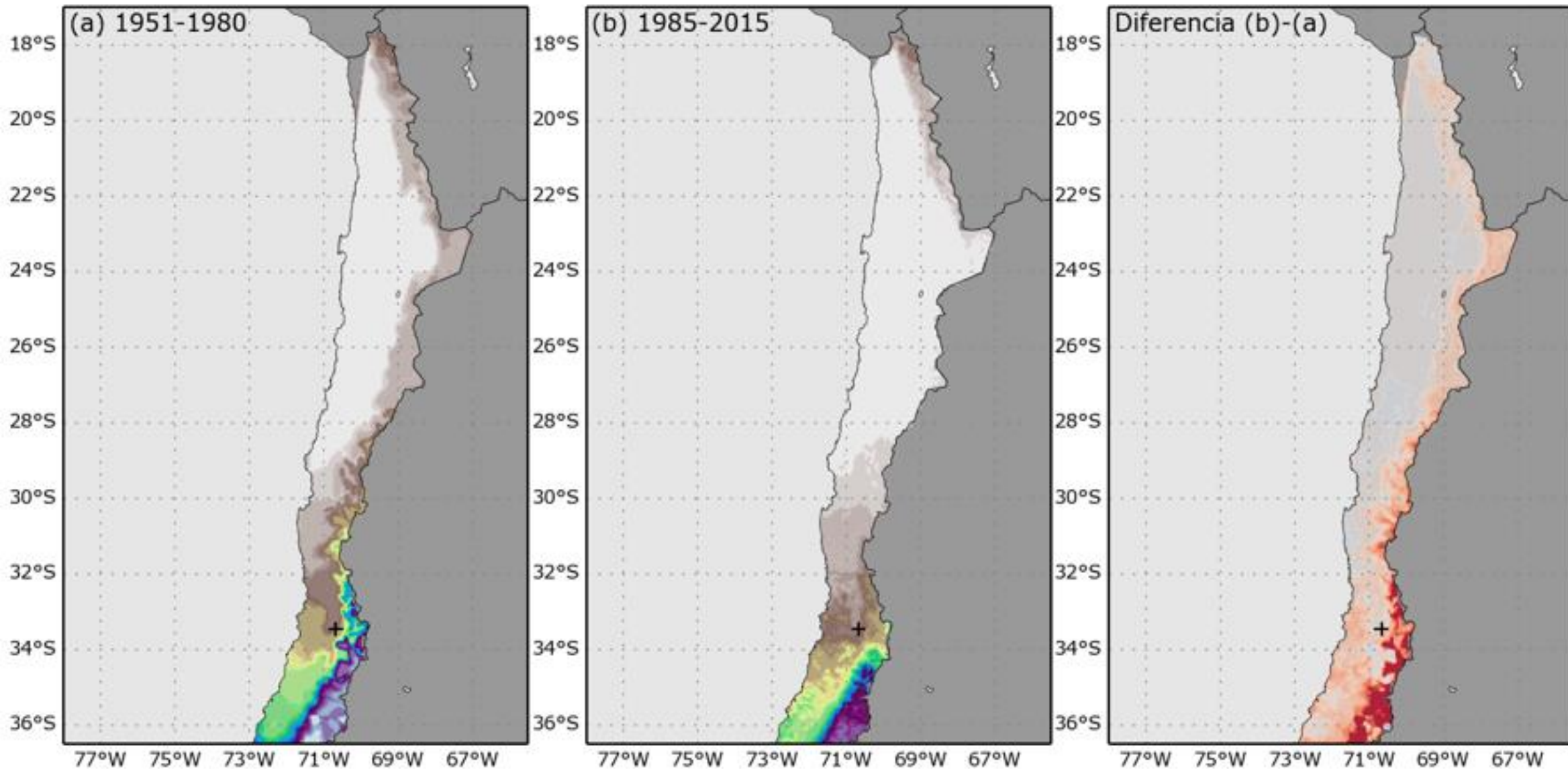
Agradecimientos

Powered@NLHPC: Esta investigación fue parcialmente apoyada
por la
infraestructura de supercómputo del NLHPC (ECM-02)

