

Actualización del Balance Hídrico Nacional

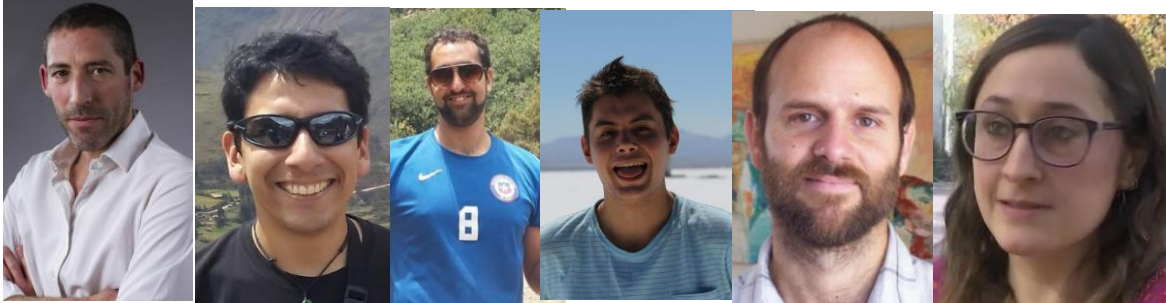
25 de Junio ,2019

Los Autores

Jefa de Proyecto
Ximena Vargas



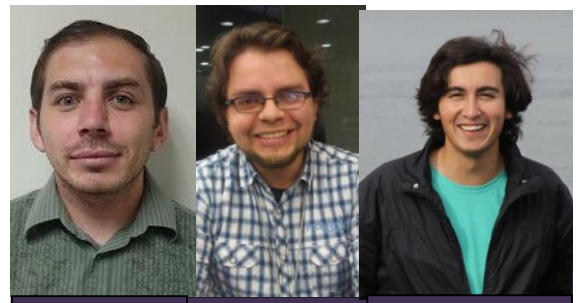
Hidrología



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

Objetivo

- Estimación del balance hídrico a nivel nacional
 - Estimación de almacenamientos (nieve y humedad del suelo)
 - Estimación de variables meteorológicas
 - Estimación de flujos (escorrentía, evapotranspiración)
 - Estimación de demanda evapotranspirativa en zonas cultivadas
 - Estimación de aporte glaciar

Énfasis en la variabilidad espacial y temporal de los resultados generados.

Etapas del Proyecto

Etapa I

Definición de Metodología y Aplicación en 5 cuencas piloto 2016/17

Etapa II

Aplicación de la metodología en cuencas de macrozonas norte y centro 2017/18

Etapa III

Aplicación de la metodología en cuencas de macrozonas sur y parte norte de la austral 2018/19

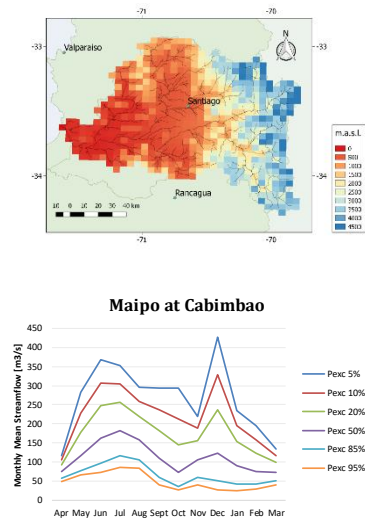
Etapa 1: Enfoque Metodológico

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

Metodología Balance Hídrico (2017)

1. Caracterización de cuenca

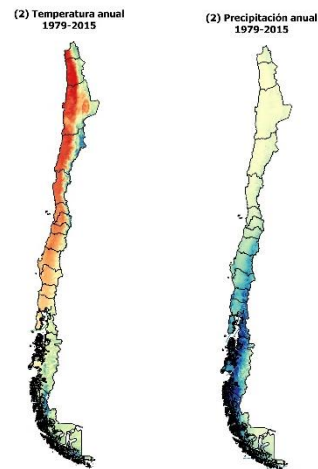
- Geomorfología
- Geología
- Cobertura vegetal
- Hidrología



2. Forzantes Meteorológicas

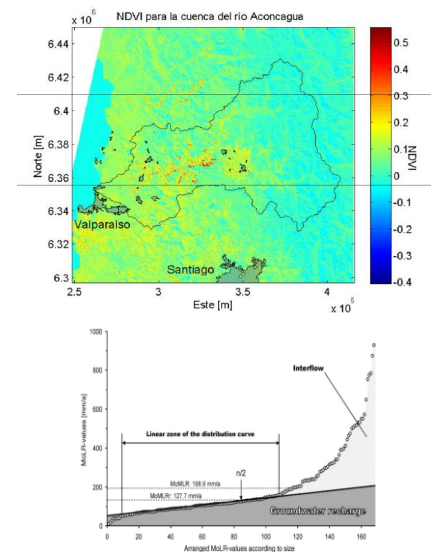
- Precipitación
- Temperaturas extremas
- Viento

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



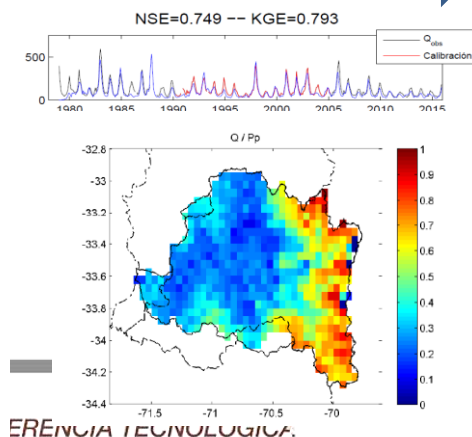
4. Estimaciones de validación

- Cobertura nival
- Evapotranspiración
- Caudal
- Tasas de recarga



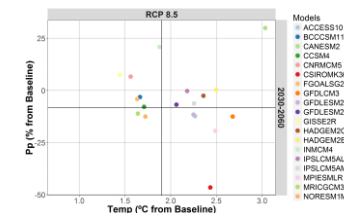
3. Modelación hidrológica

- 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.



Modelo seleccionado

❑ Variable Infiltration Capacity (VIC)

- Modelo de motivación física.
- Semi-distribuido, considera heterogeneidad por tipo de vegetación.

❑ Forzantes meteorológicas

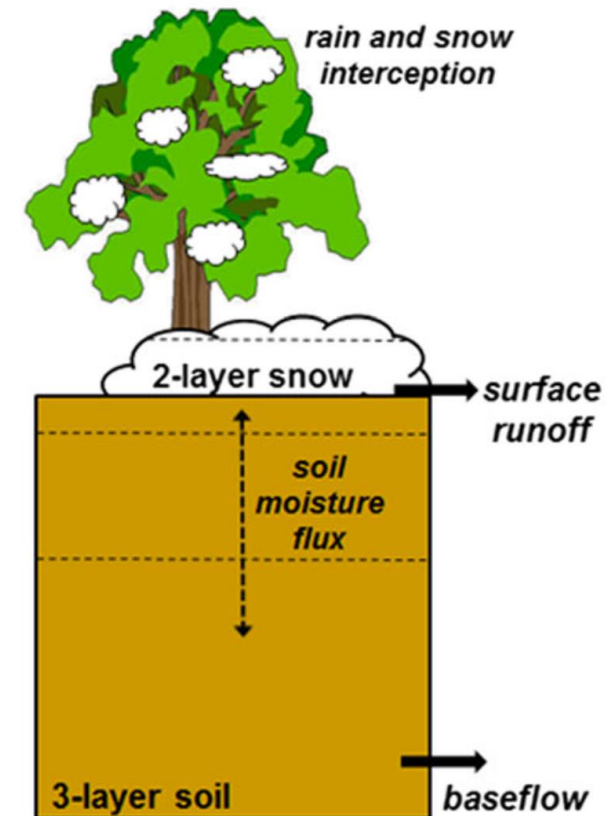
❑ Información requerida (parámetros)

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

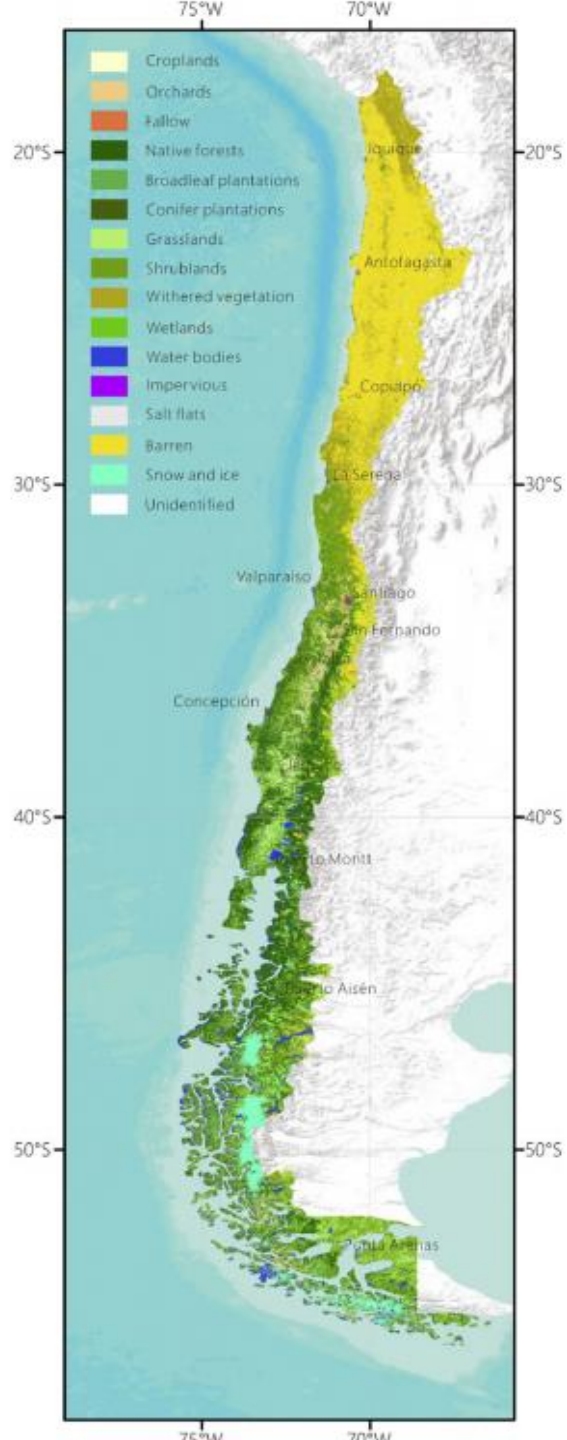
❑ Simulaciones

- 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.

Mosaic representation of different vegetation coverages at each cell



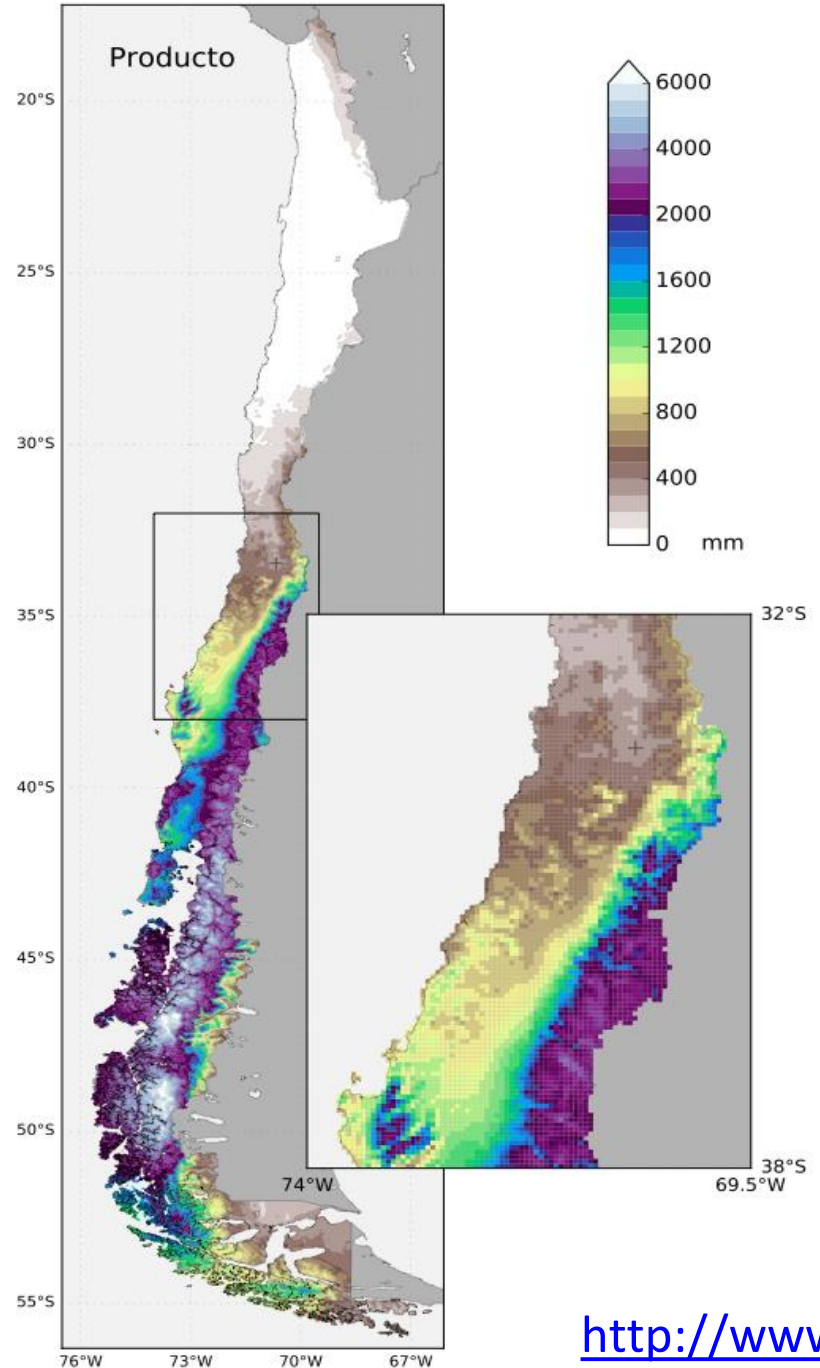
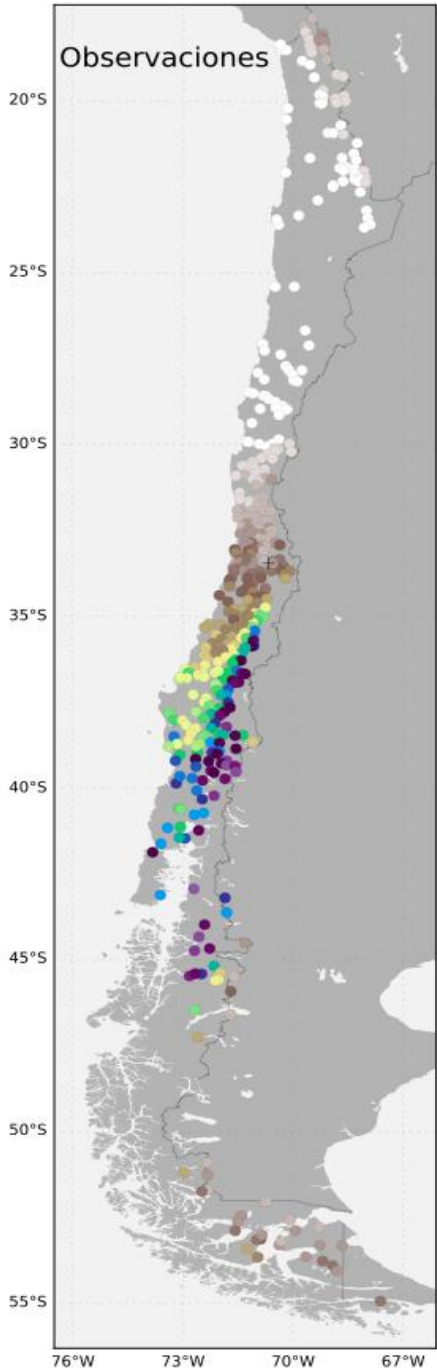
Arquitectura del modelo VIC



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



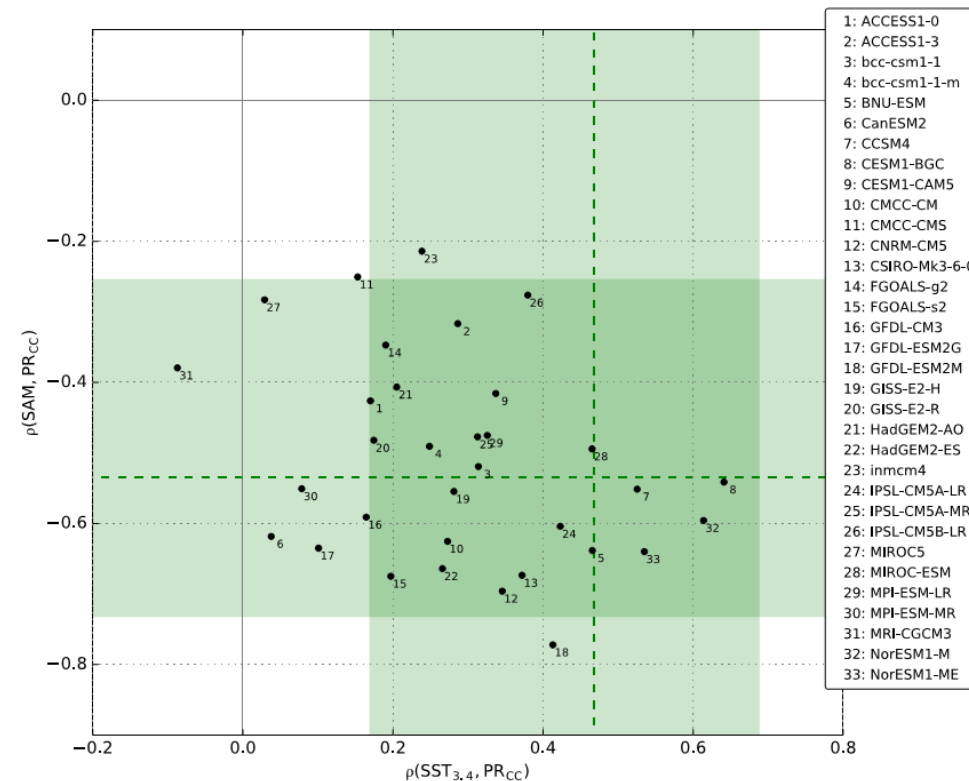
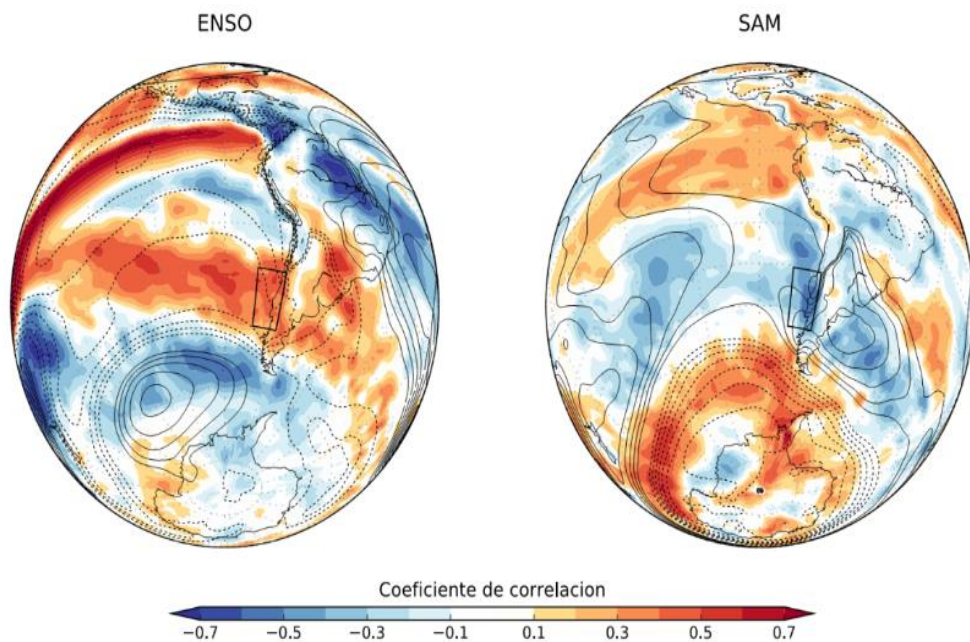
Elaboración y comparación de productos meteorológicos entre 1979 y 2015

<http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>

Variabilidad Climática

Selección de Modelos

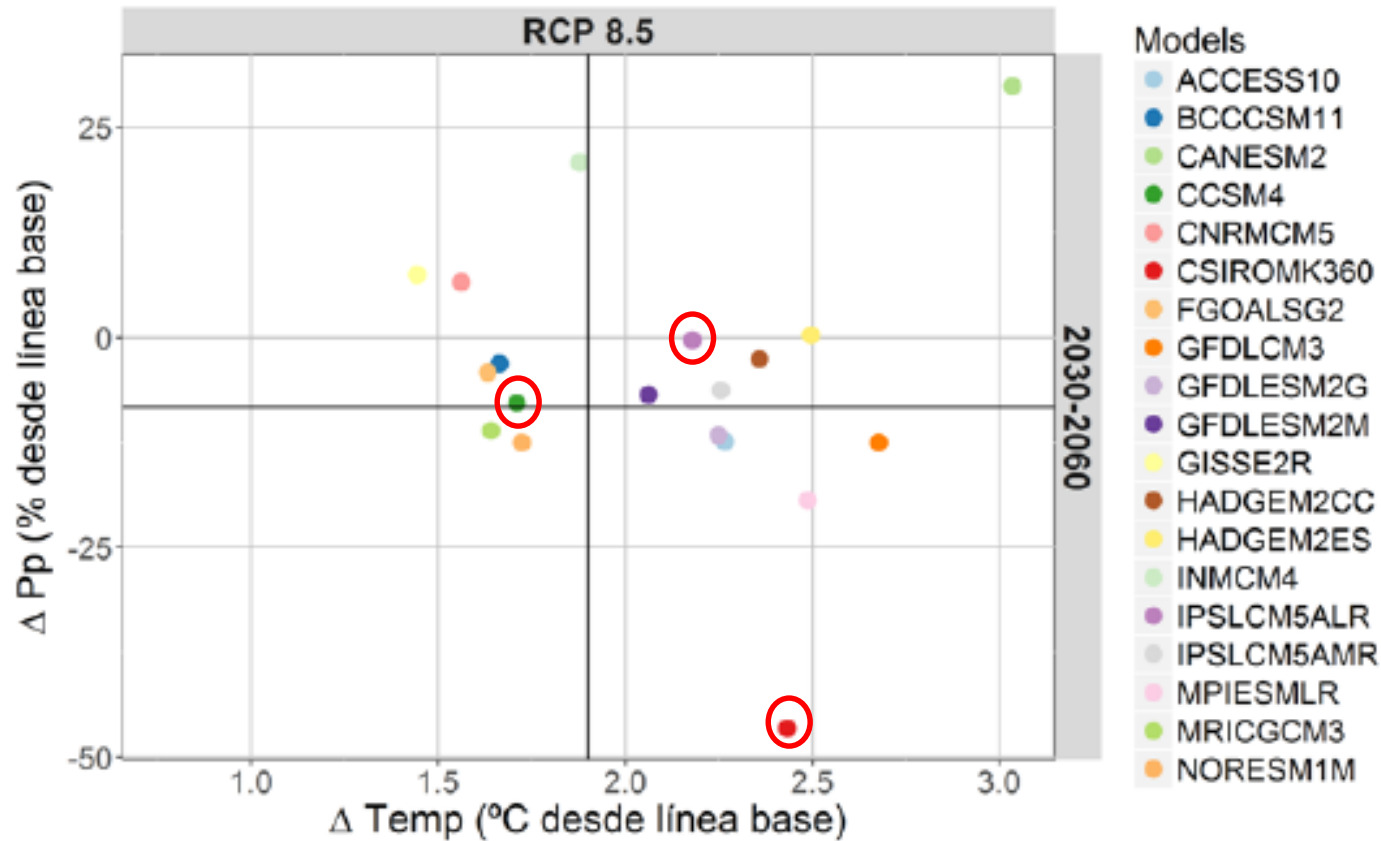
- Representación de SAM y ENSO
- Sensibilidad climática
- Cambios de temperatura y precipitación a escala regional (Análisis de delta)



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).

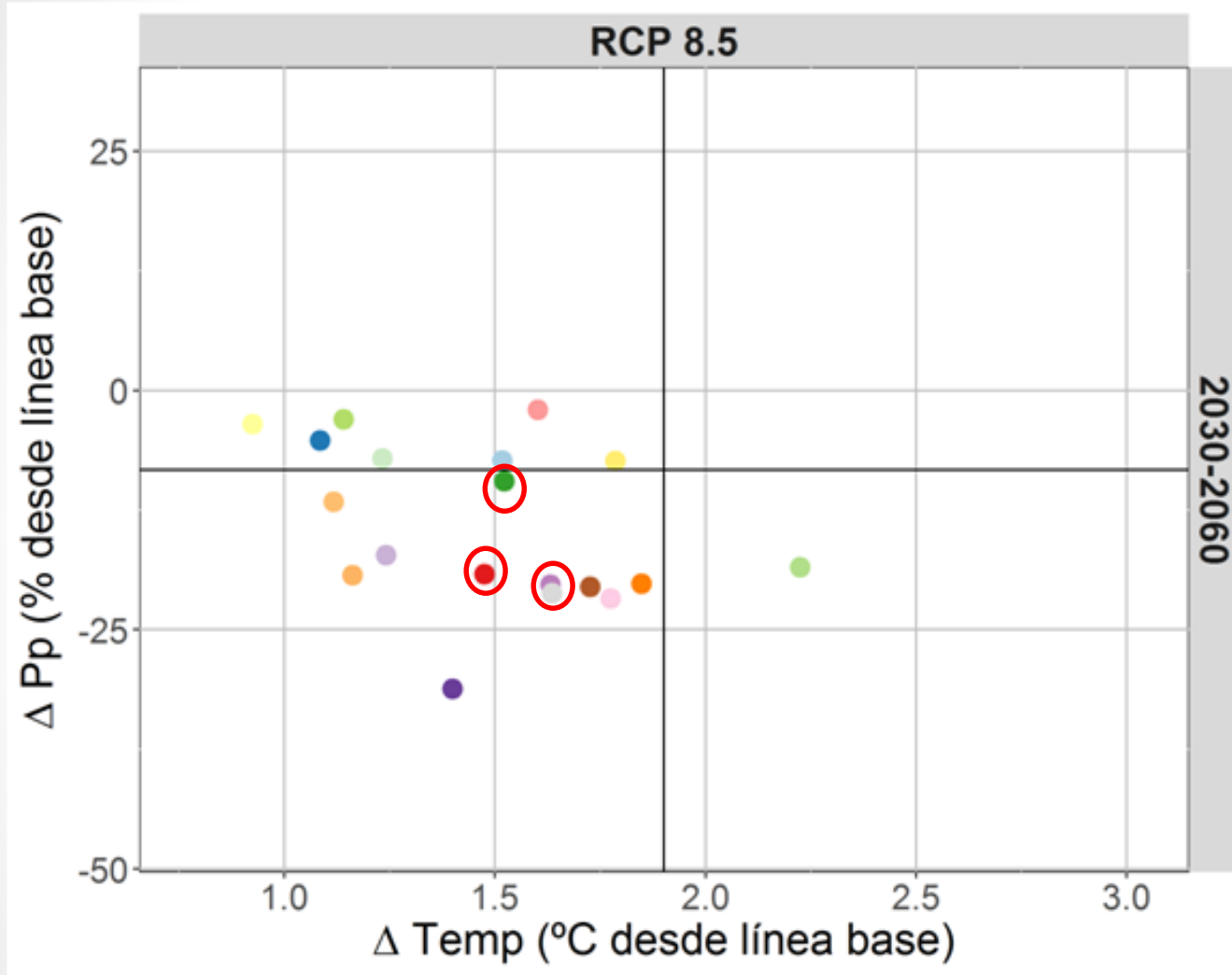
Selección de Modelos

Variabilidad Climática



Deltas de precipitación (%) y temperatura (°C) para la cuenca del río **Loa** evalúa en 19 modelos climáticos contrastando el periodo actual (1985-2015) y futuro (2030-2060) para el escenario de cambio más severo (RCP 8.5).

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

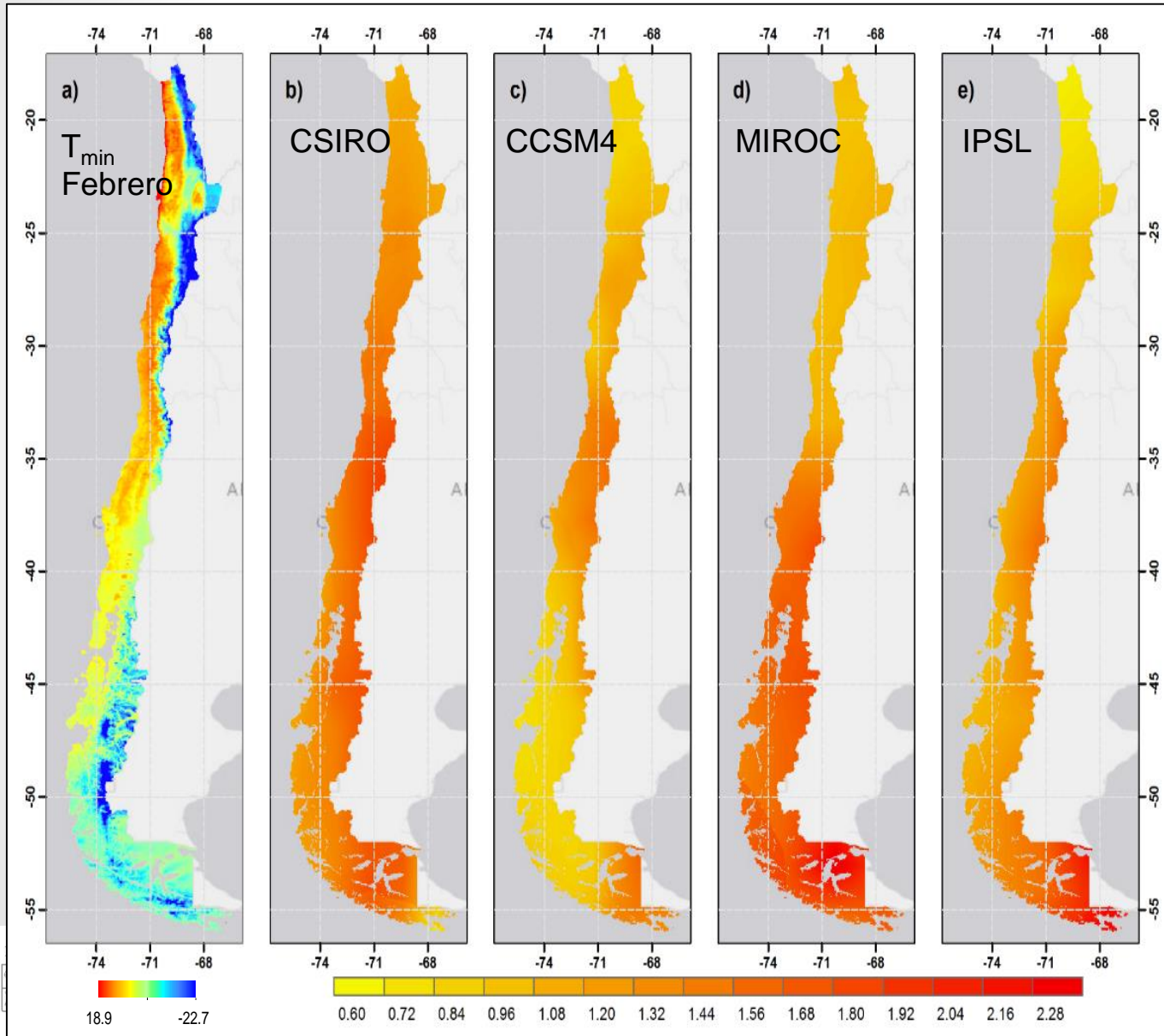


Models

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

En cuenca del
Maipo

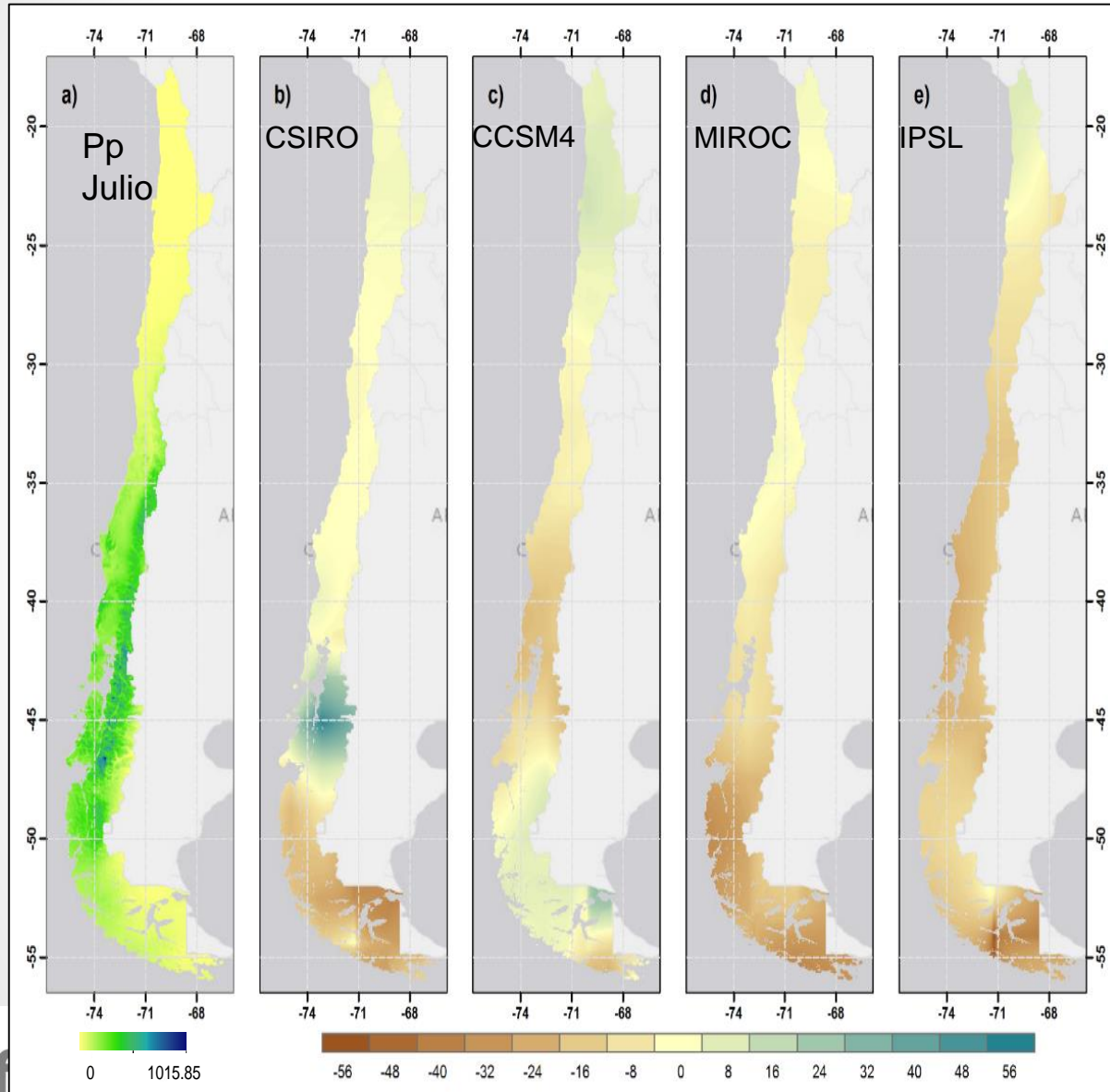
- Sensibilidad baja extrema CSIRO
- Sensibilidad baja moderada: CCSM4
- Sensibilidad alta moderada: MIROC
- Sensibilidad alta extrema: IPSL



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

Proceso de Modelación

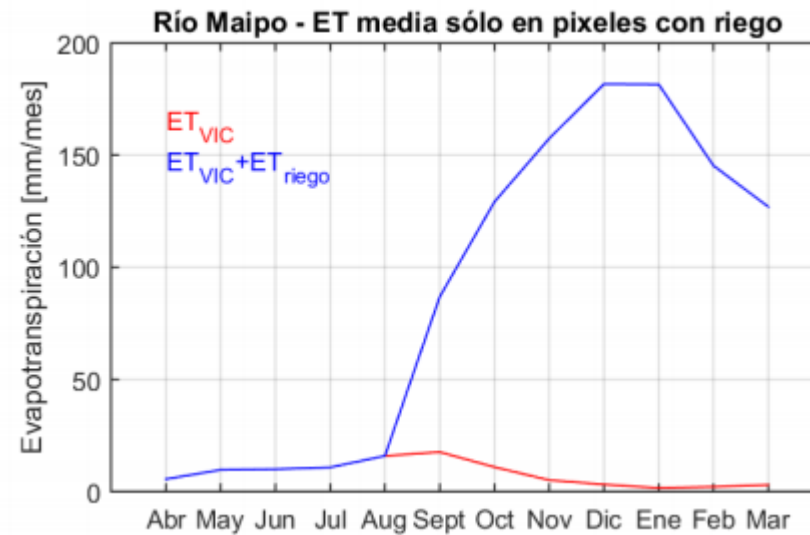
☐ Calibración

- Maximización de NSE y KGE para caudales medios mensuales.

☐ Evaluación para cuencas con intervención

$$Q_{modelado} = Q_{vic} + Q_{glaciar} - D_{Et}$$

$$D_{Et} = Et_{pot} - D_{nat}$$



☐ Otras variables de estado a evaluar

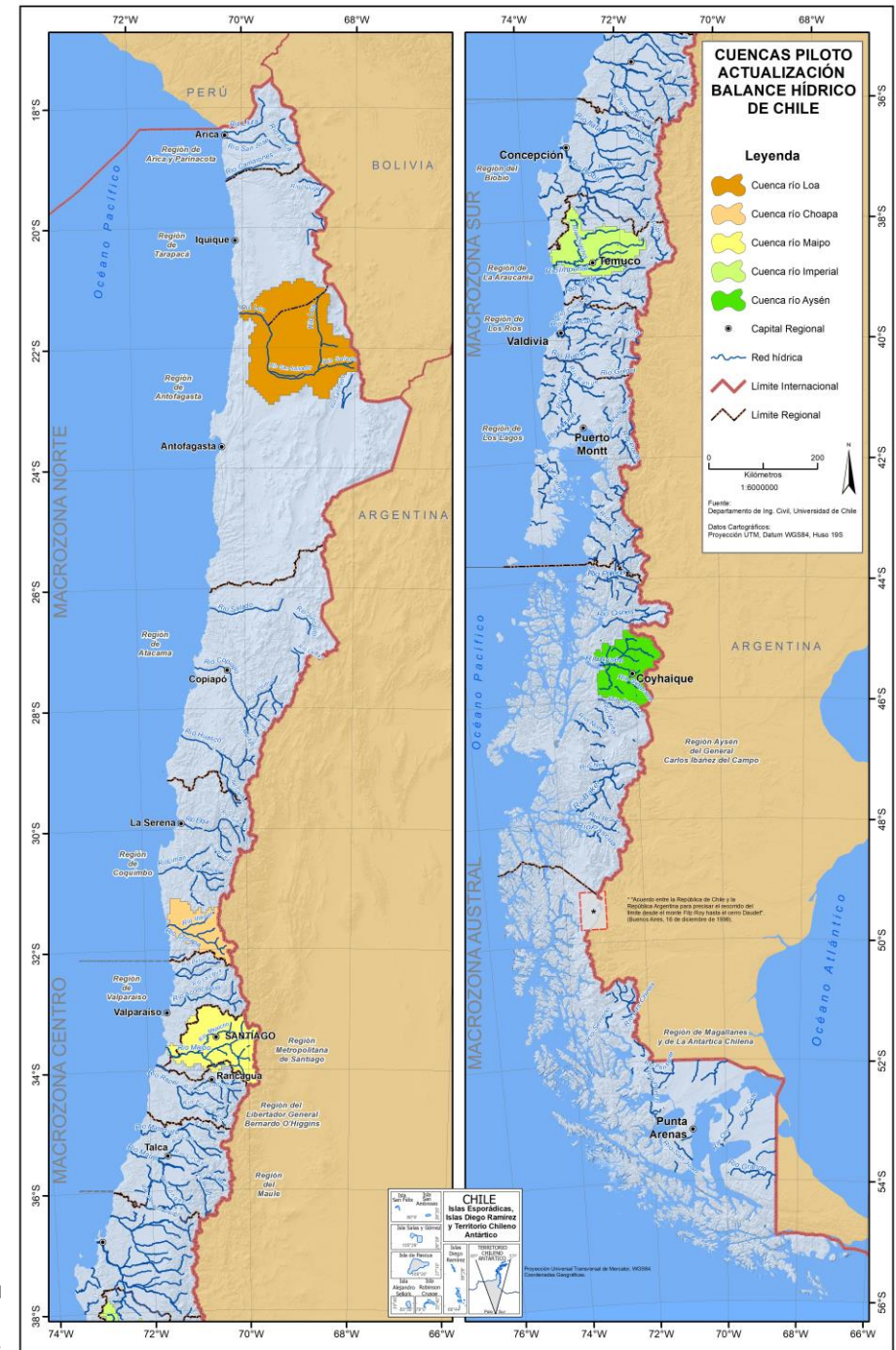
- Nieve: equivalente de agua en nieve (Cortés et al., 2016) y fSCA (MODIS).
- Recarga

Etapa 1:Cuencas Piloto

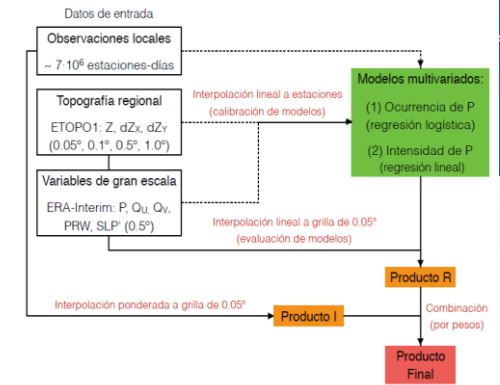
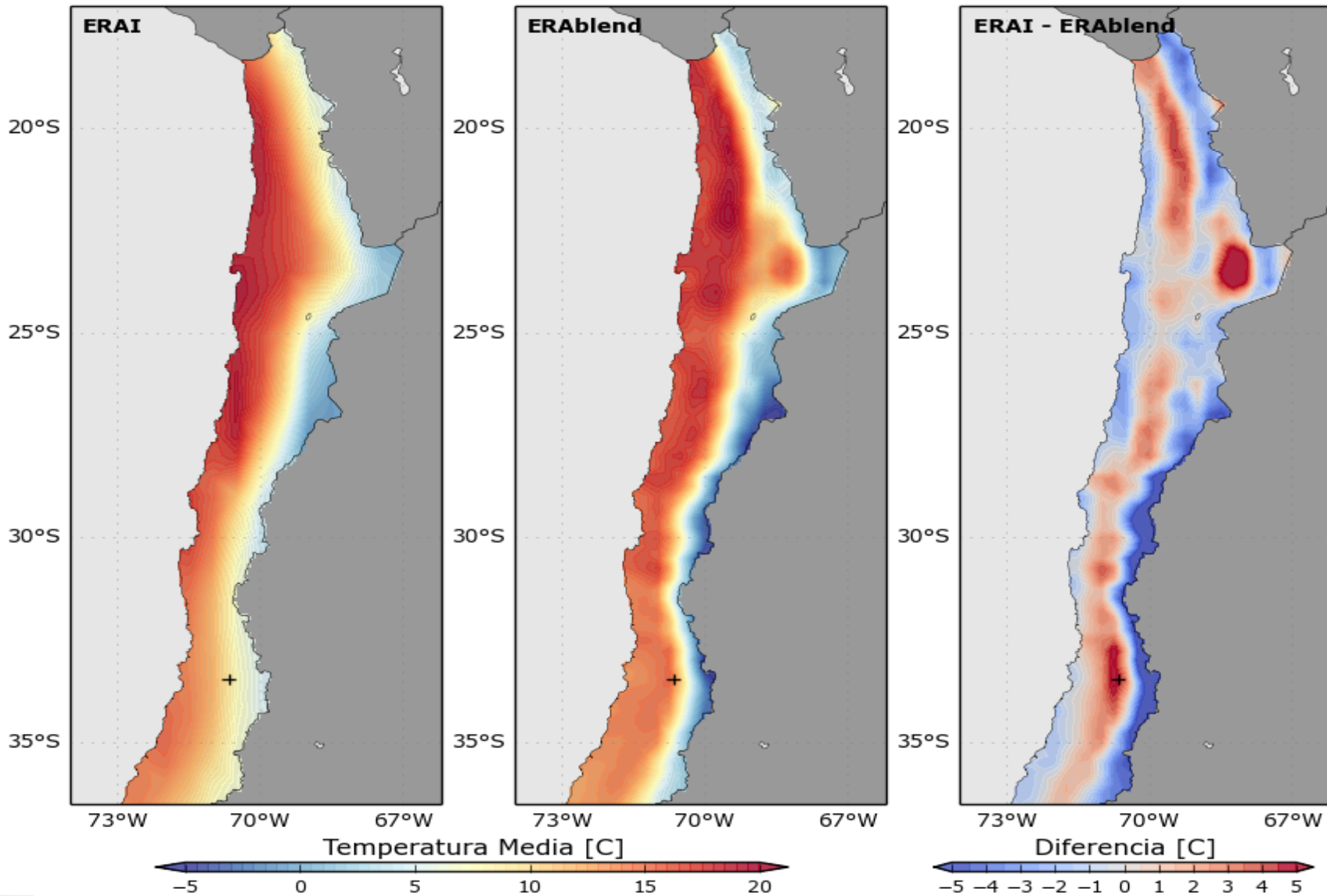
En función del nivel de instrumentación, ubicación dentro de su respectiva Macro Zona, diferencia hidroclimática y priorización de estudios DGA, se seleccionan 5 cuencas piloto:

- Loa
- Choapa
- Maipo
- Imperial
- Aysén

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



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



Modificaciones

ERA-Interim res: ~80 km
 ERA-Interim blend res: ~30 km

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 ERA-Interim; 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.



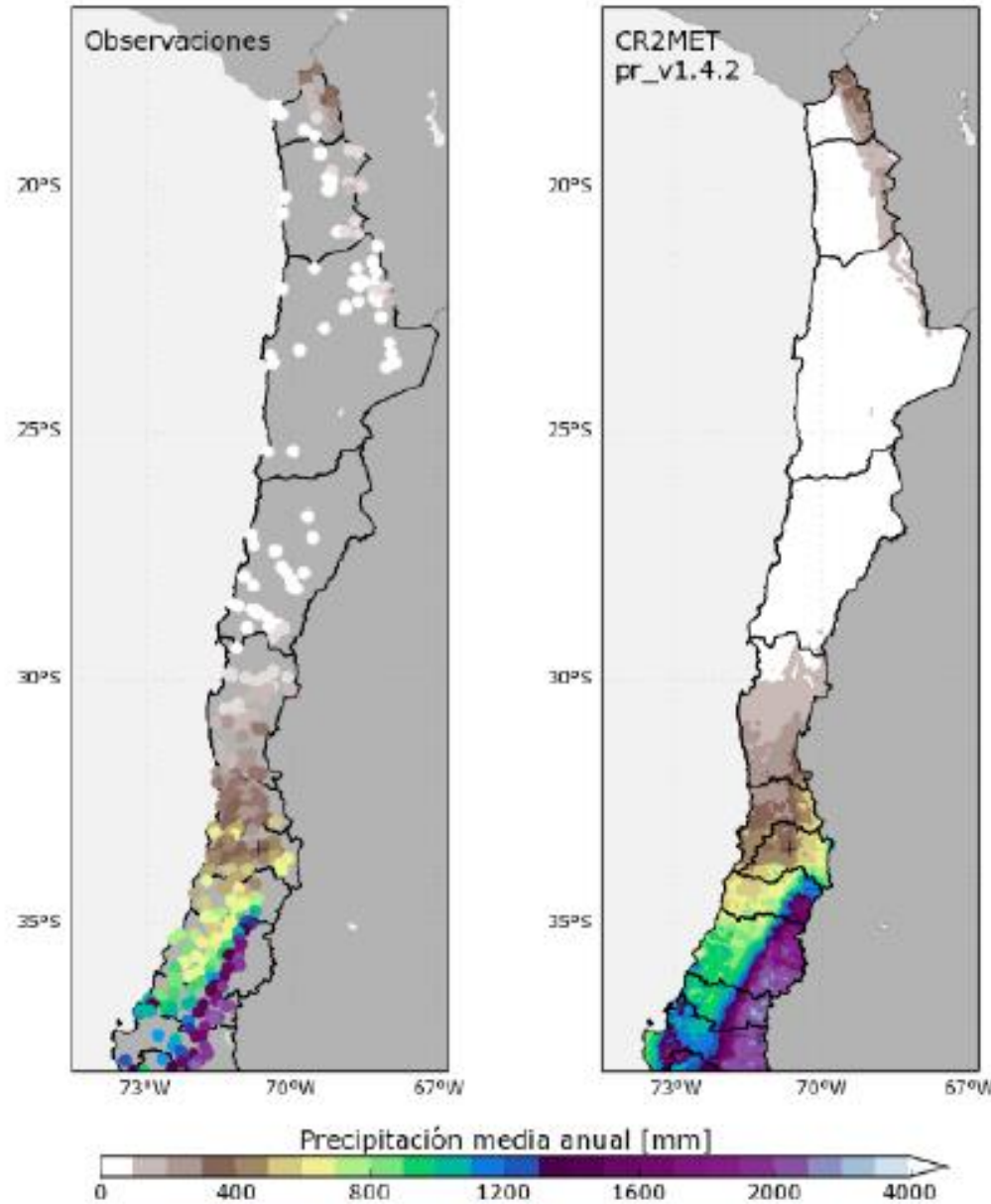
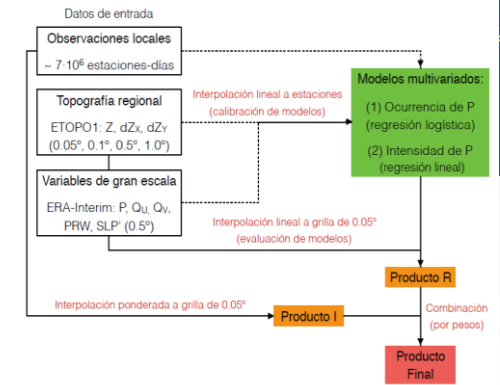


Figura 2.11: Precipitación anual media para el periodo 1979-2016 obtenido de la red de estaciones DMC-DGA (panel izquierdo) y del producto CR2MET (derecha). Notar que la escala de colores no es lineal.



Modificaciones

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

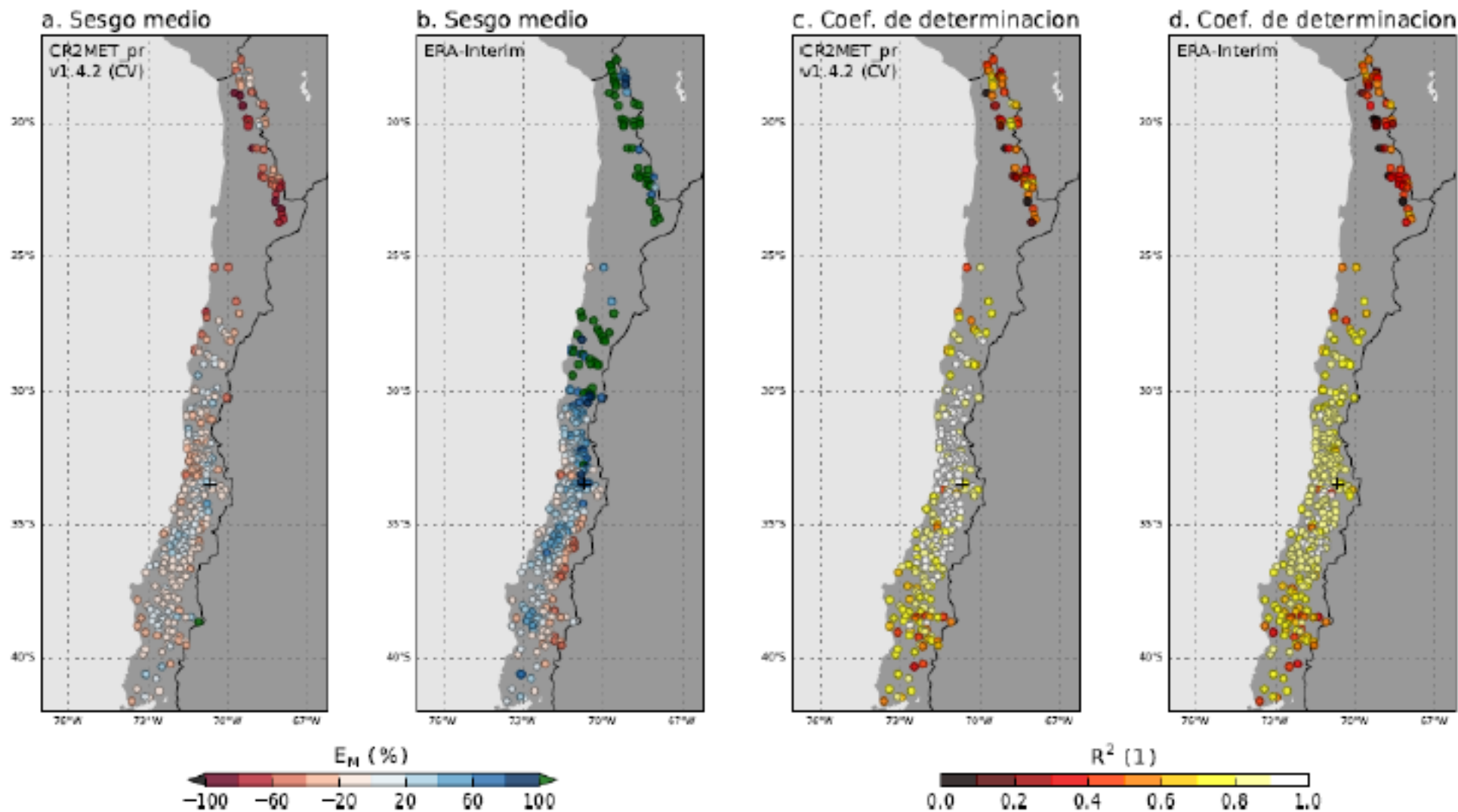
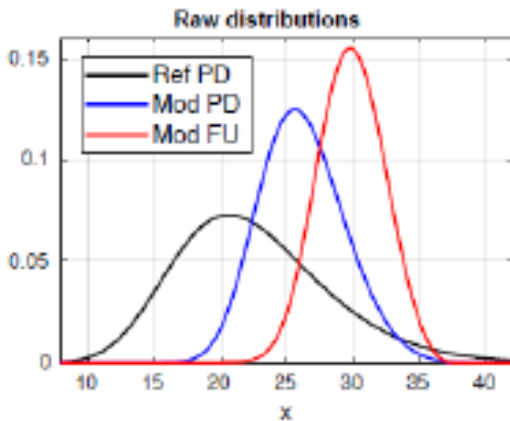


Figura 2.13: Diferencia entre la precipitación anual media (1979-2016) obtenida mediante validación cruzada con CR2MET y valores observados (a). Coeficientes de determinación entre valores anuales de precipitación estimados y observados (c). Para ilustrar el valor agregado del proceso de regionalización, los paneles (b) y (d) muestran el mismo análisis, pero para la precipitación obtenida directamente del reanálisis ERA Interim.

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

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

Modificaciones

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

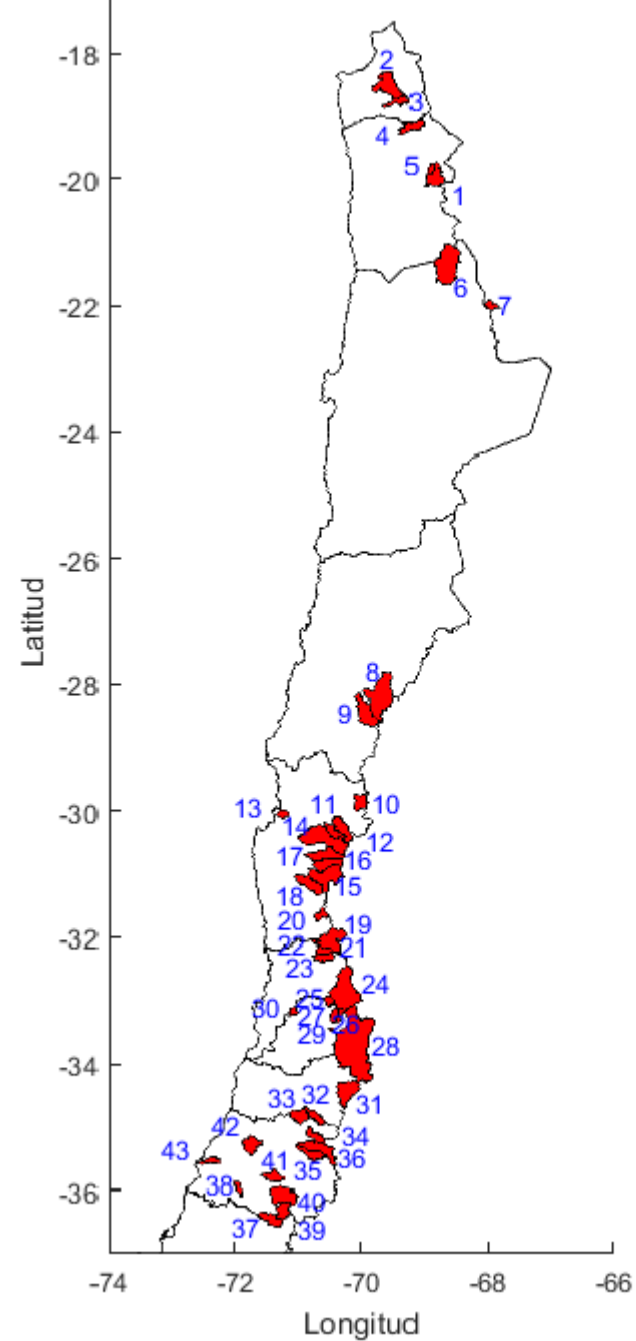
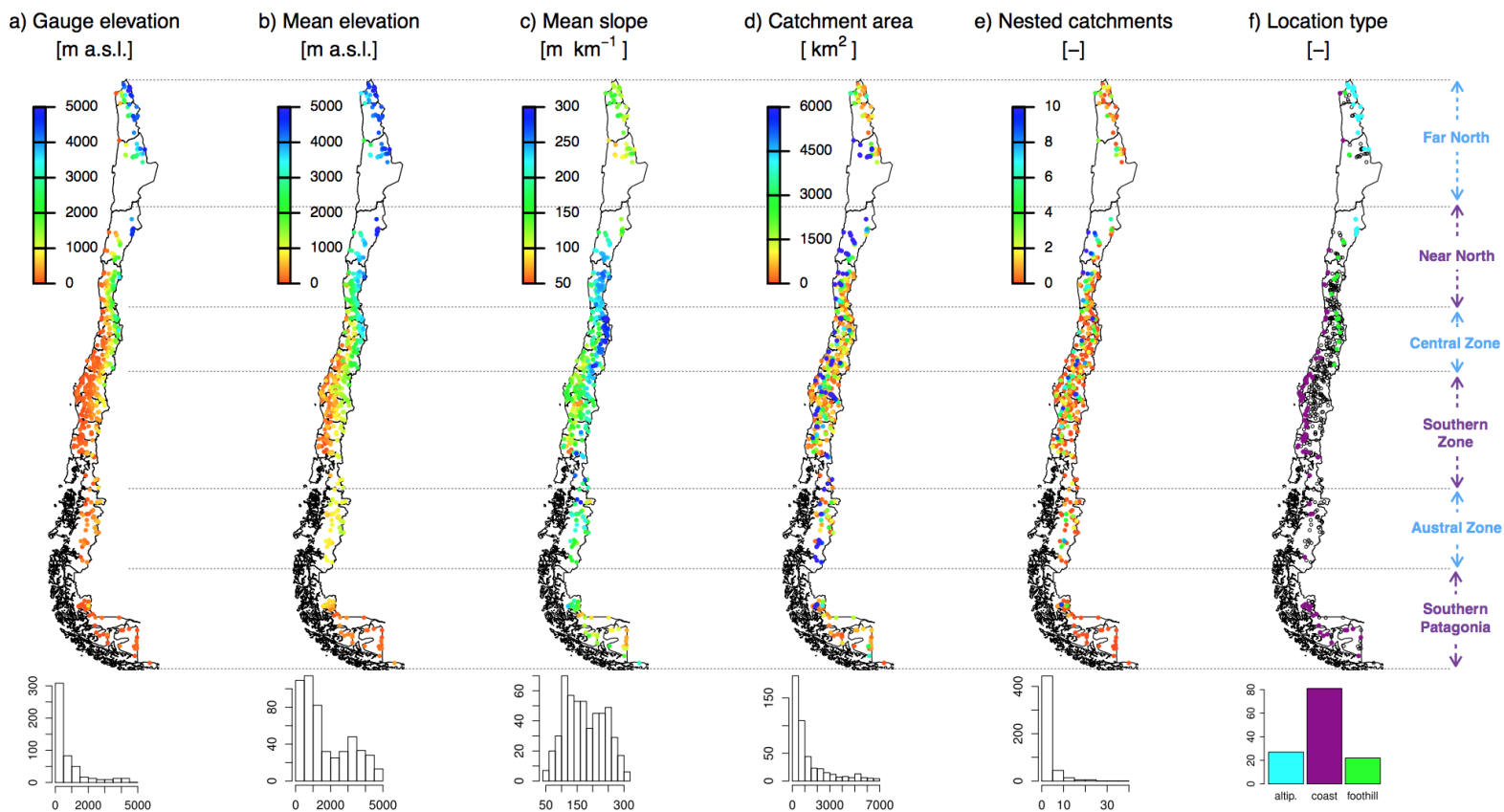
- Transferencia de parámetros a cuencas no controladas.
- Verificación de procesos hidrológicos.
- Incorporación de aporte glaciar y riego

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

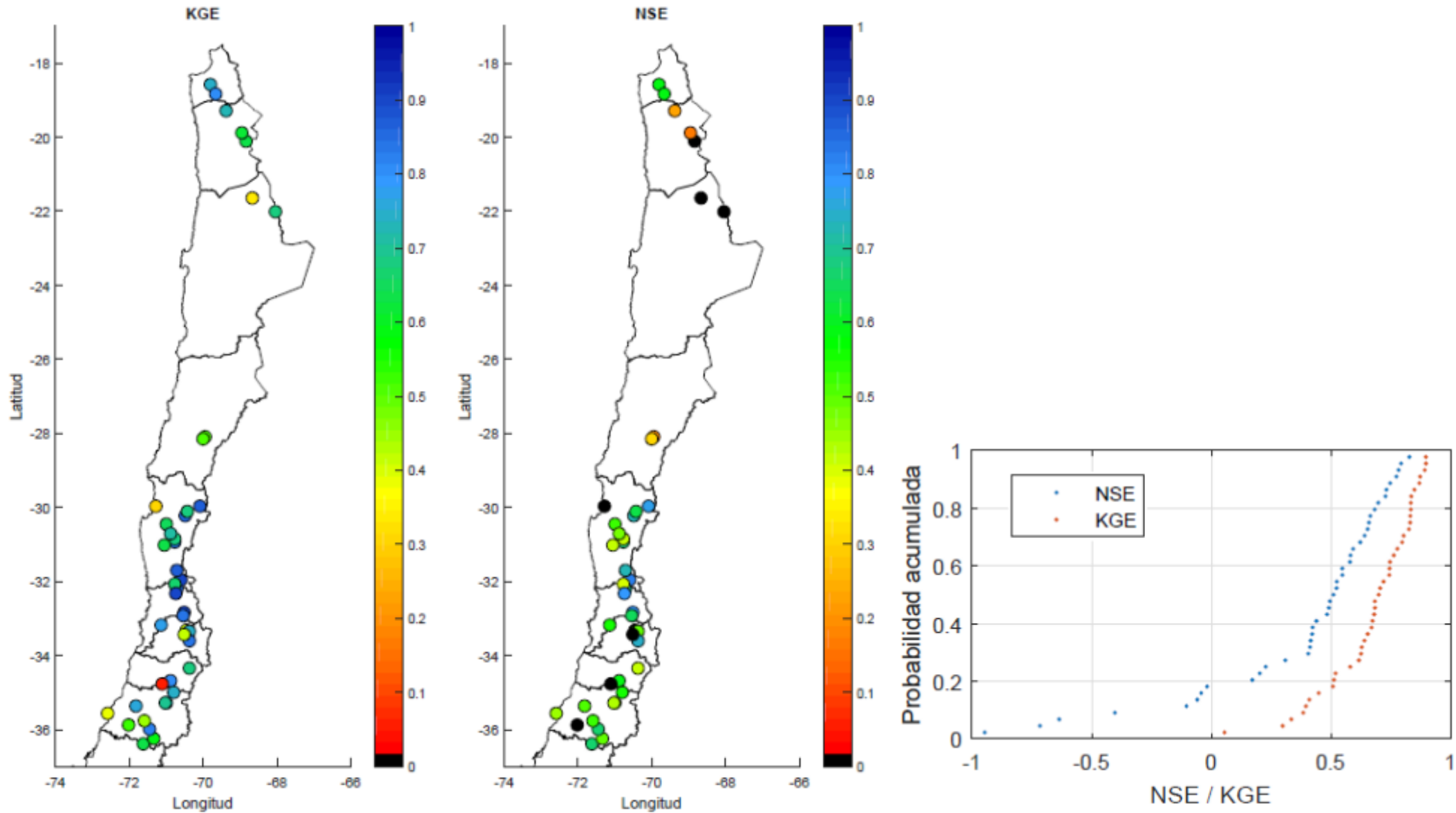
Estimación del balance hídrico bajo escenarios de cambio climático

Cuencas en Régimen natural

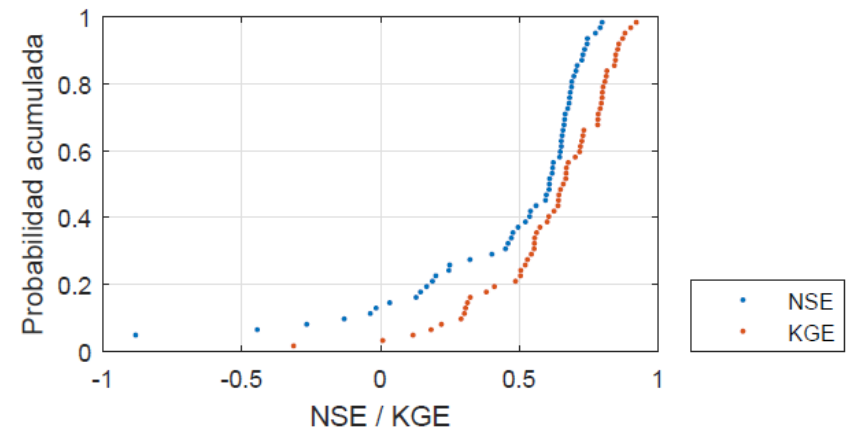
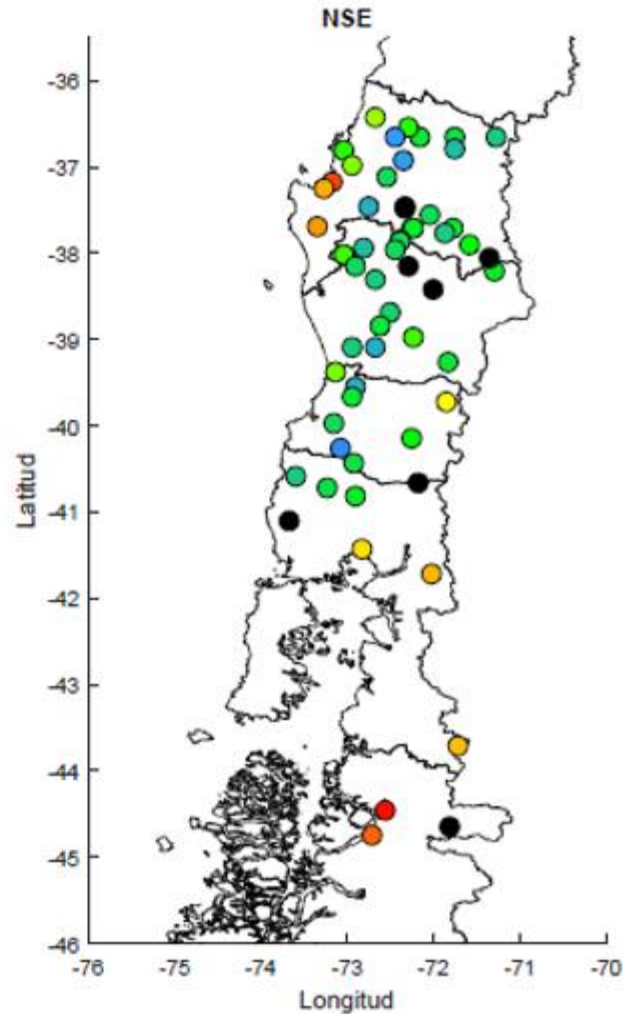
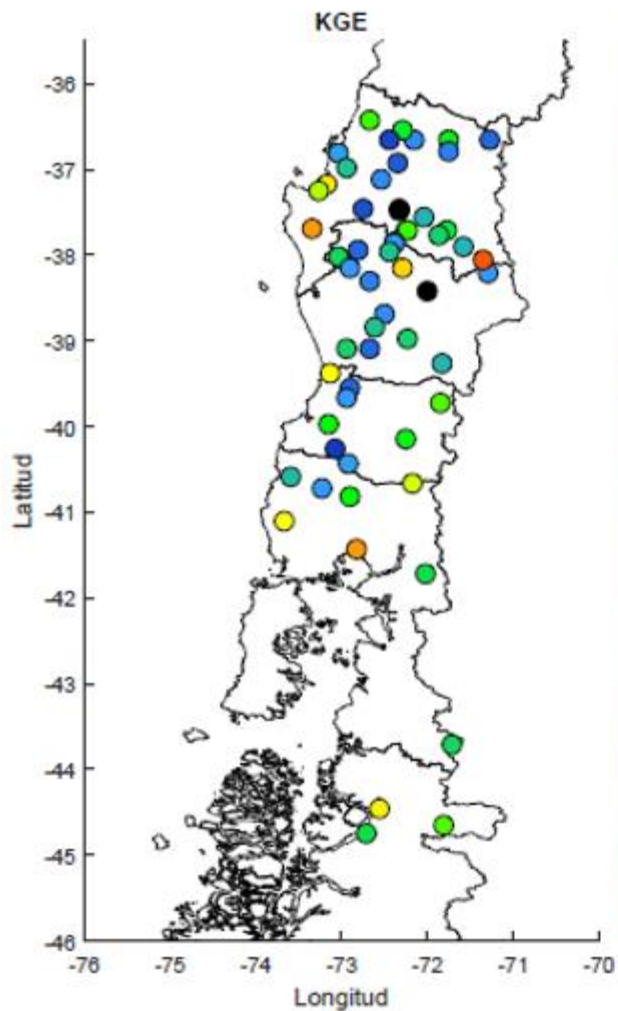
Base de datos CAMELS



Resultados de la Calibración: BH2

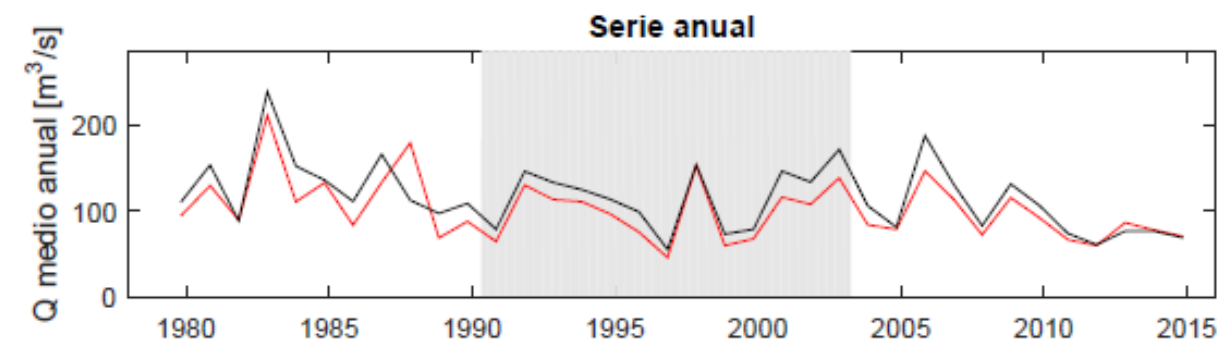
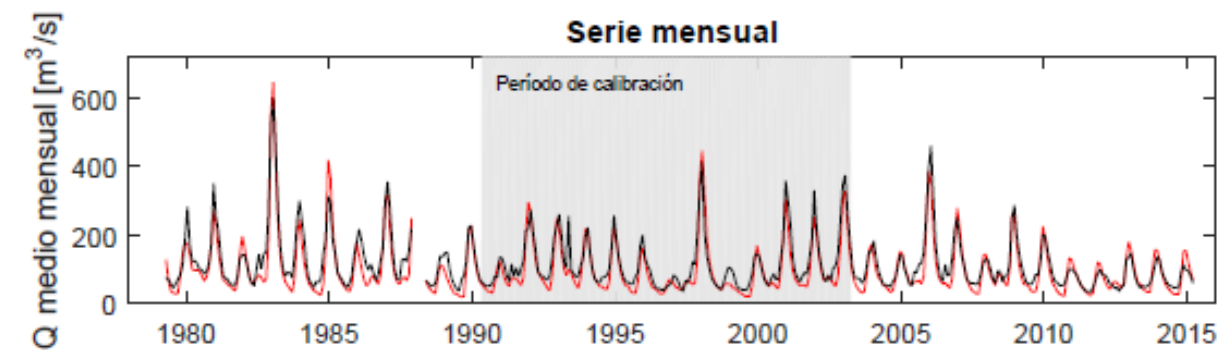
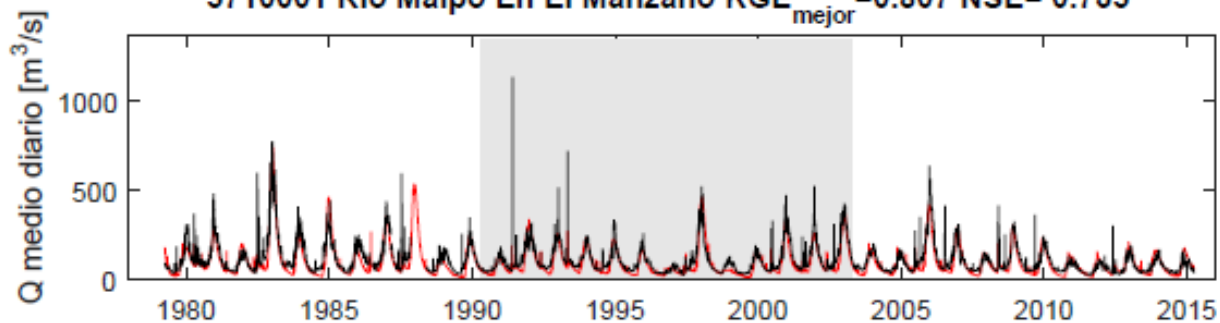


Resultados de la calibración: BH3 (en proceso de mejora)

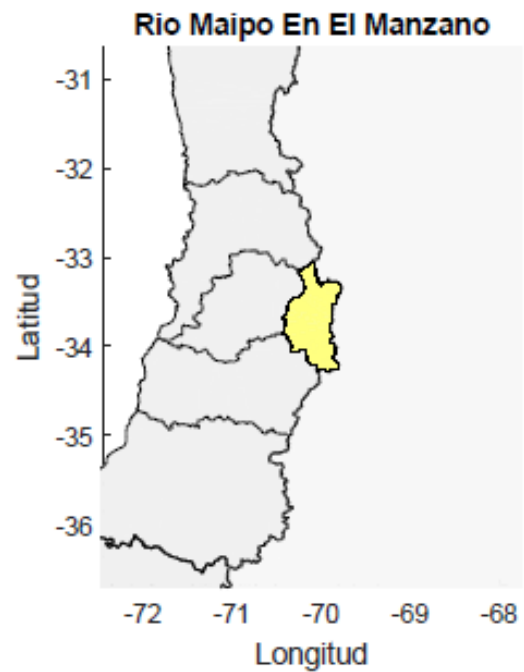


Calibración

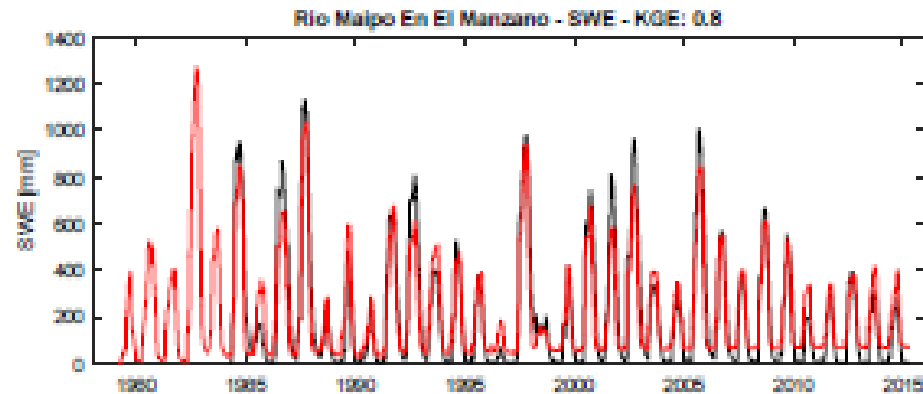
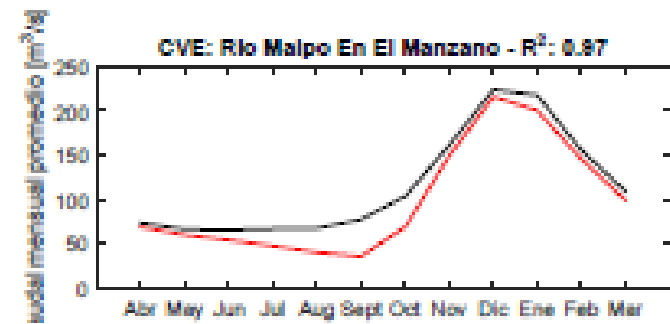
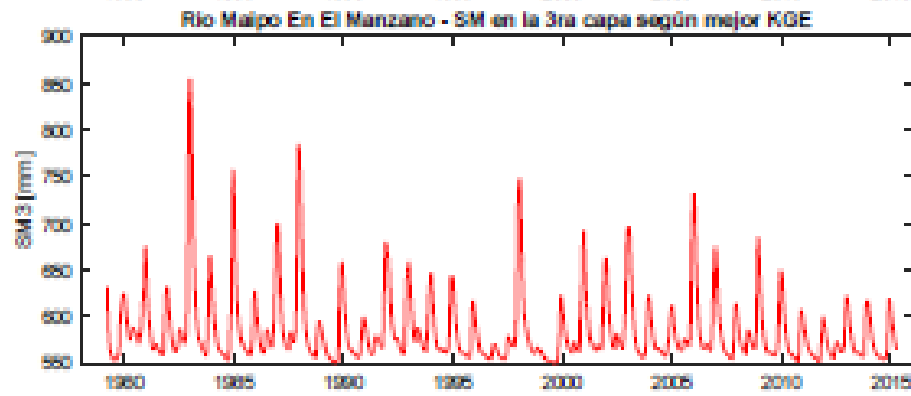
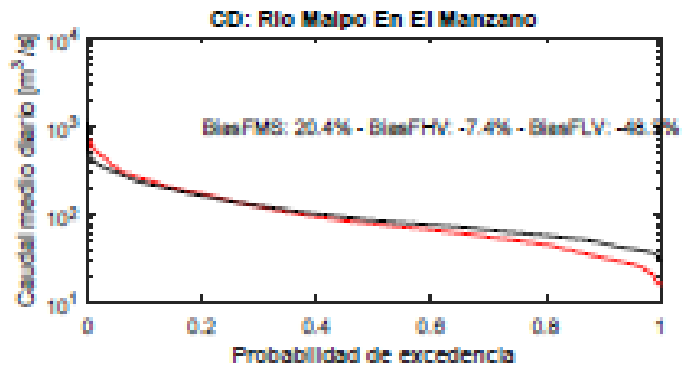
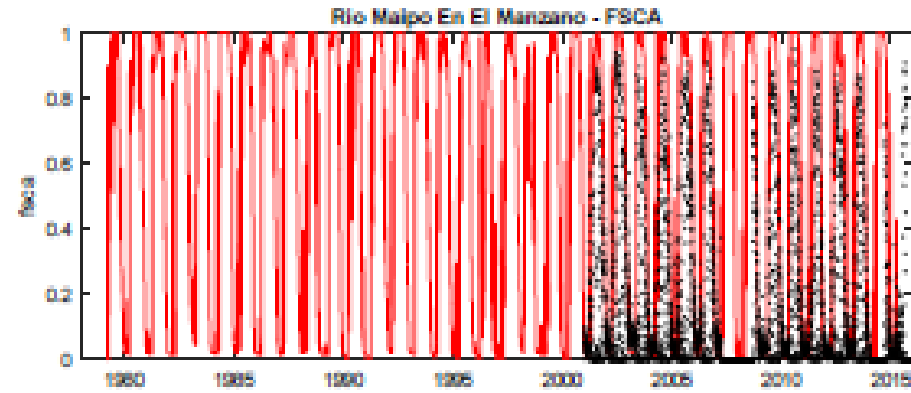
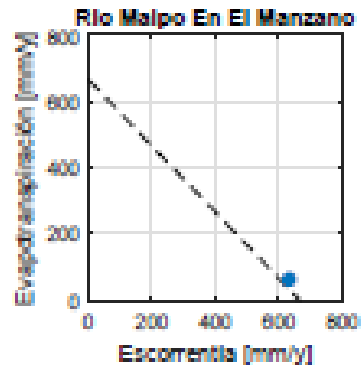
5710001 Rio Maipo En El Manzano KGE mejor =0.807 NSE= 0.735



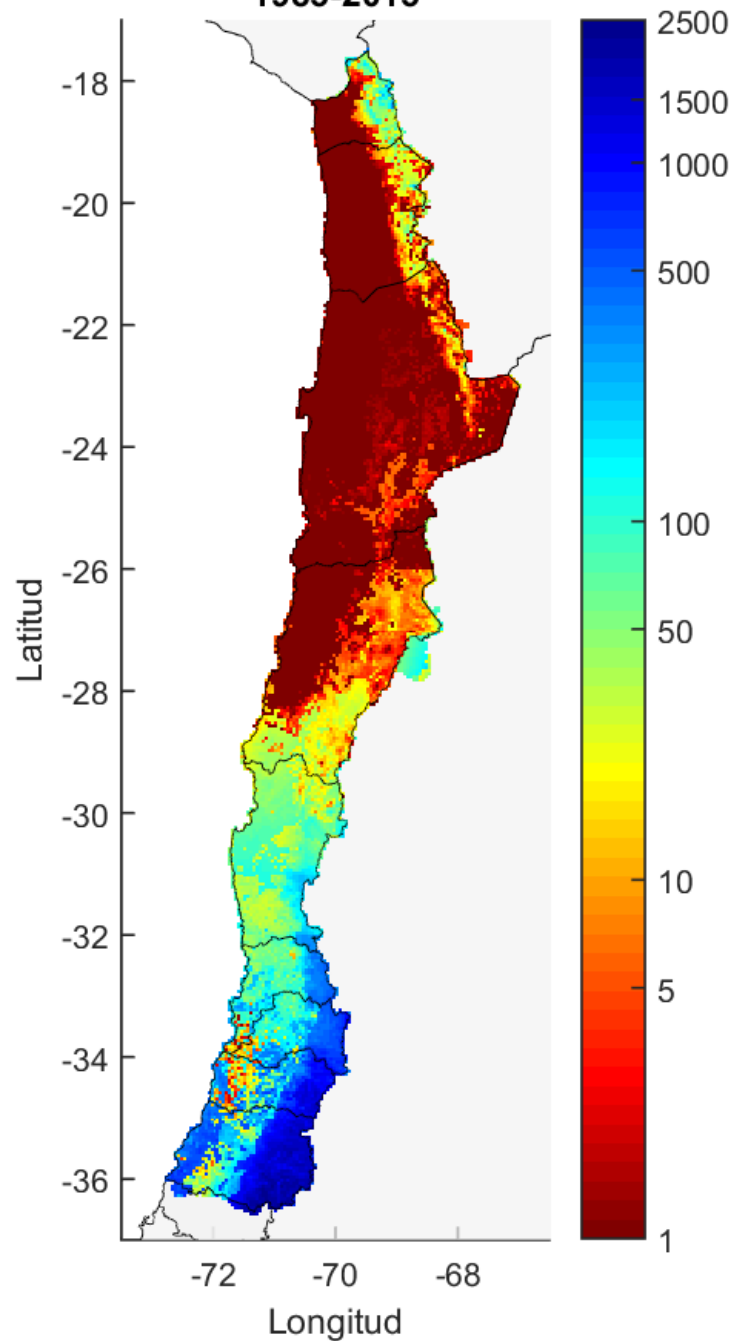
FO a nivel diario



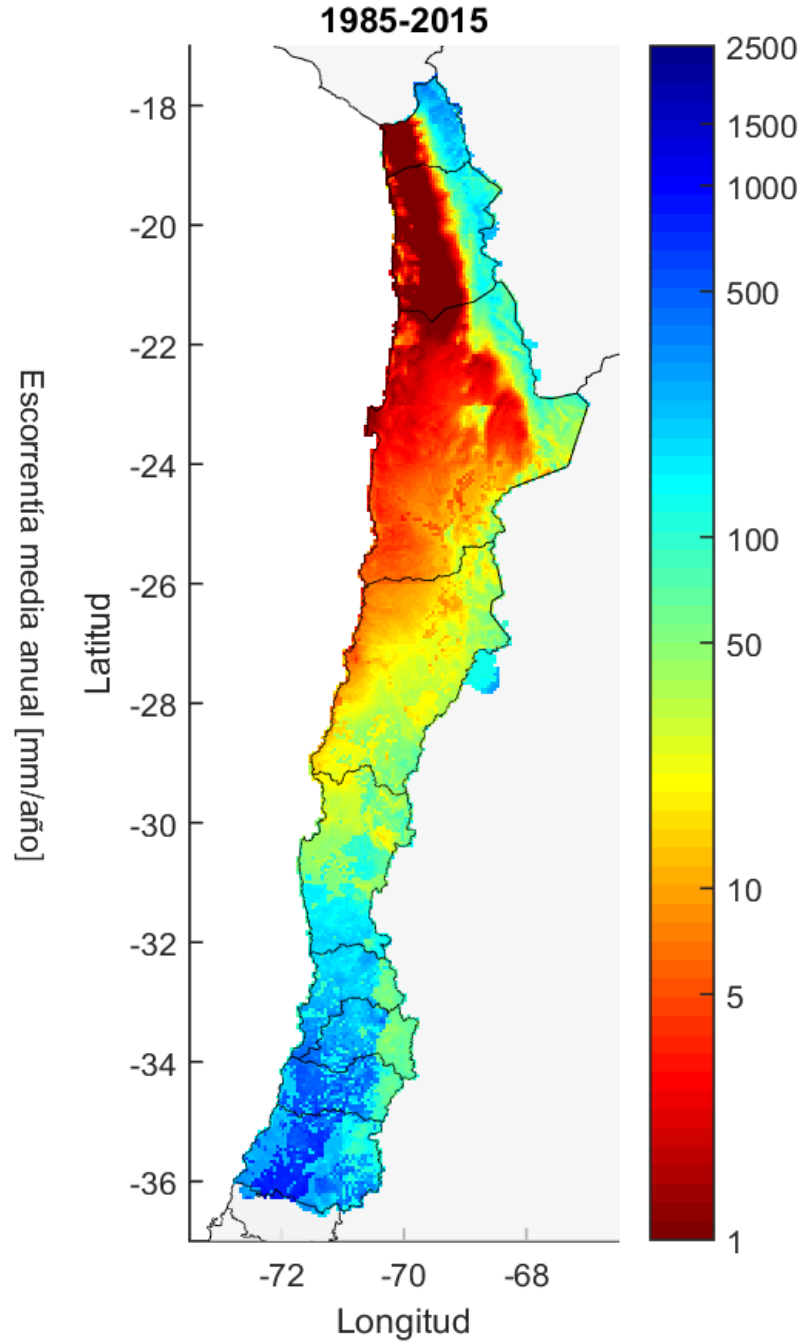
Calibración



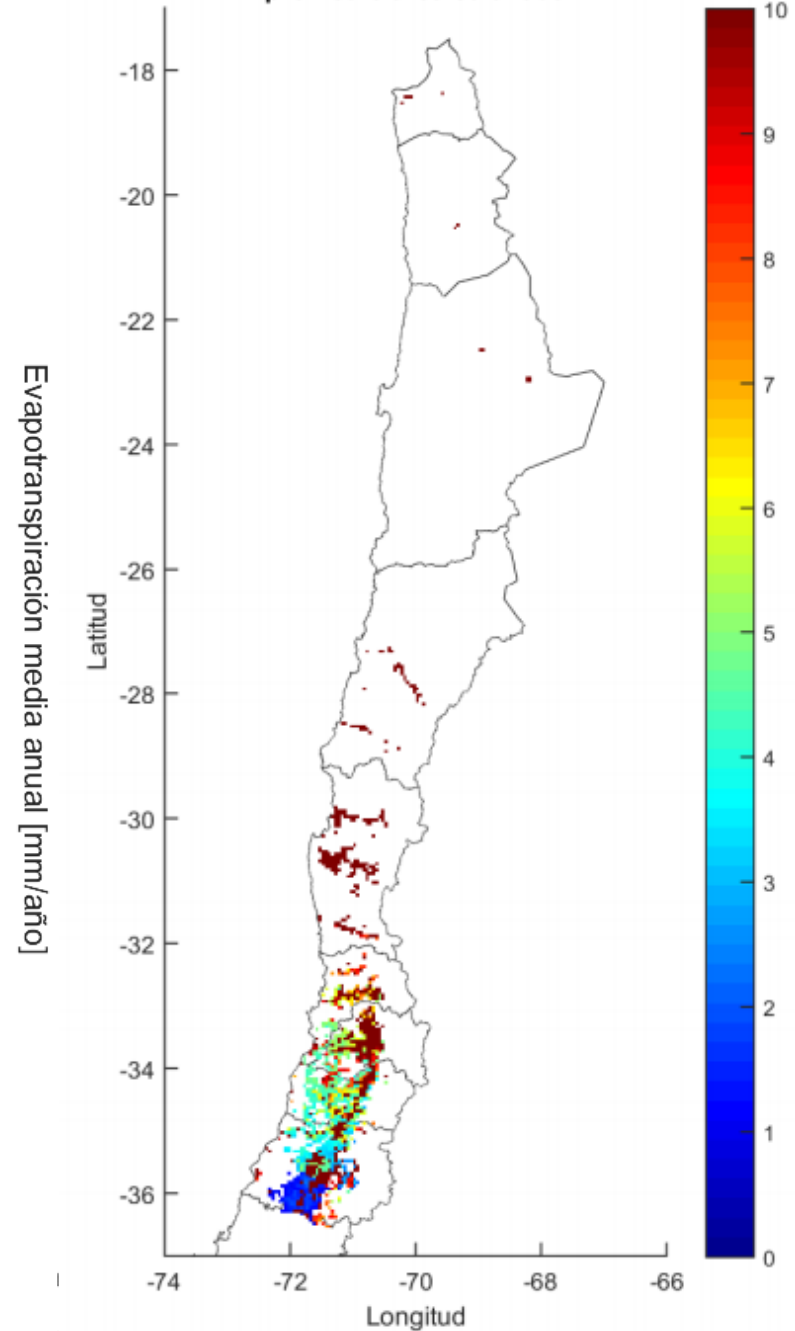
**Escorrentía
1985-2015**



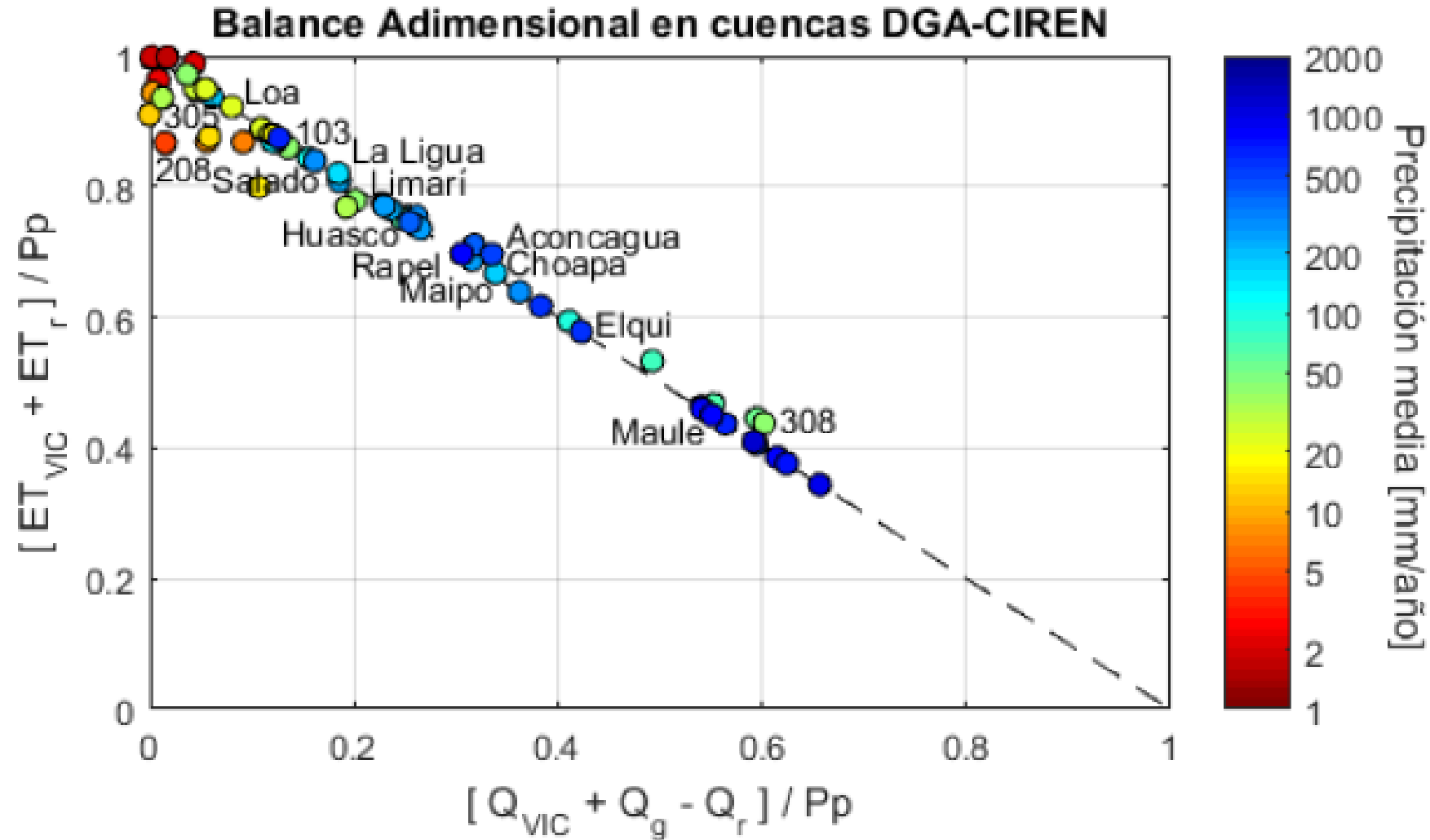
**Evapotranspiración natural
1985-2015**



**$ET_{\text{riego}} / ET_{\text{VIC}}$
promedio área cultivada**

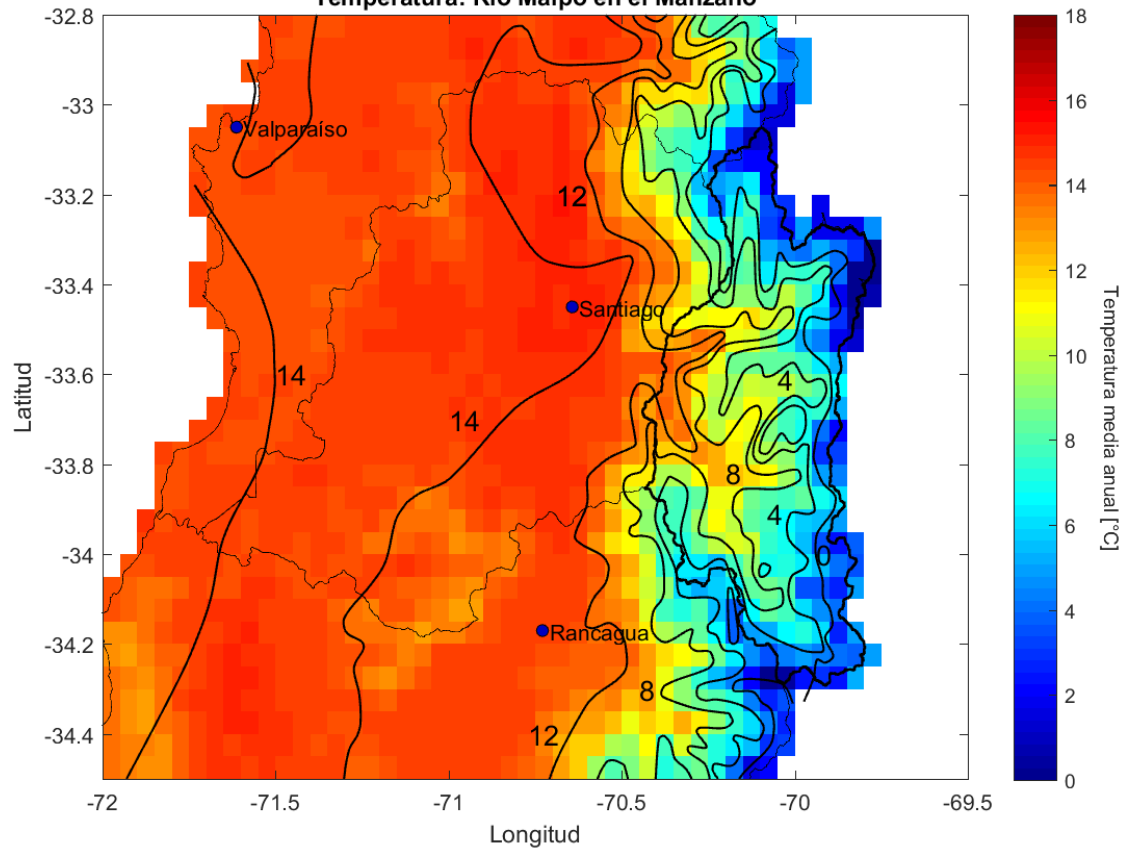


BALANCE ADIMENSIONAL 1985-2015

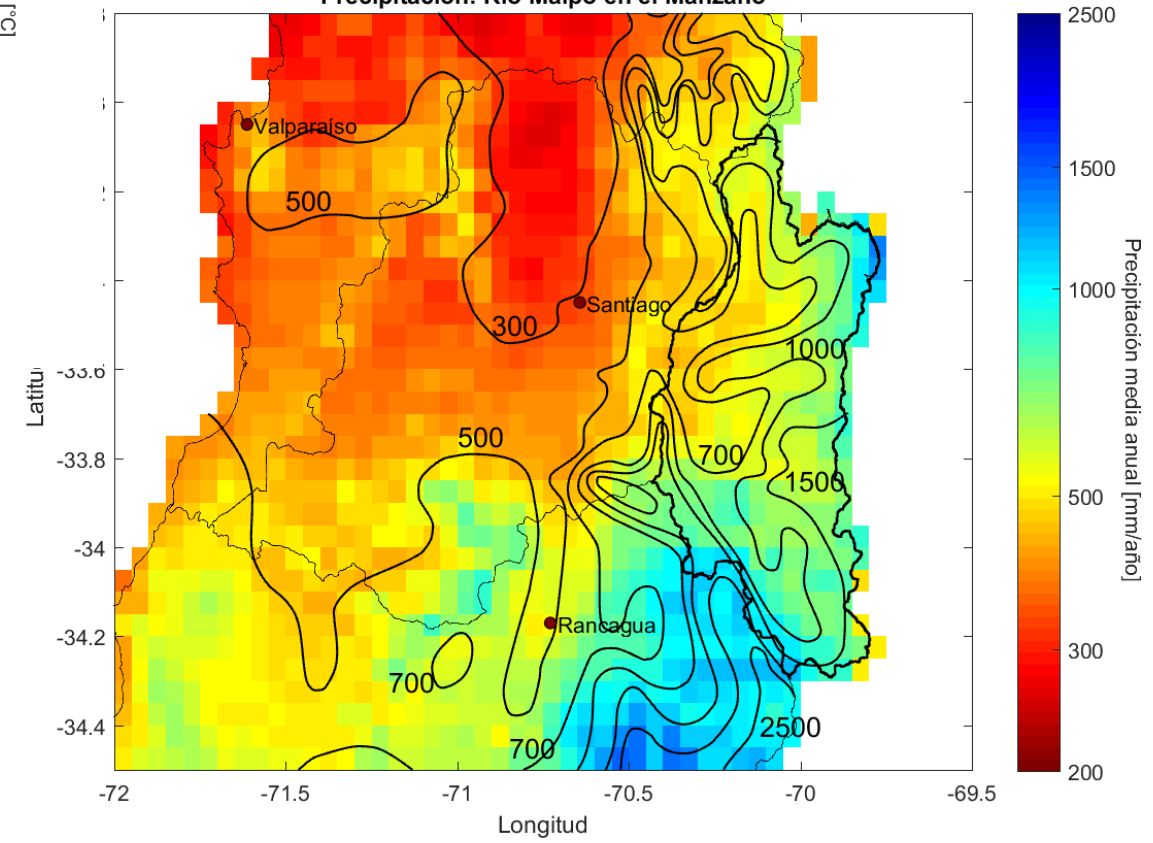


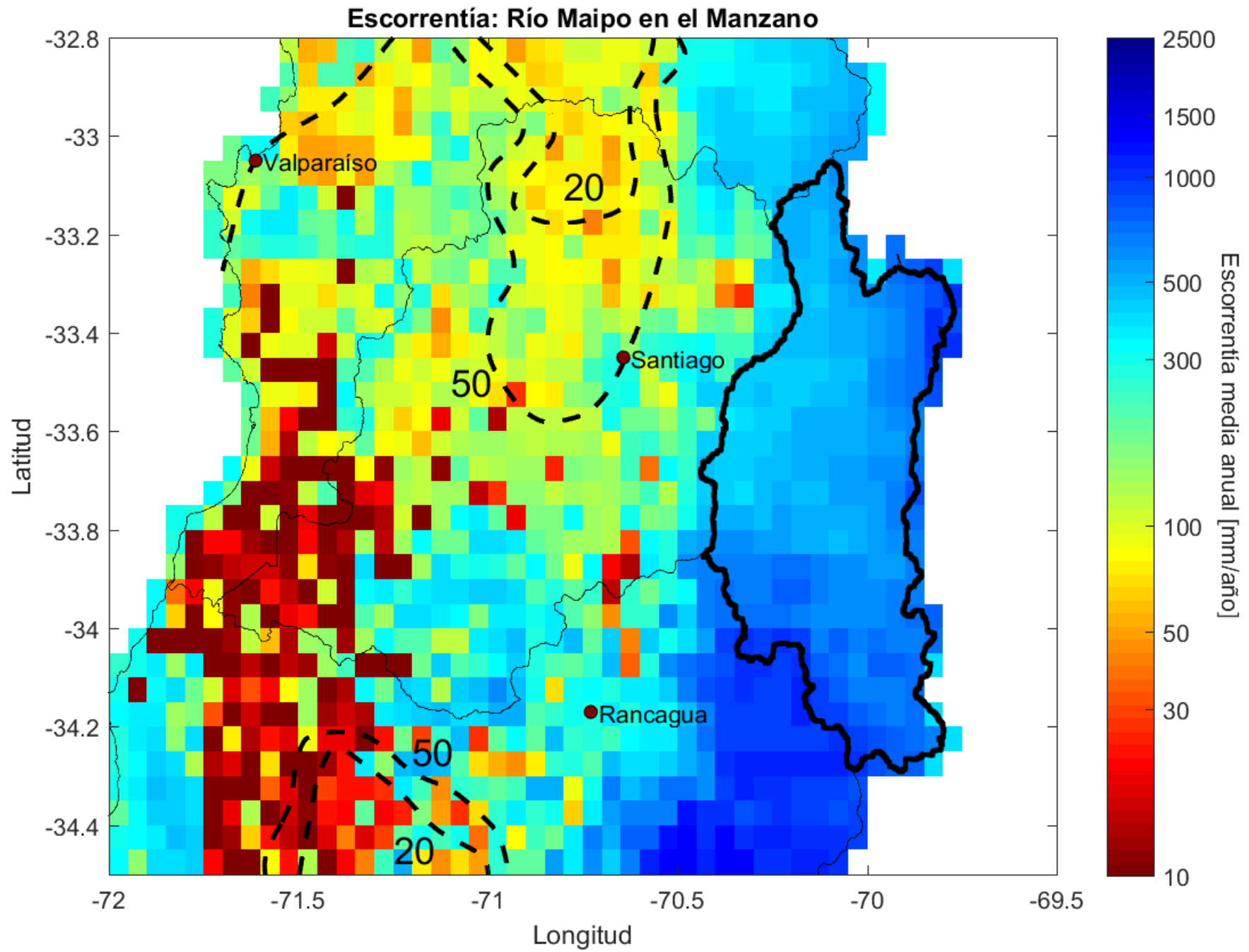
Detalle en Cuenca Maipo

Temperatura: Río Maipo en el Manzano



Precipitación: Río Maipo en el Manzano

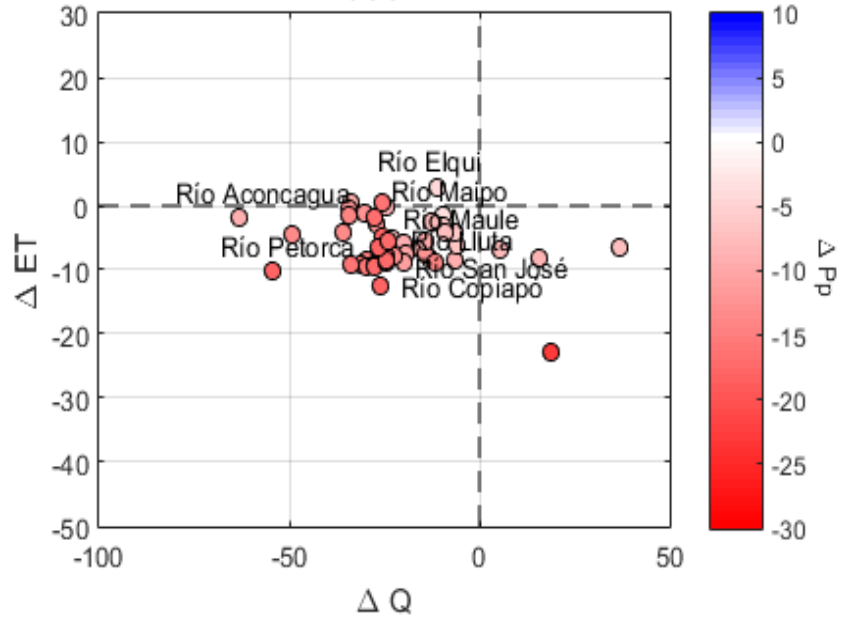




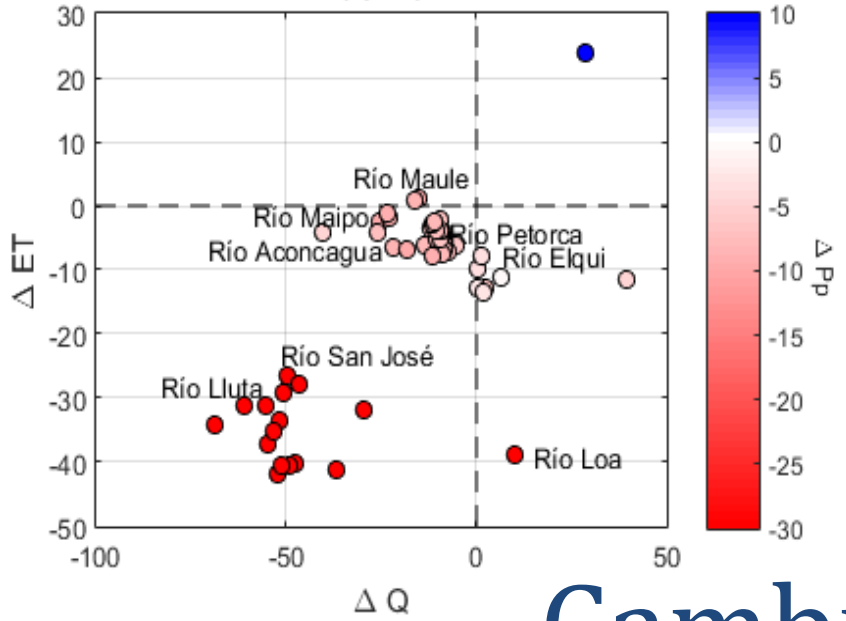
2030-
2060

Cambio climático

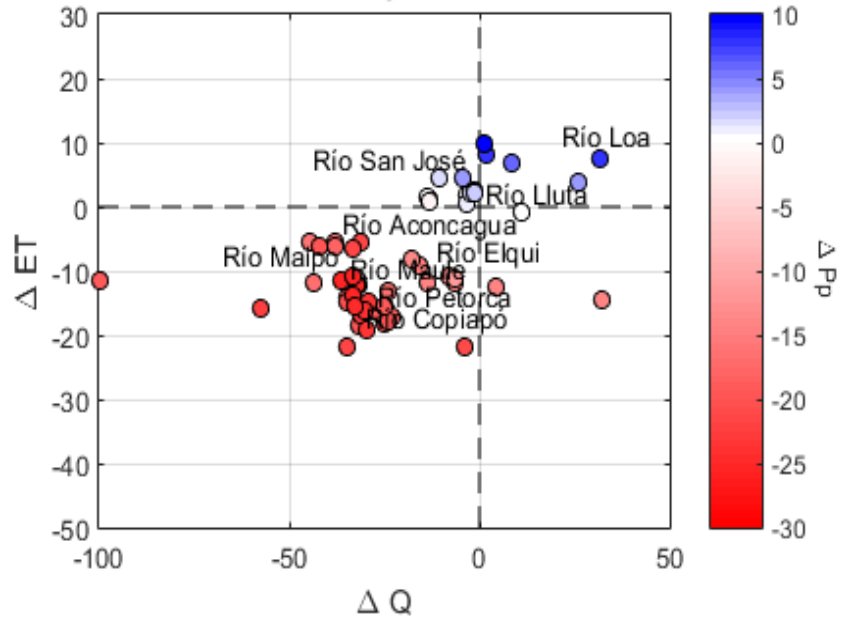
CCSM



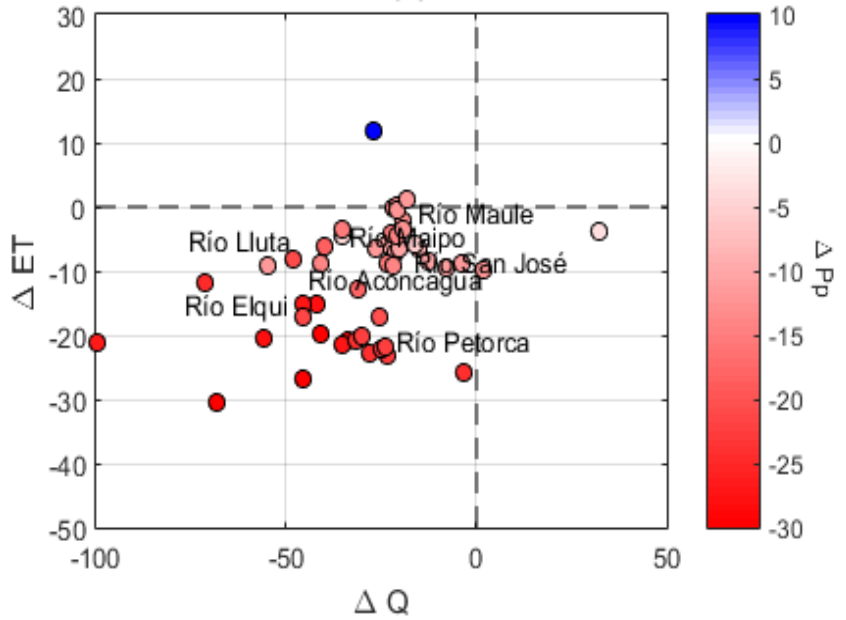
CSIRO



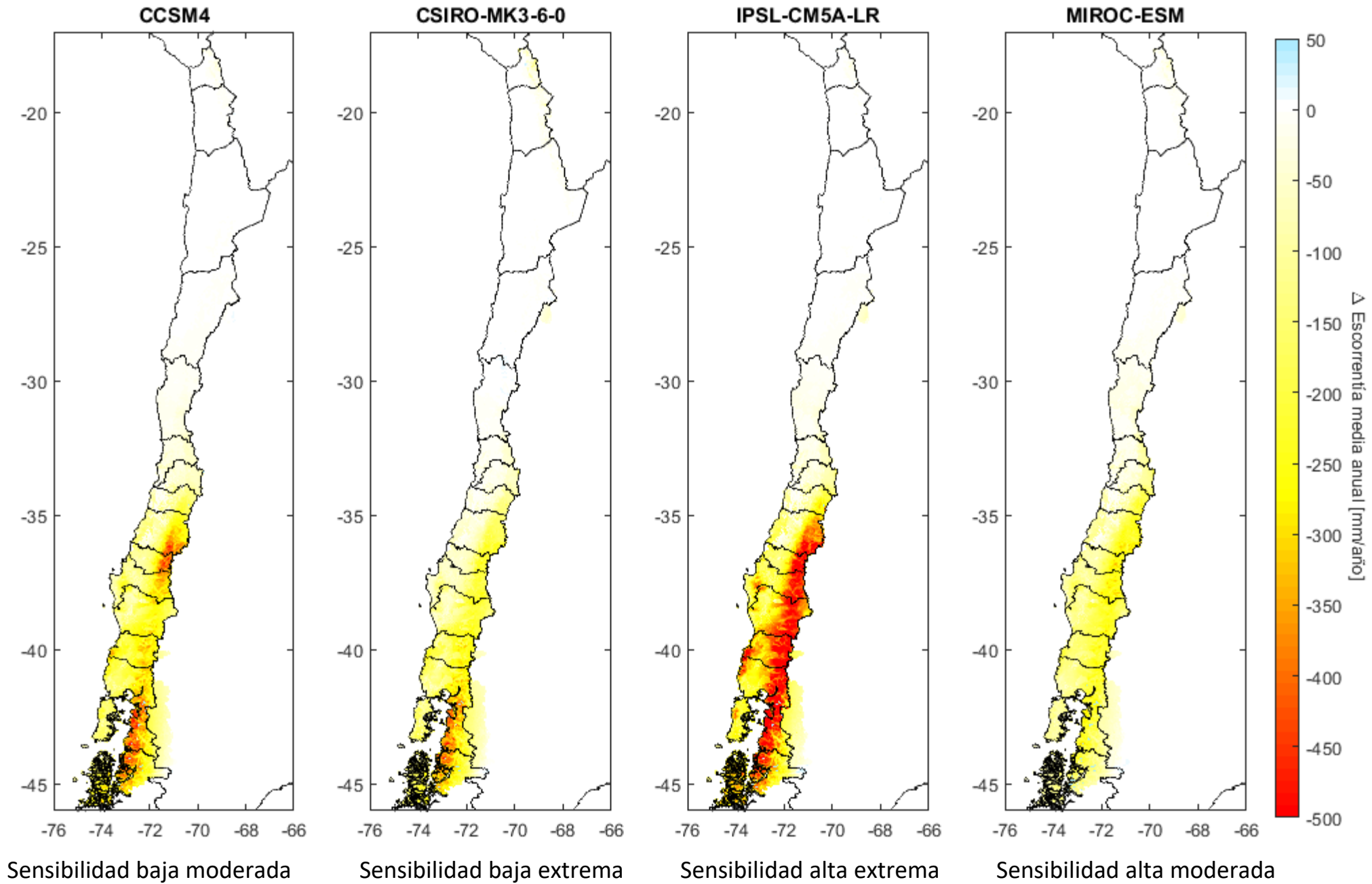
IPSL



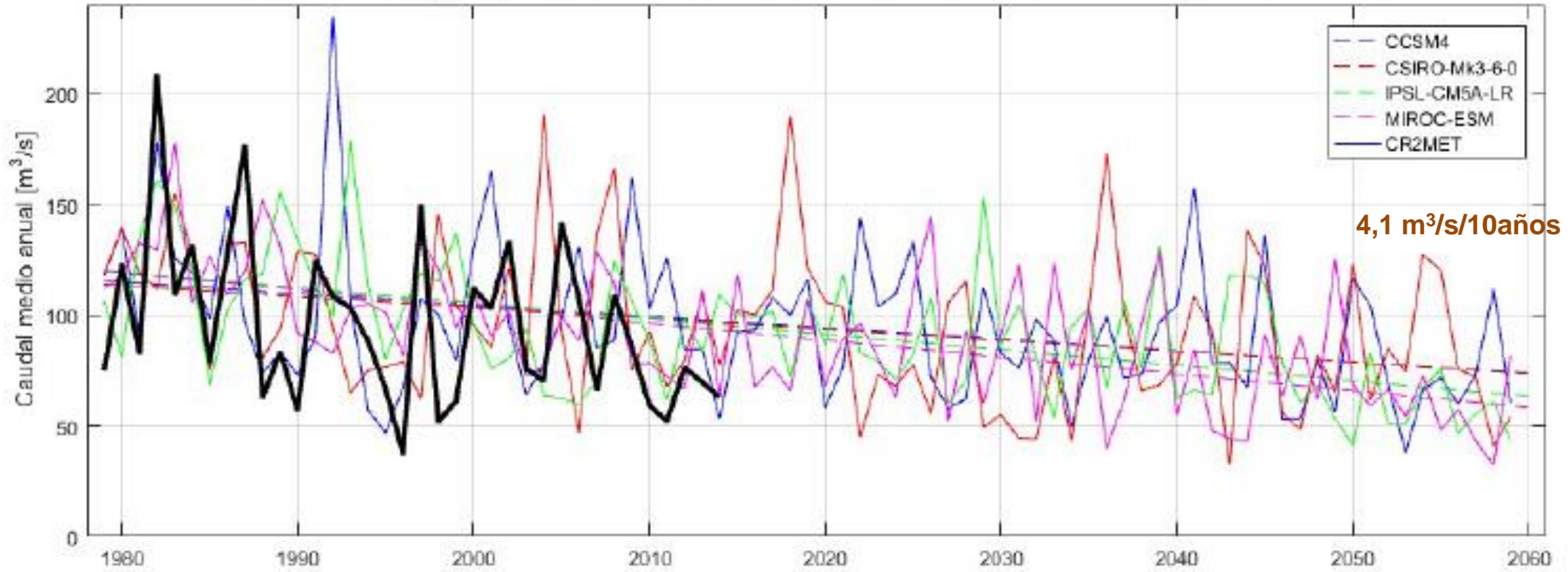
MIROC



Variación de Escorrentía considerando distintos modelos de Cambio Climático

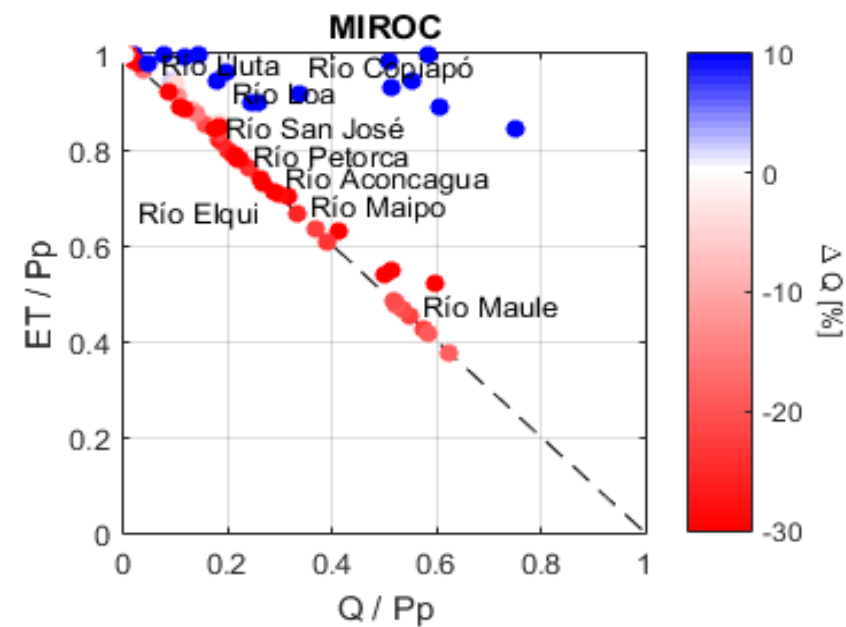
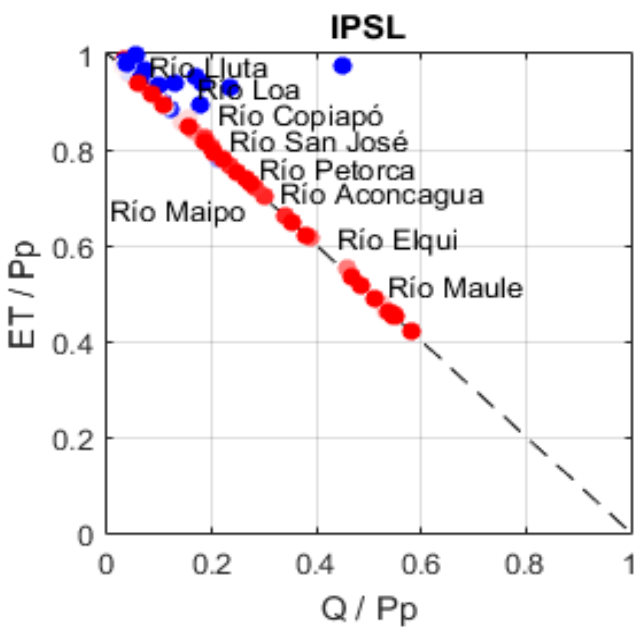
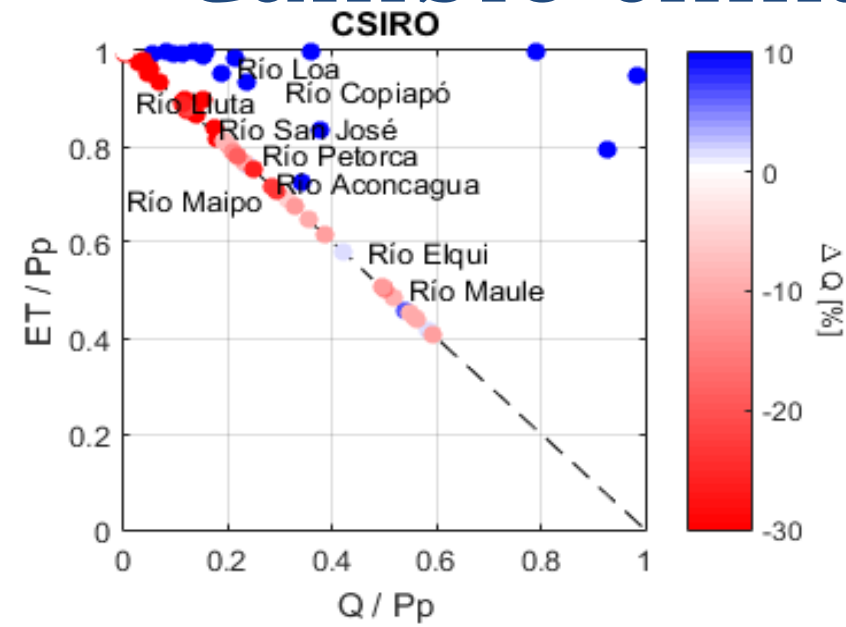
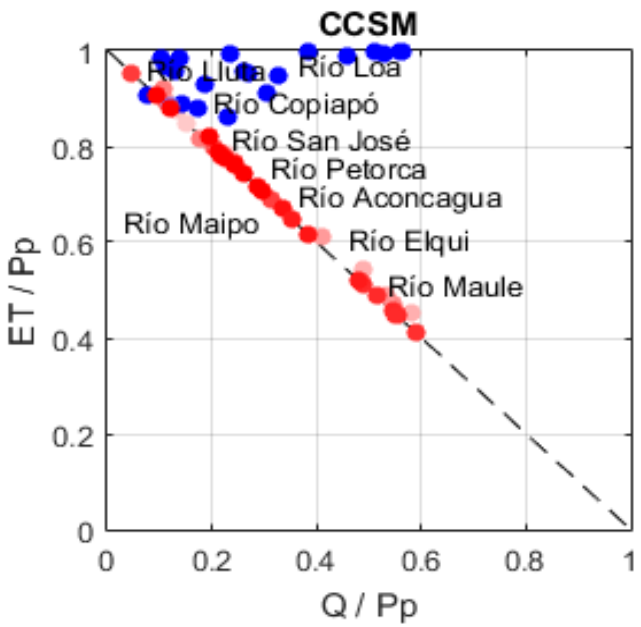


Estimación de Q_{ma} bajo distintos modelos de cambio climático para la cuenca río Maipo en el Manzano



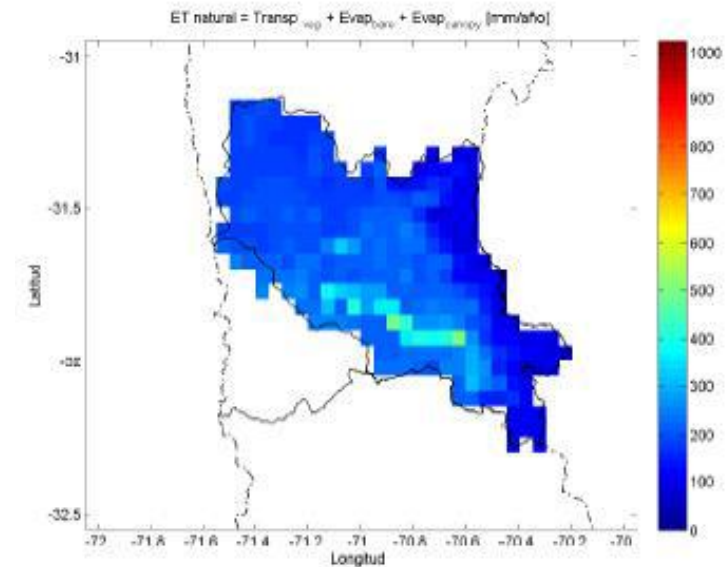
Cambio climático

2030-2060



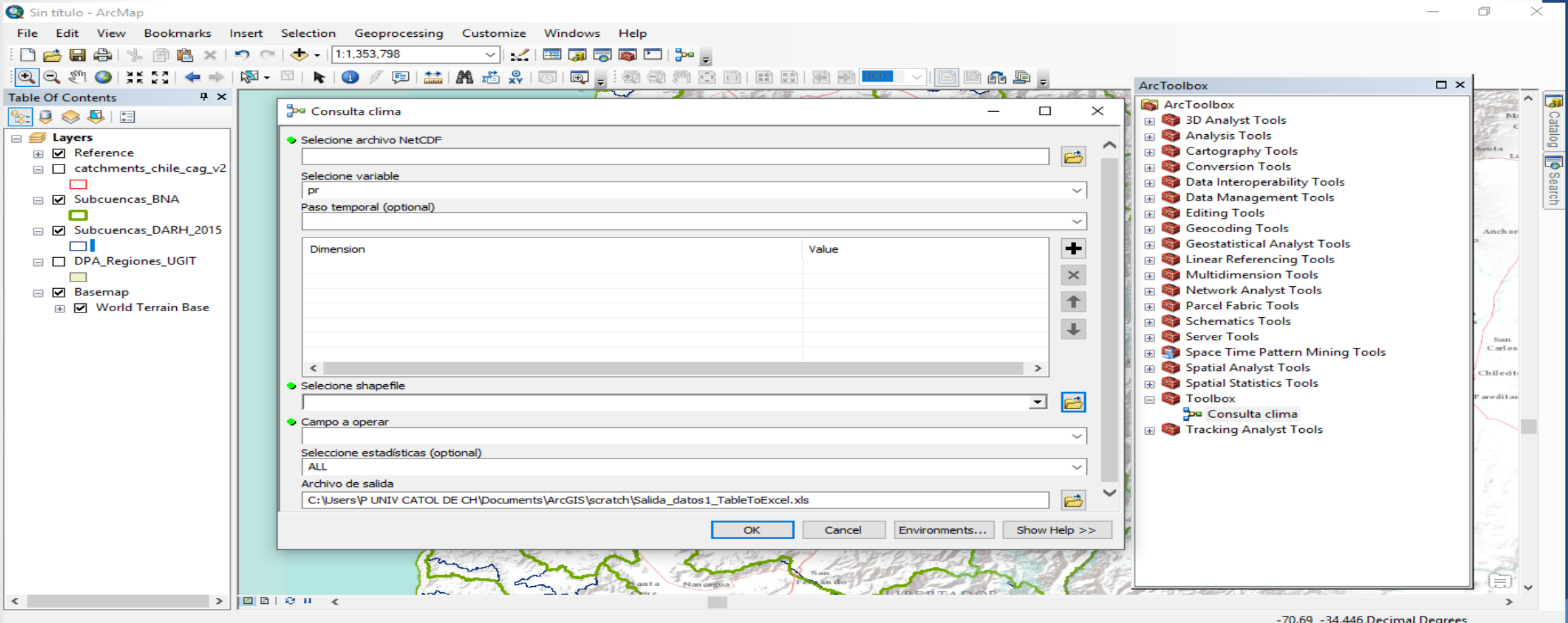
Producto SIG

- 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)