ANEXO

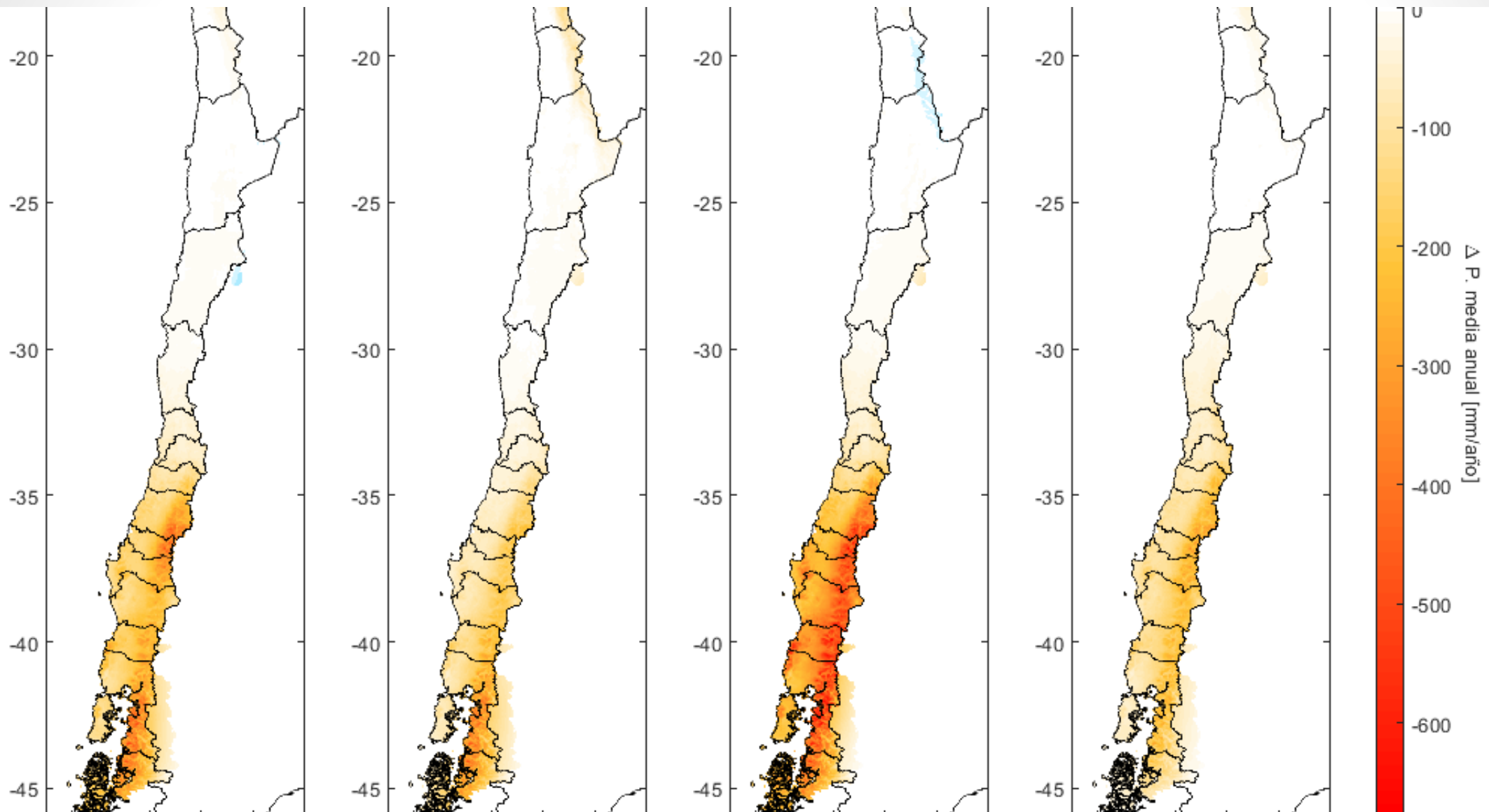
Comparación con Balance Hídrico 1987





ANEXO

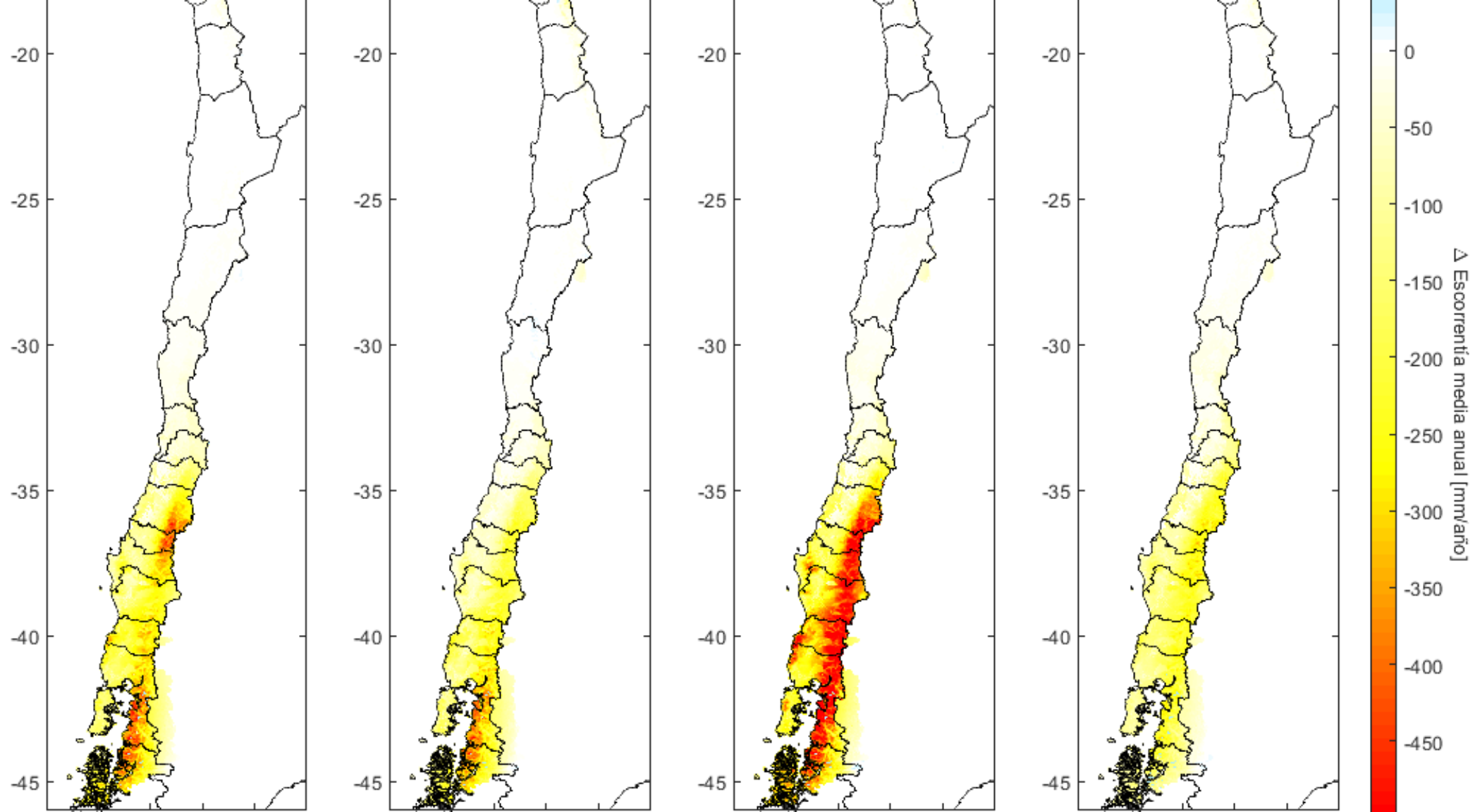
Variación P y Q en 2030-2060



Variación de P

UNTEC

UNIVERSIDAD Y TECNOLOGIA
FUNDACION PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA



Variación de Q

UNTEC

UNIVERSIDAD Y TECNOLOGIA
FUNDACION PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA