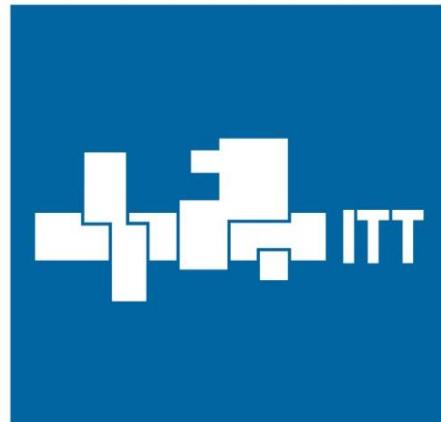


# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad del agua a nivel de cuenca

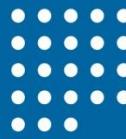
Alexandra Nauditt, ITT

*Seminario: Hidrología Andina para el manejo de los recursos hídricos: conceptos y herramientas, Noviembre 17-20, 2015, Santiago de Chile*



## Contenido:

- ITT, Contexto y objetivos del seminario y entrenamiento
- La criósfera en alta montaña y su relevancia para la disponibilidad de agua a nivel de cuenca
- Estudios globales, regionales y a nivel de cuenca
- Tendencias de cambio climático/variabilidad climática
- Procesos de conversión en caudal y modelación
- Impacto de la subida de la temperatura al caudal



# Instituto para el Manejo de Recursos y Tecnología (ITT)

## Actividades:

- Programas de Magister y Doctorado
- Investigación aplicada
- Cursos de Capacitación

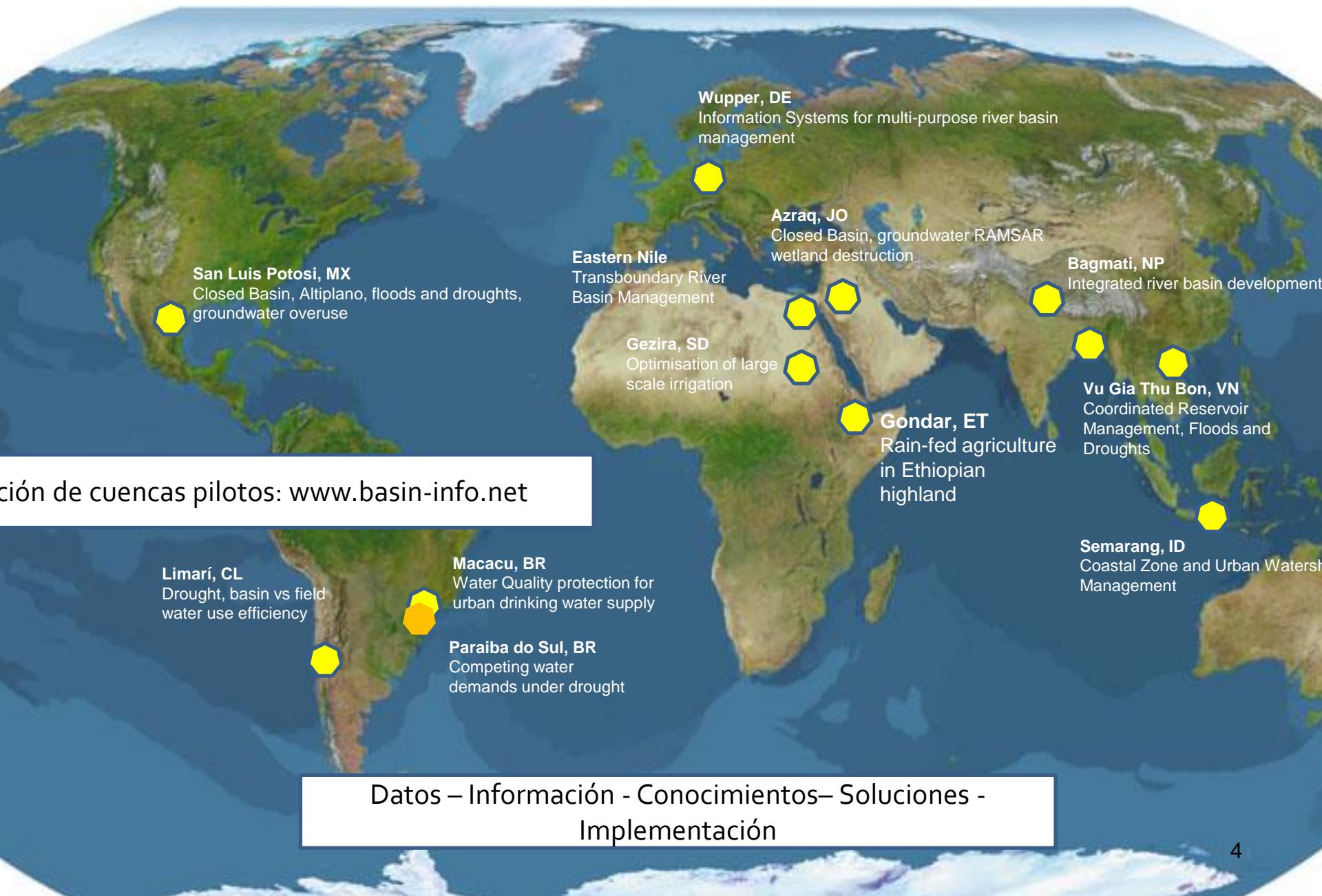


## Enfoques temáticos :

- Manejo sustentable de recursos naturales:  
Agua, Uso de suelo, energía
- Manejo de sequías e inundaciones
- Cambio climático y riesgos ambientales



# Casos de estudio: cuencas





# Actividades del ITT en la región:

## Investigación:

- Análisis y manejo de sequía a nivel de cuenca
- Modelación de procesos hidrológicos y de distribución de agua: pronósticos estacionales de caudal y escenarios a largo plazo para el apoyo de la toma de decisiones en el manejo de agua
- Análisis de la eficiencia del uso de agua basados en modelación, manejo de datos y monitoreo ([www.limari-hidro.info](http://www.limari-hidro.info))
- Productos de información para usuarios de agua y otros actores involucrados en la planificación de recursos ([www.basin-info.net](http://www.basin-info.net))
- Análisis e manejo del Nexus Agua-Energía- Suelo/Seguridad Alimentaria

## Educación posgradual y capacitación relacionada con

- Análisis y Manejo de cuenca
- Monitoreo, manejo de datos, modelación
- WEF Nexus (Proyecto EduNexus con el ICG, UC)

de la región de predicciones  
dad del agua.  
pecialmente  
as áreas  
ntina  
o agua de  
ervir a  
es respecto al  
ados para elegir  
s predicciones y  
imposio y la  
to sobre los  
dichas  
es. Se  
evaluación y  
esventajas de  
ón sobre la  
más de una  
imposio y la  
políticas y las  
cursos hídricos

s del agua  
ilidad  
dricos en la

## Fecha y lugar

Centro de Estudios Avanzados y Extensión, PUCV Antonia Bellet 314 | Providencia | Santiago de Chile  
17 al 20 de noviembre 2015

### Inscripción gratuita

*La participación en la visita a terreno se cobrará dependiendo del número de participantes*

## Instituciones organizadoras

- » Programa Hidrológico Internacional - Unesco (PHI), Santiago de Chile, Dr. Koen Verbist
- » Instituto de Tecnología y Manejo de Recursos en los Trópicos y Subtrópicos ITT – TH Köln Universidad de Ciencias Aplicadas
- » Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile, Prof. Dr. Eduardo Salgado
- » Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Prof. Dr. James Mc Phee
- » Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiaridas de América Latina y el Caribe CAZALAC, La Serena, Chile

## Contacto

KOEN VERBIST

UNESCO IHP, Santiago

k.verbist@unesco.org

EDUARDO SALGADO

Universidad Católica del Valparaíso

esalgado@ucv.cl

El simposio y la capacitación son financiadas por:



# SIMPOSIO Y CAPACITACIÓN PROFESIONAL

**Entender el papel del clima y la hidrología de Los Andes Central en el manejo del agua: herramientas y conceptos**

**17 al 20 de noviembre 2015  
Santiago, Chile**

# Objetivos del seminario

## Objetivos del seminario y entrenamiento:

- Fomentar el diálogo entre política y ciencia para mejorar el manejo sustentable del agua
- Capacitar a los participantes a evaluar la calidad de predicciones de caudal a corto y largo plazo
- Capacitar a los participantes de seleccionar métodos adecuados para simulaciones de caudal dependiendo de las condiciones en la cuenca y la disponibilidad de datos
- Conocer distintas herramientas de monitoreo, manejo de datos/información y modelación en cuencas montañosas
- Intensificar la colaboración entre las distintas disciplinas:
  - . Glaciologos, hidrologos, Administradores de Agua ...

## Resultados de Aprendizaje

- Entender la importancia de la criósfera en regiones montañosas en las predicciones de la disponibilidad del agua
- Saber cómo usar la información pública sobre el clima y las sequías
- Saber seleccionar métodos apropiados en distintas circunstancias

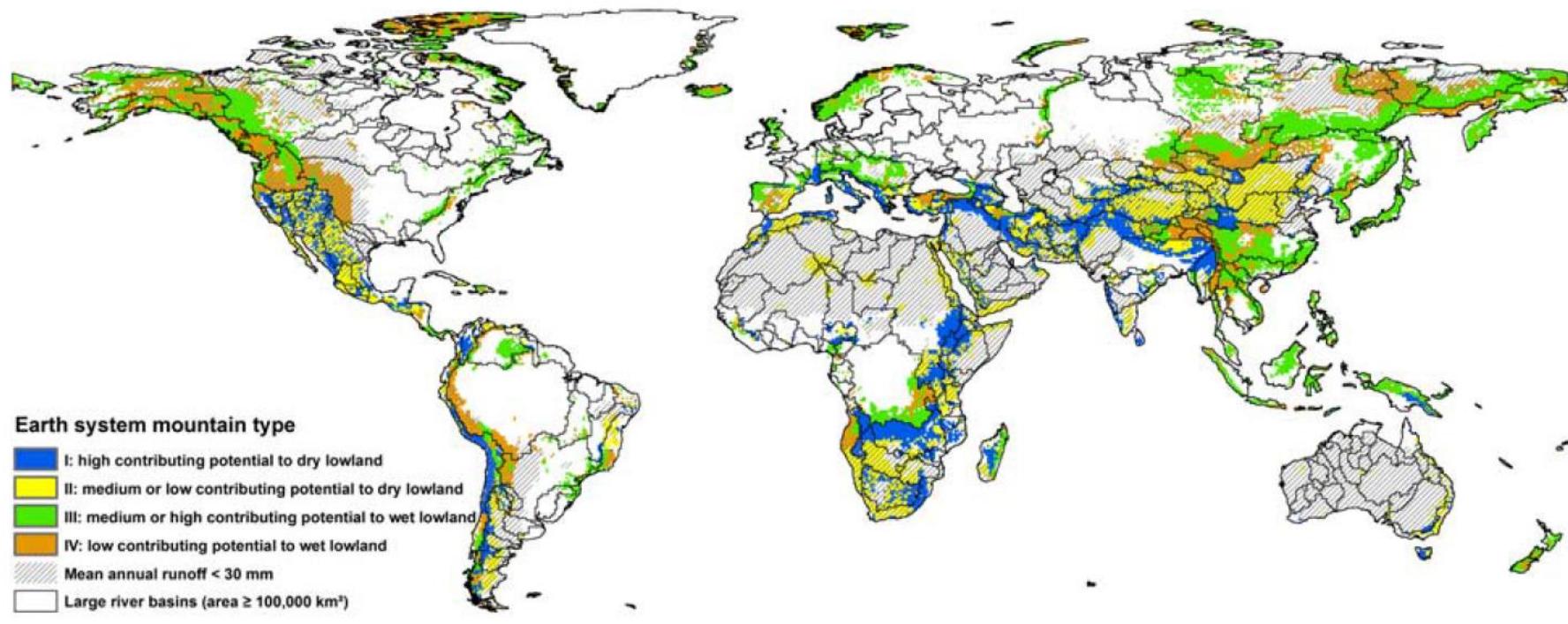
Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<p>9 am</p> <p>Sesión de apertura (PUCV, UNESCO, ITT): <i>Eduardo Salgado, Koen Verbist, Alexandra Nauditt</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El rol de la criósfera montañosa en la disponibilidad del agua</li> <li>- Desafíos y oportunidades para las cuencas montanas</li> </ul>	<p>9 am</p> <p>Visita a terreno: Abordar temas de análisis y monitoreo de datos, modelaje hidrológico, predicciones de caudal, monitoreo, evaluación de cuencas hidrográficas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenca del Mapocho</li> <li>• Visita a la Estación Valle Nevado para el monitoreo de la nieve y el clima   <i>James McPhee</i></li> <li>• Medidores de flujo de la Dirección General de Aguas (DGA)</li> </ul>	<p>9 am</p> <p>Introducción general a los enfoques del modelaje hidrológico: distribución espacial, parámetros</p> <p>Introducción a elementos claves de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• J 2000   <i>Santiago Penedo</i></li> <li>• HBV light   <i>Dr. Christian Birkel</i></li> <li>• WEAP   <i>Juan Ramírez</i></li> <li>• CRHM   <i>Prof. James McPhee</i></li> <li>• SWAT   <i>Dr. Mauricio Zambrano</i></li> </ul>	<p>9 am</p> <p>Introducción a las aplicaciones rastreo en hidrología   <i>Christian</i></p> <p>Aplicación en el Maipo y Aconcagua (incluyendo fuentes glaciares)   <i>McPhee</i></p> <p>Aplicaciones en Limarí   <i>Alexandra Nauditt</i></p>
<p>11am</p> <p>Introducción al monitoreo del clima e hidrología</p> <p>Análisis y manejo de datos</p> <p>CEAZAMET   <i>Eric Sproles</i></p> <p>Biblioteca de datos del clima de Chile   Observatorio agroclimático   <i>Koen Verbist</i></p>			<p>11 am</p> <p>Equipos de trabajo con guías en paralelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Predicciones hidrológicas</li> <li>• Caída de agua estimada de imágenes satelitales</li> <li>• Análisis de rastreadores</li> </ul>
Almuerzo		Almuerzo	
<p>2 pm</p> <p>Progreso del trabajo en cuencas en Los Andes: Argentina, Perú, Chile</p> <p>Introducción de los grupos de trabajos</p> <p>Instalación del software</p>		<p>2 pm</p> <p>Equipos de trabajo con guías en paralelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo y análisis de datos, plataformas de información disponibles: IRI, Agrocl. Obs. RBIS</li> <li>• Modelaje hidrológico: aplicaciones de datos reales a CRHM y HBV light</li> </ul>	<p>2 pm</p> <p>Discusión de los resultados, recomendaciones, necesidades material o cuencas adicionales parte de los grupos de trabajo</p>
<p>3 pm</p> <p>Preparación para la visita a terreno: La cuenca del Maipo: monitoreo hidrometeorológico</p>		<p>3 pm</p> <p>Presentación de los resultados grupos de discusión.</p>	<p>Conclusiones y evaluaciones</p>

# Características de cuencas con criósfera montañosa

# Características de cuencas con criósfera montañosa



- Contribución criosférica al caudal total en una cuenca:
- Deshielo, fusión de nieve
  - Derretimiento de glaciares y glaciares de roca (Arenson&Jakob 2010)
  - y de otros tipos de permafrost
  - Agua subterránea de diferentes edades (Vogel et al. 1971; Fritz et al., 1981)



**Figure 5.** Global map of Earth system mountain types

32% del caudal global se genera en regiones montañosas.  
En algunas cuencas el caudal montañoso puede representar hasta el 95% (Global water towers, Vivioli et al., 2007)

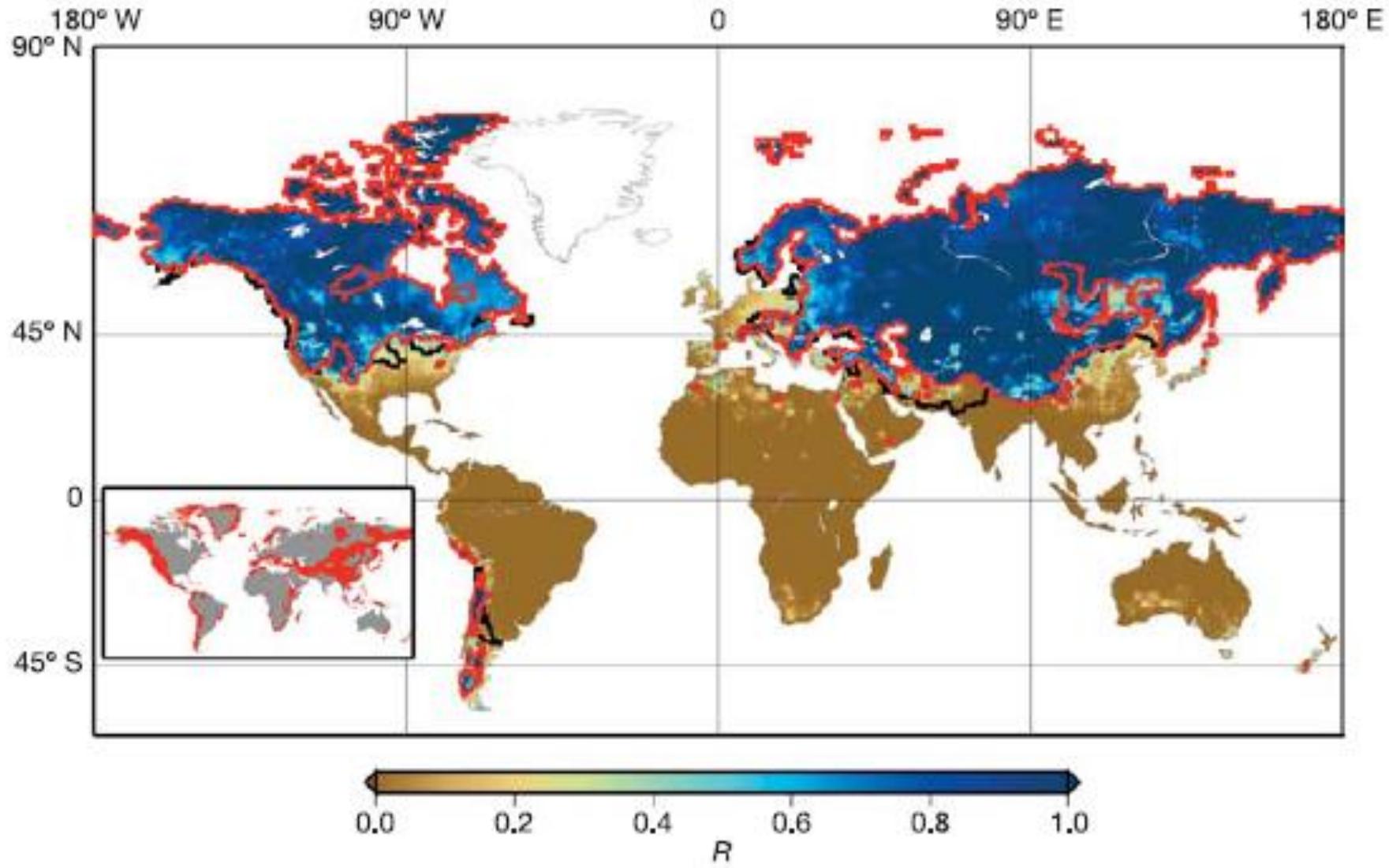
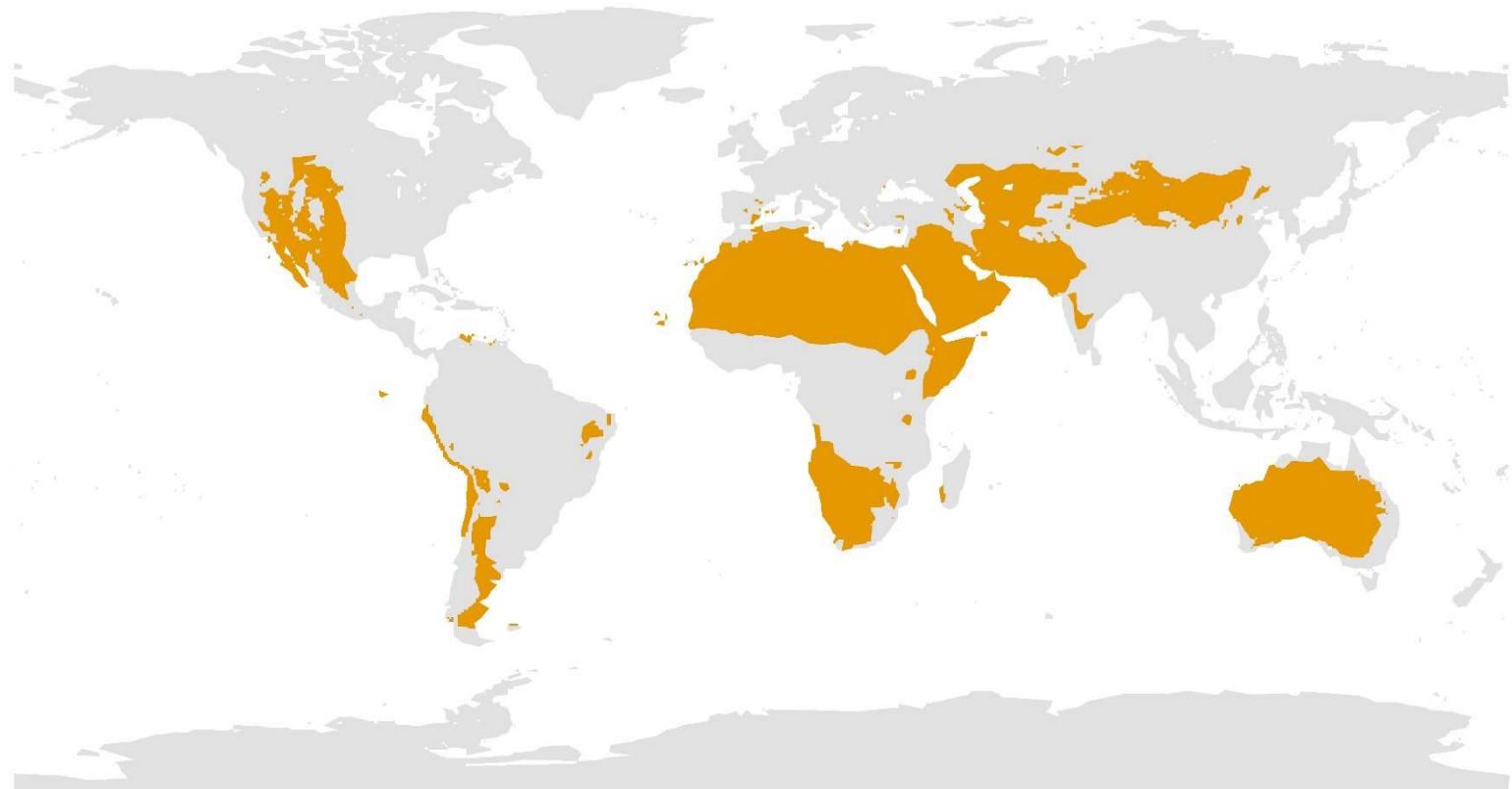


Figure 1 | Accumulated annual snowfall divided by annual runoff over the global land regions. The value of this dimensionless ratio lies between 0 and 1 and is given by the colour scale,  $R$ . The red lines indicate the regions where streamflow is snowmelt-dominated, and where there is not adequate reservoir storage capacity to buffer shifts in the seasonal hydrograph. **Barnett et al. (2005)**

# Zonas áridas y semiáridas



Arid and semiarid regions worldwide

Data: updated Köppen's climate classification after Peel et al. (2007), <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007-supplement.zip>

# Características de montañas crioféricas en zonas áridas y semi-áridas



## Regiones áridas

- 30% - 40% de la superficie del mundo es árida o semi árida (*Vörösmarty et al., 2000; Reynolds et al., 2007*)
- Población 2.74 billones (*Vörösmarty et al., 2000; Reynolds et al., 2007*)

## Cuencas áridas y semiáridas con montañas crioféricas



- zonas agrícolas extensas se abastecen con agua de cuencas montañosas como del “tercer polo” en el Himalaya, el Rio Colorado de los Rocky Mountains y de las cuencas andinas.
- Un sexto de la población mundial vive en aquellas regiones agrícolas (*Singh et al., 2006; Barnett et al., 2005*)
- Estos sistemas están expuestos a una variabilidad extrema inter-anual en precipitaciones tanto temporal como espacial (*Chauvin et al. 2011*)

Papel del caudal criósferico para la hidrología a nivel de cuenca: Immerzeel et al (2010) aplico el Índice normalizado de fusión ( NMI) para el período entre 2001 to 2007.

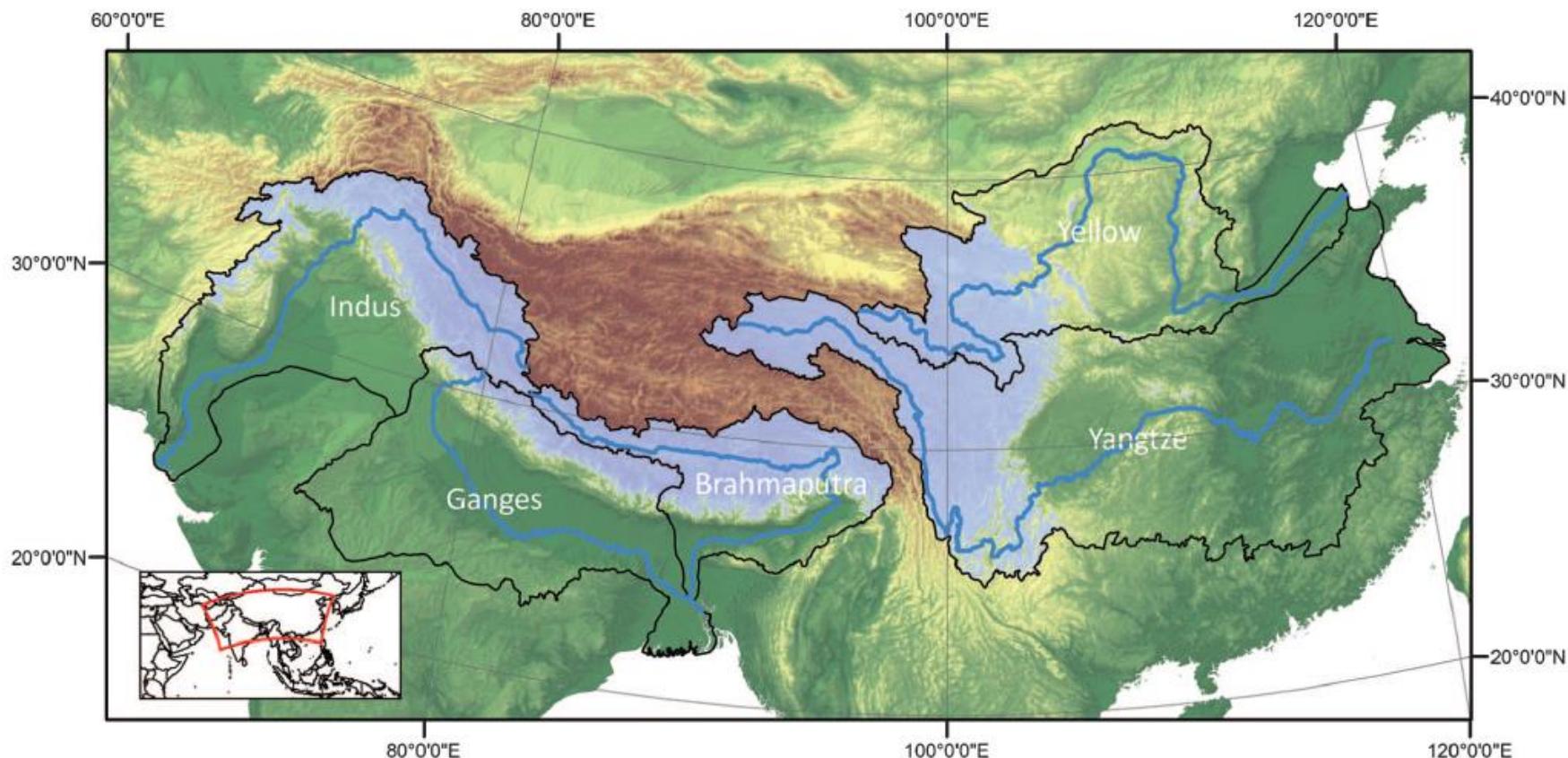
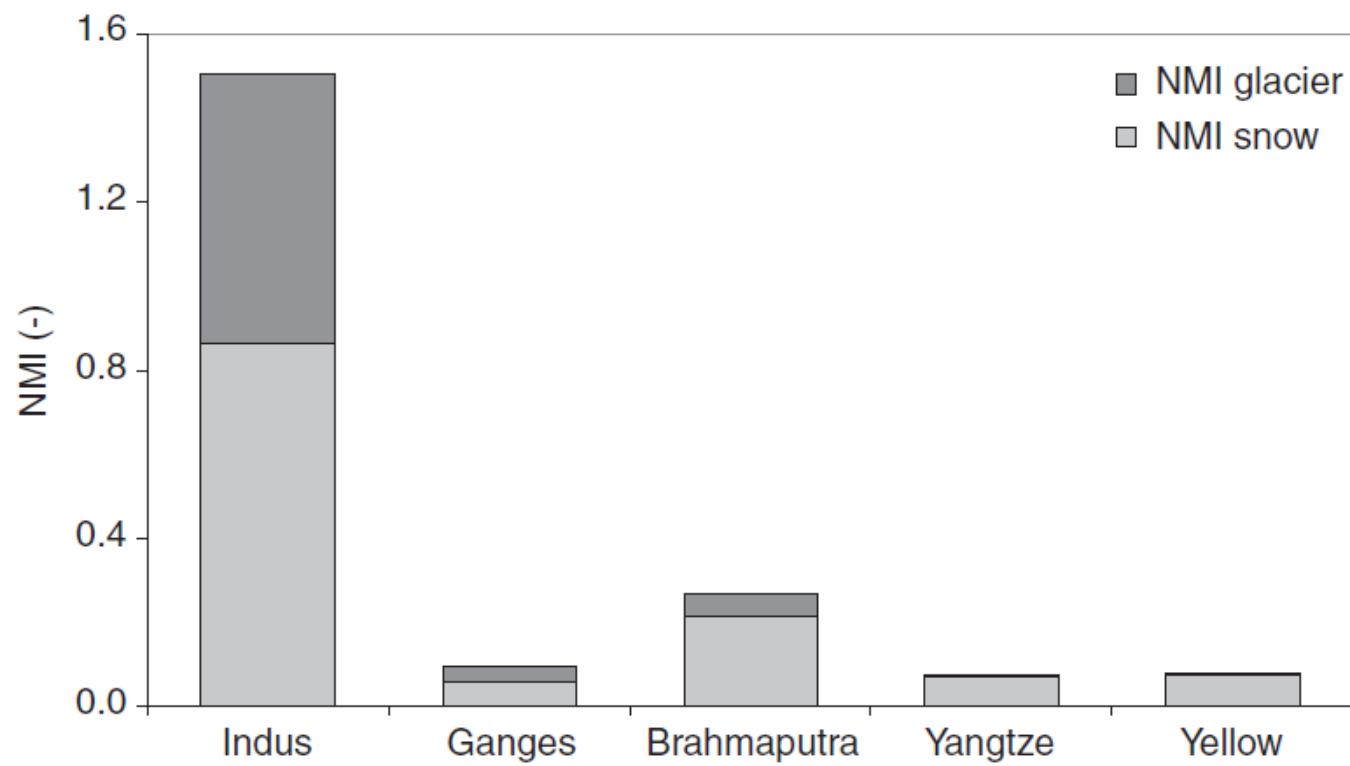


Fig.: Delineación de cuencas y de los ríos Indus, Ganges, Brahmaputra, Yangtze y Yellow. Áreas azules indican regiones más altas que los 2000 m de altura. Estas cuencas abastecen agua a más de 1.4 billones de personas (más de 20% de la población global) Immerzeel et al. (2010)

**Fig. 2.** Normalized melt index (NMI) for snow and glacier melt for the present (2000 to 2007) climate.



Resultados: Indus: 151% del caudal generado aguas abajo viene de la cordillera, 40% fusión de glaciares,

Brahmaputra : 27%. Principalmente nieve

En las cuencas del Ganges, Yangtze y Yellow tienen más superficie aguas abajo, menos precipitación en la cordillera, glaciares más pequeños, condiciones climáticas más húmedas aguas abajo

## El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca

Viviroli, D., H. H. Dürr, B. Messerli, M. Meybeck, R. Weingartner, 2007,  
Mountains of the world, water towers for humanity: Typology,  
mapping, and global significance, Water Resource

Walter W. Immerzeel, Ludovicus P. H. van Beek, Marc F. P. Bierkens, 2010,  
*Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping,  
and global significance,*  
[www.sciencemag.org/cgi/content/full/328/5984/1382/DC1](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/328/5984/1382/DC1)

Barnett et al., 2005 Barnett, T. P., Adam, J. C., Lettenmaier D. P.: Potential  
impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated  
regions. Nature 438, 303-309, doi:10.1038/nature04141

## August 2002



## August 2006



# La criósfera en la Cordillera Andina Oeste central ( $30^{\circ}$ )

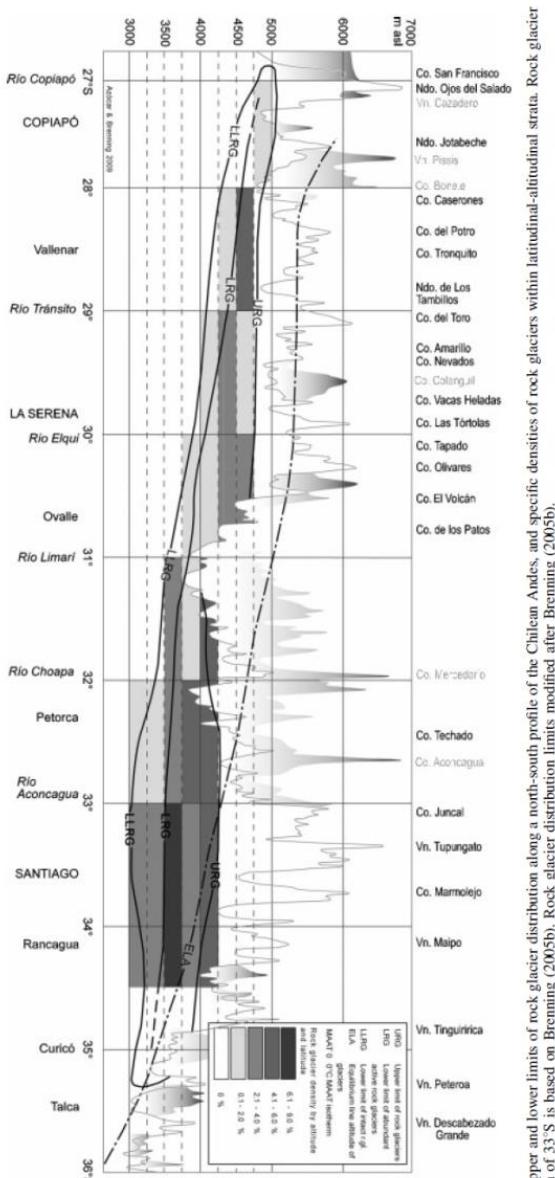


Figure 2. Upper and lower limits of rock glacier distribution along a north-south profile of the Chilean Andes, and specific densities of rock glaciers within latitudinal-altitudinal strata. Rock glacier density south of  $33^{\circ}\text{S}$  is based on Brenning (2005b). Rock glacier distribution limits modified after Brenning (2005b).

- Pocos estudios sobre la criósfera en la cordillera central
- poca cobertura de glaciares al norte de la latitud  $30^{\circ}$  (Ázocar y Brenning 2010)
- Limarí: estimated specific density of rock glaciers of 1.4 per cent, which corresponds to  $16.8 \text{ km}^2$  and a water equivalent of  $0.27 \text{ km}^3$  (Azocar & Brenning 2010)

Source: Azocar&Brenning 2010,

# Variabilidad climática y predicciones de cambio

Cuencas crioféricas son extremamente vulnerables al aumento de la temperatura y cambios estacionales de precipitación (Chauvin et al., 2011, Azócar & Brenning, 2010, Barnett et al., 2005)  
=> Subida de temperaturas acelera fusión y evaporación.

## Tendencia de temperaturas:

El paro de subida de temperaturas es más obvio en la zona costera de los Andes extra tropicales:

Mientras en las zonas costeras las temperaturas desde el 1981 están bajando, las mediciones en altitud siguen aumentando.  
(Vuille et al., 2015)

# El papel de la criósfera monta

## Tendencias de temperatura en los Andes (1961-2010) - El papel de la oscilación decaldal pacífica (PDO)

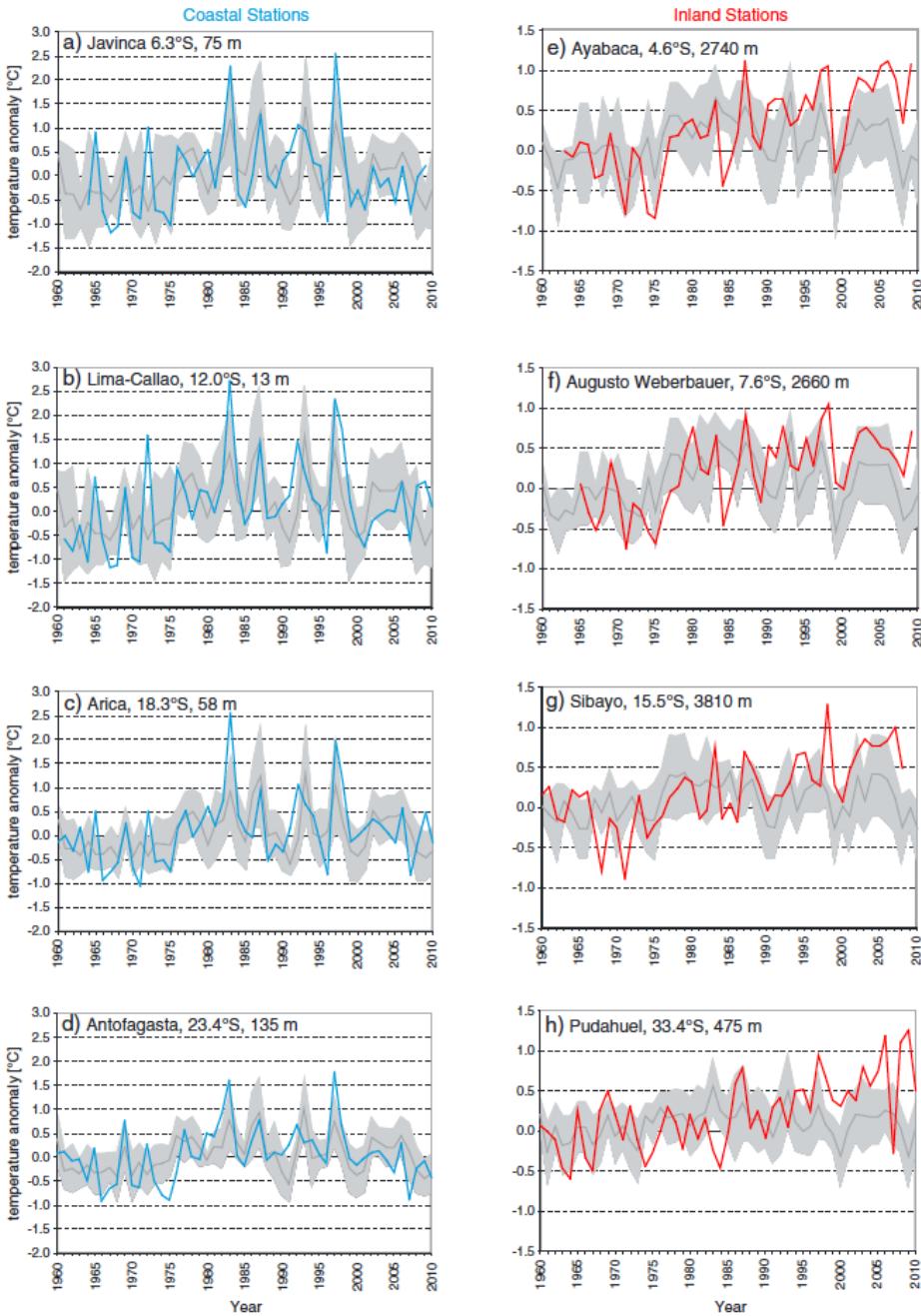
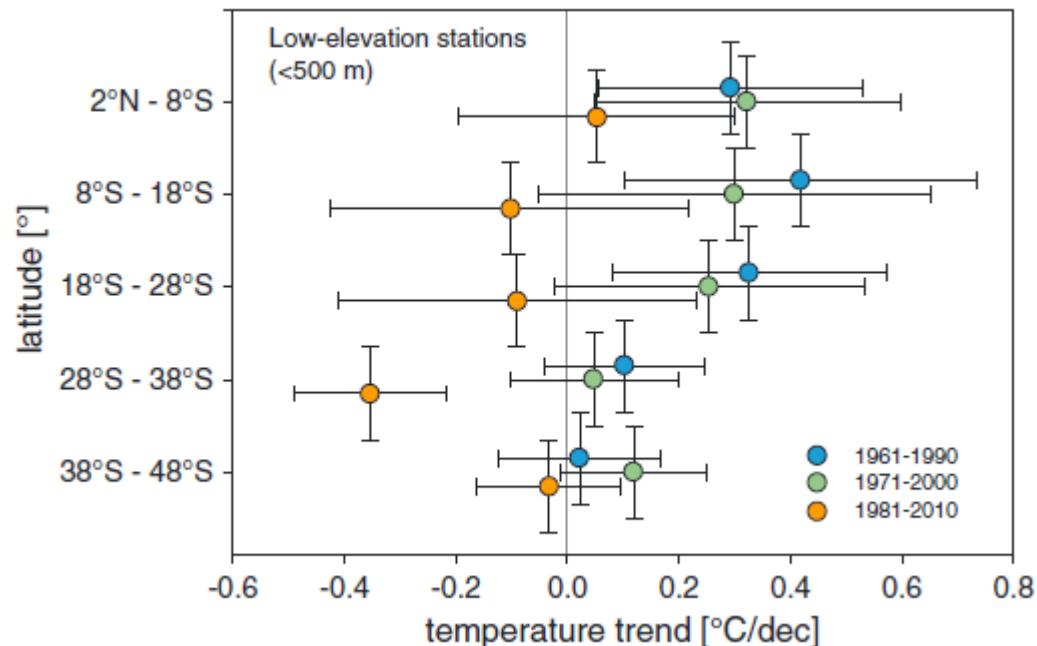


Figure 7. Annual mean observed and PDO-analog temperature anomalies for (a-d) four lowland/coastal stations and (e-h) four inland/high-elevation stations between 1960 and 2010. Anomalies are with respect to the 1961–1990 mean. Observed temperature is shown by blue (red) line for coastal (inland) stations. PDO-analog temperature anomaly (gray line) and its spread (gray shading) represent average temperature anomaly calculated from 5 years with most similar PDO value,  $\pm 1$  standard deviation.

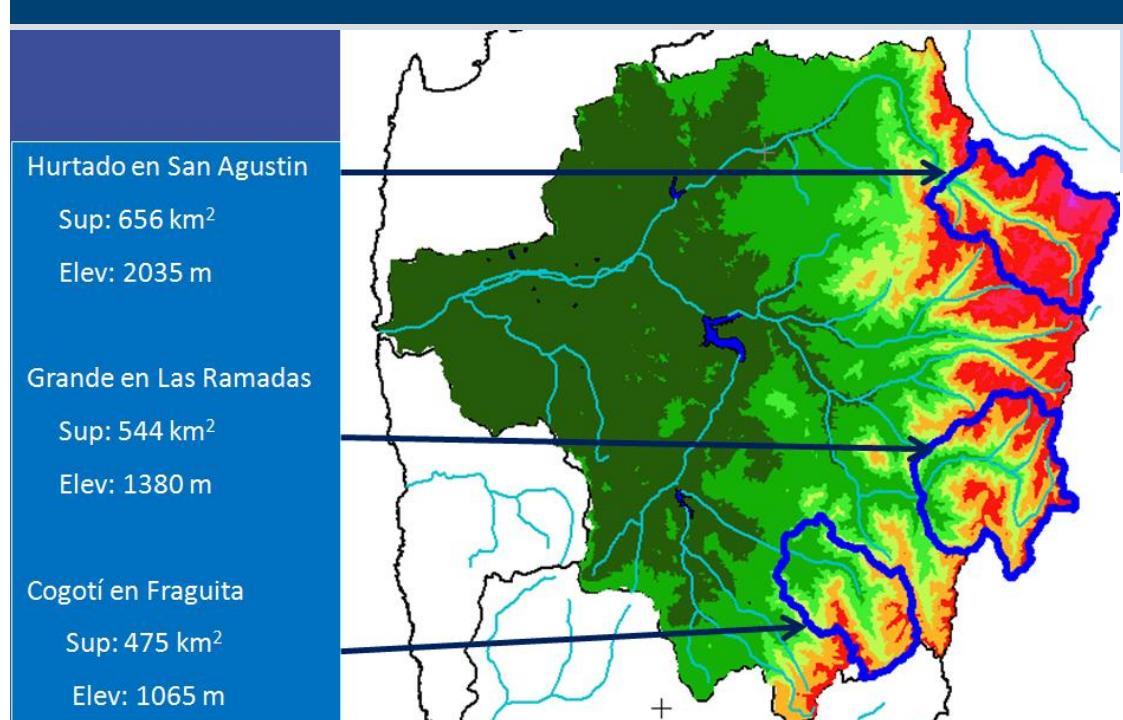
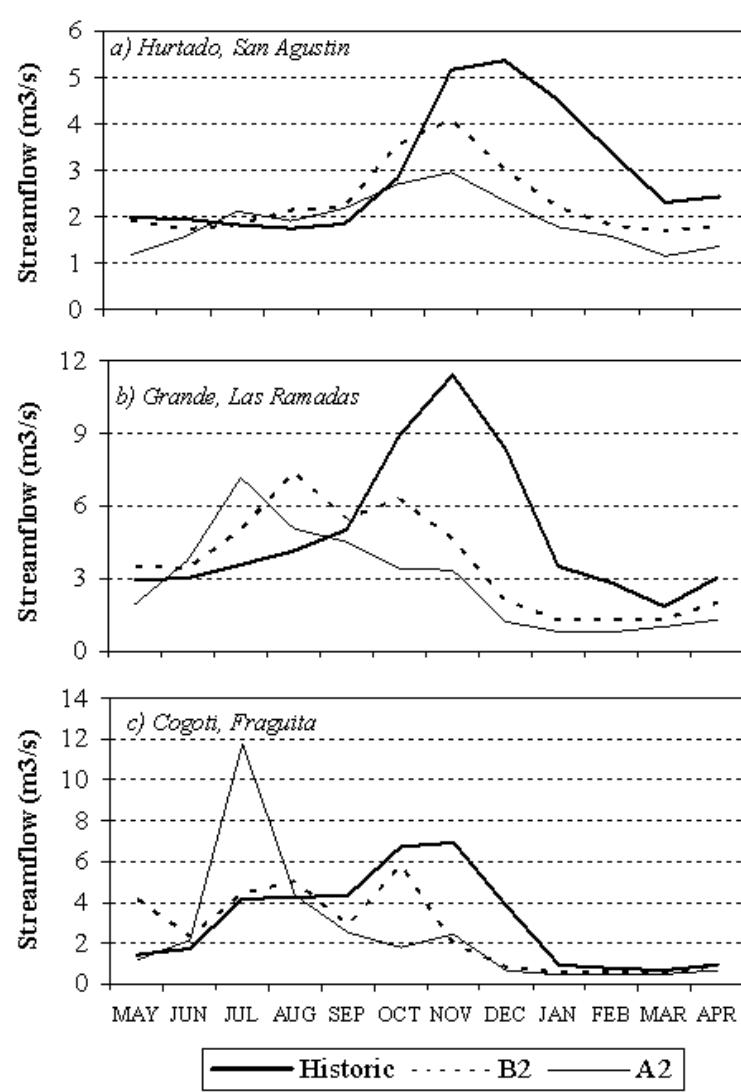
# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca

Tendencias de  
temperatura en las cuencas  
bajas de los Andes:  
1961-1990 (puntos azules)  
1971-2000 (puntos verdes)  
1981-2010 puntos  
naranjos)



**Figure 4.** Temperature trends (in °C/decade) in coastal areas below 500 m (lower western slopes) as a function of time period and latitude. Trends for 1961–1990 and 1981–2010 are plotted with a slight latitudinal offset to increase clarity.

Vuille et al., *J. Geophys. Res.* [2015]



Variable	Scenario	Subbasin		
		Hurtado	Grande	Cogoti
Temperature Las Ramadas (°C)	Hist		16.3	
	B2		19.4 (+3.1 °C)	
	A2		20.4 (+4.2 °C)	
Precipitation (mm/year)	Hist	141	304	199
	B2	127 (-9.9 %)	261 (-14.4 %)	177 (-10.9 %)
	A2	108 (-23.5 %)	213 (-29.9 %)	161 (-18.8 %)
Annual Streamflow (m <sup>3</sup> /s)	Hist	2.9	4.9	3.1
	B2	2.4 (-19.6 %)	3.7 (-23.5 %)	2.6 (-16.5 %)
	A2	1.9 (-35.5 %)	2.9 (-41.5 %)	2.4 (-21 %)
Summer Flow (%)	Hist	48.9	39.4	29.7
	B2	37 (-24.4 %)	19.7 (-49.9 %)	17.4 (-41.5 %)
	A2	33 (-32.5 %)	16.6 (-57.8 %)	18.2 (-38.6 %)
Winter Flow (%)	Hist	23.2	25.7	32.5
	B2	29.9 (28.8 %)	47.3 (84 %)	51.6 (58.9 %)
	A2	33.7 (45.3 %)	53.5 (108.4 %)	56.1 (72.8 %)

Vicuña et al. 2010; Souvignet et al., 2010: increasing temperatures will lead to decrease and a shift of discharge.

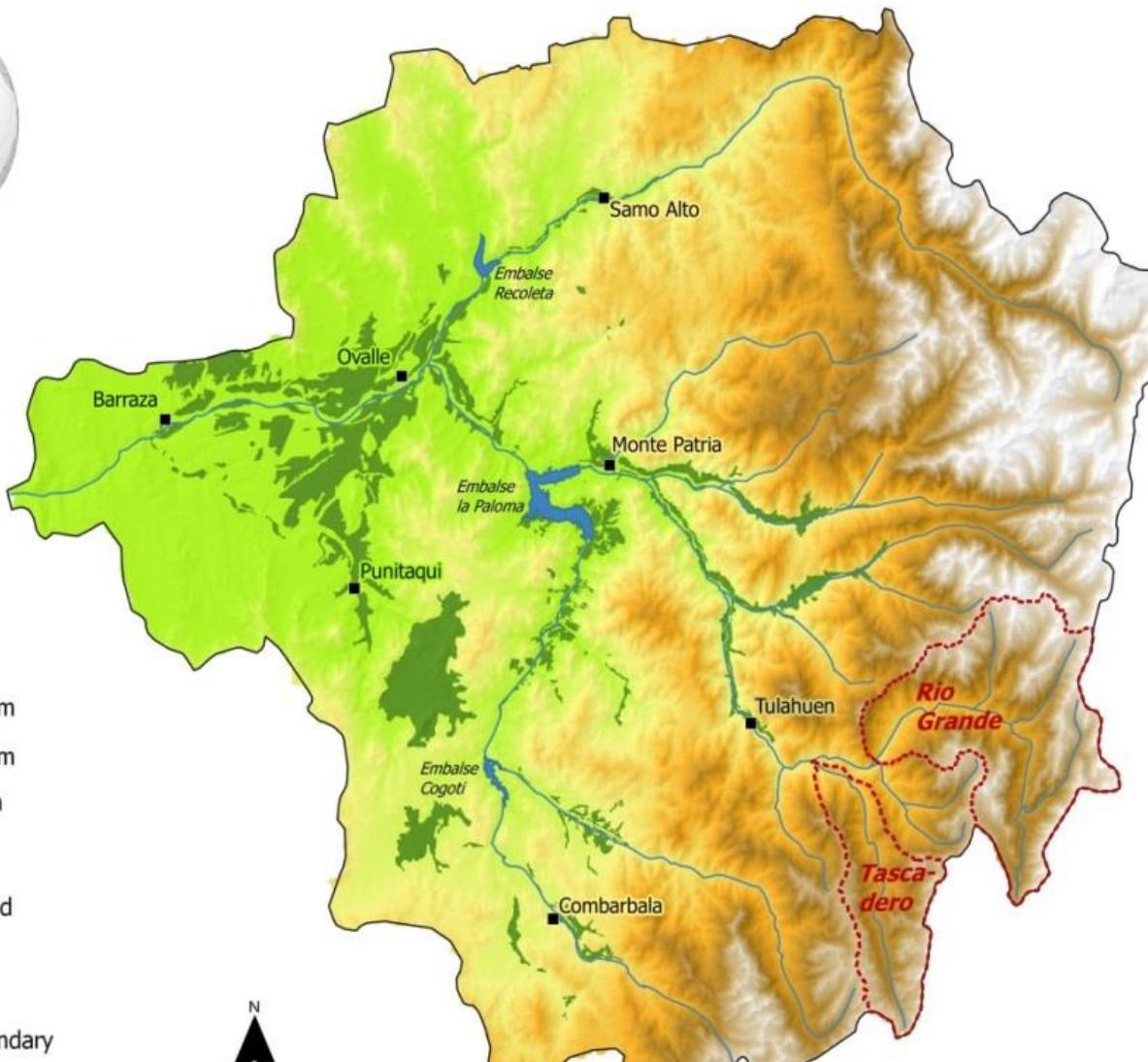
# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca



El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca

# Climate and water availability in the Limarí Basin

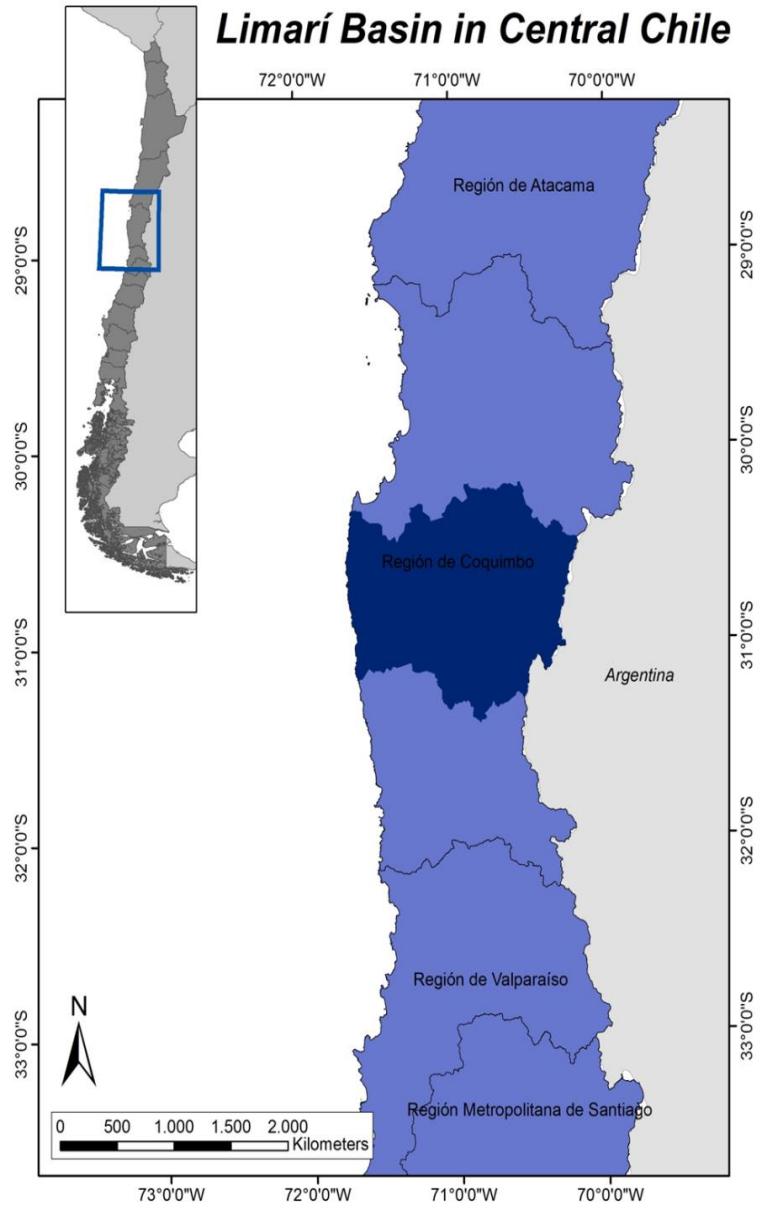
# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca



- Strong spatial and temporal variability of precipitation,
- average rainfall 120mm per year
- Pot Evapo-traspiration > 1000mm
- Hydrological year May to April

Limarí Basin, Rio Grande ( $544\text{km}^2$ ) and Tascasdero ( $254 \text{ km}^2$ ), total size  $11.696 \text{ km}^2$ ,

# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca



Limarí Basin, size 11.696 km<sup>2</sup>



- Elevation: Pacific coast to the Andes: 0-6000 m
- Average annual rainfall: 120 mm
- strong Precipitation gradient from North to South



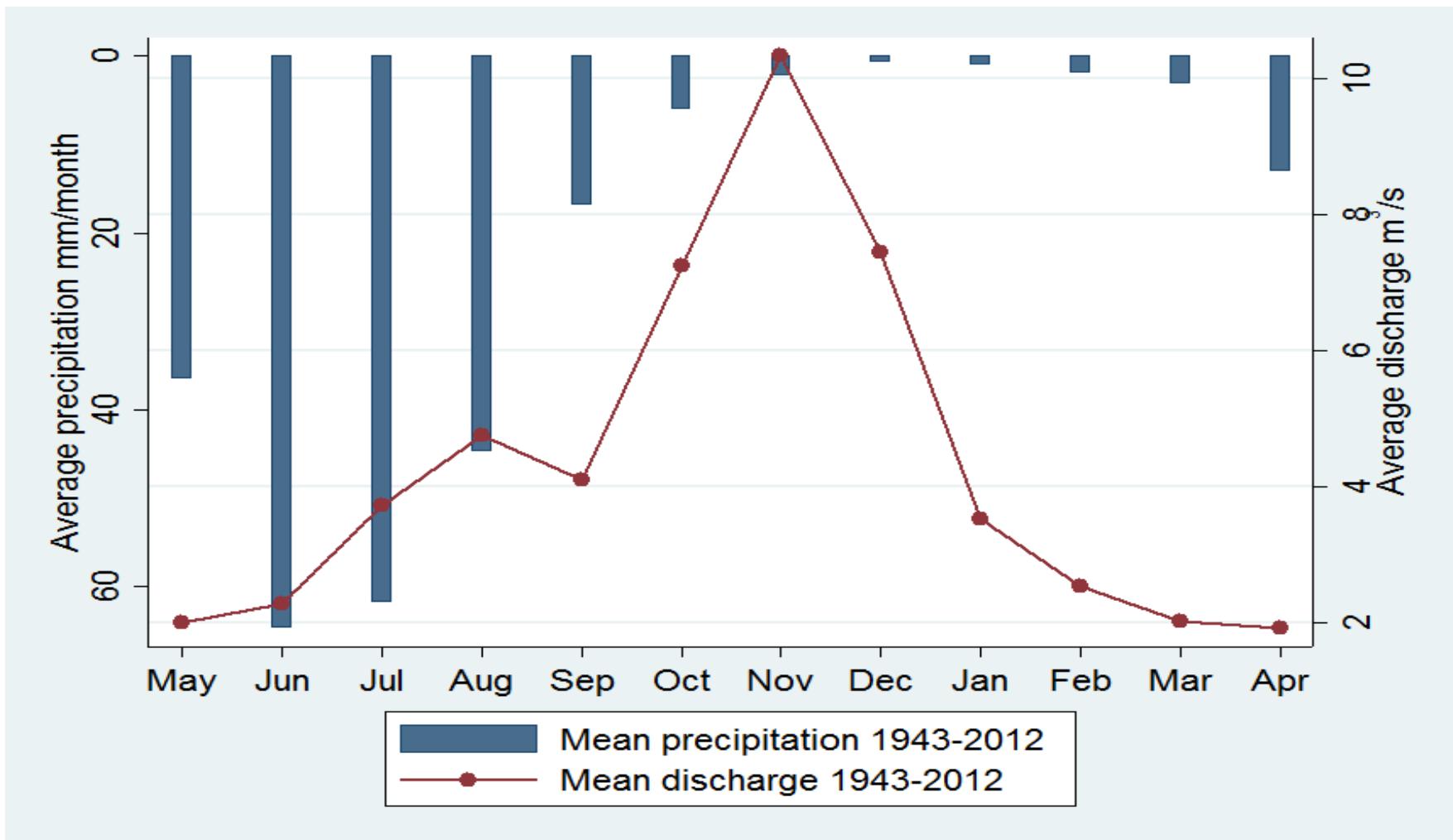
# Water uses and demand: agricultural land use and irrigation

- 87% of water used in export oriented agriculture

Region	Coquimbo (IV)	RM	Valparaiso (V)	Atacama (III)	Total Chile
Fruit crop surface (major crops) (ha)	26.163 (10.4 %)	46.248 (18.5 %)	49.075 (19.6%)	10.794 (4.3%)	250.394 (100%)
Total Irrigated area (ha)	75.708	136,732.34	86,156.71	19,544.93	1,093,812.91

Source: ODEPA 2013, Censo 2007

# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca



**Fig: Intra-annual Precipitation-discharge distribution at Las Ramadas station – averages from 1943 to 2012**

# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca

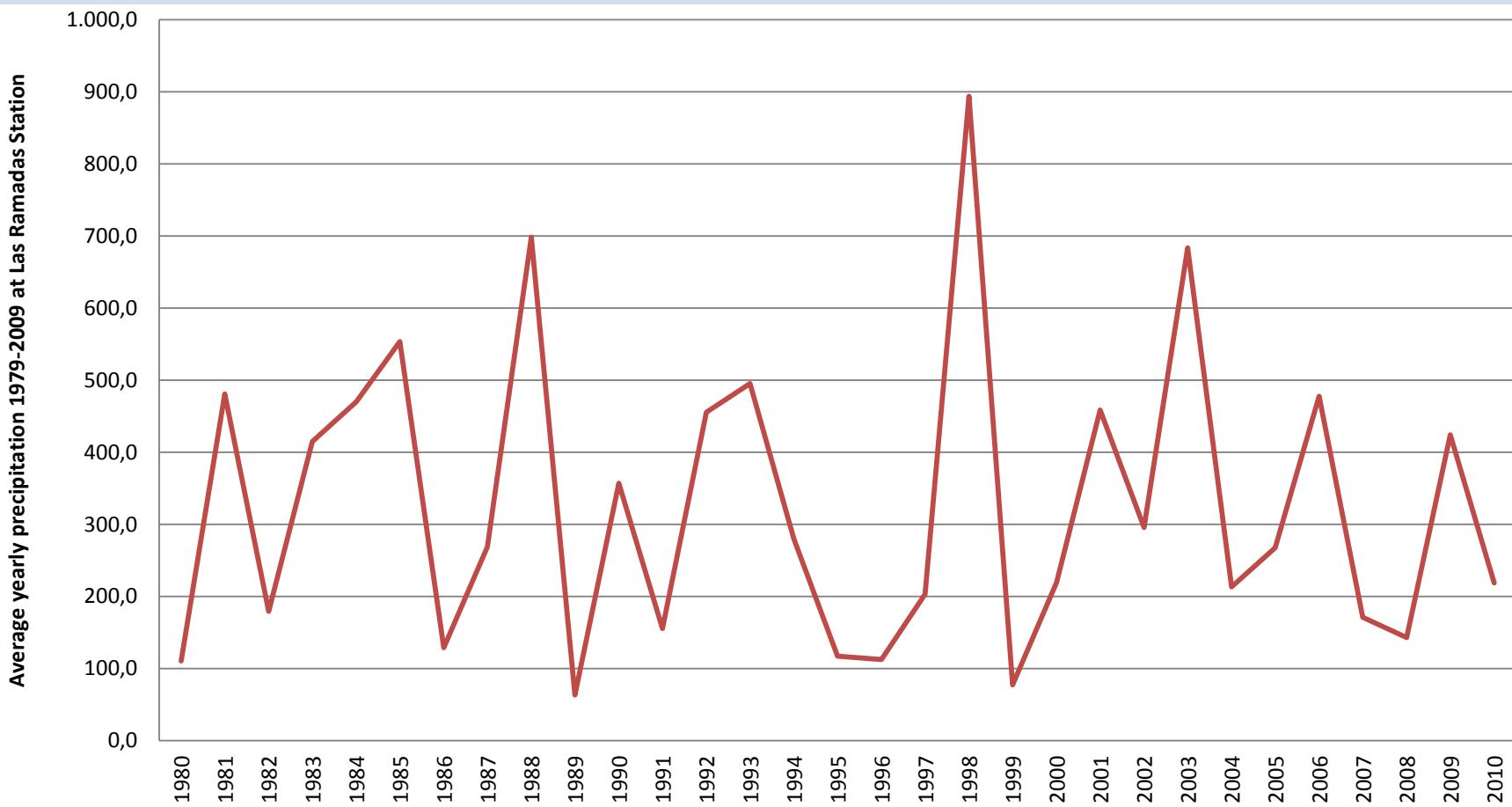
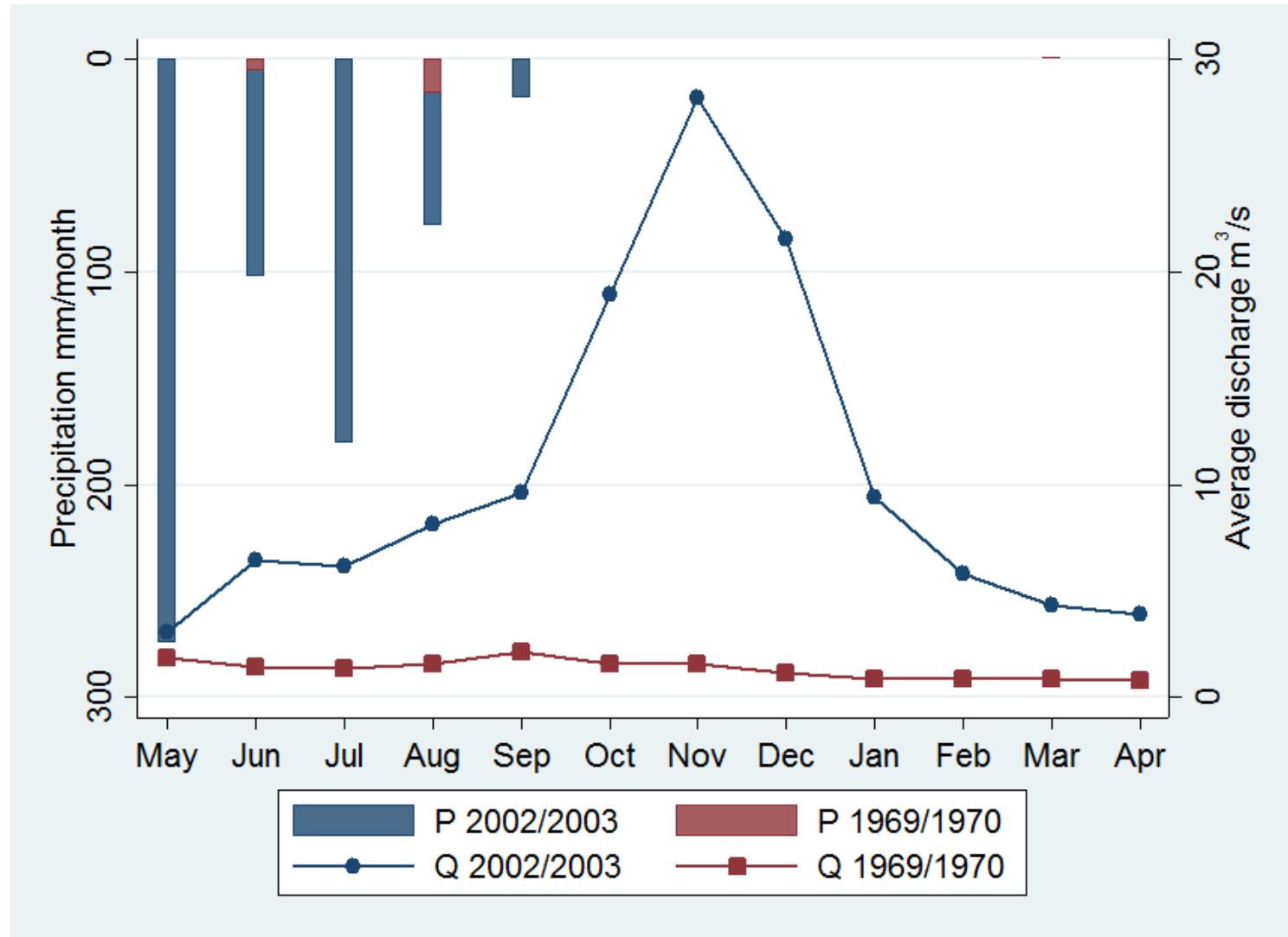


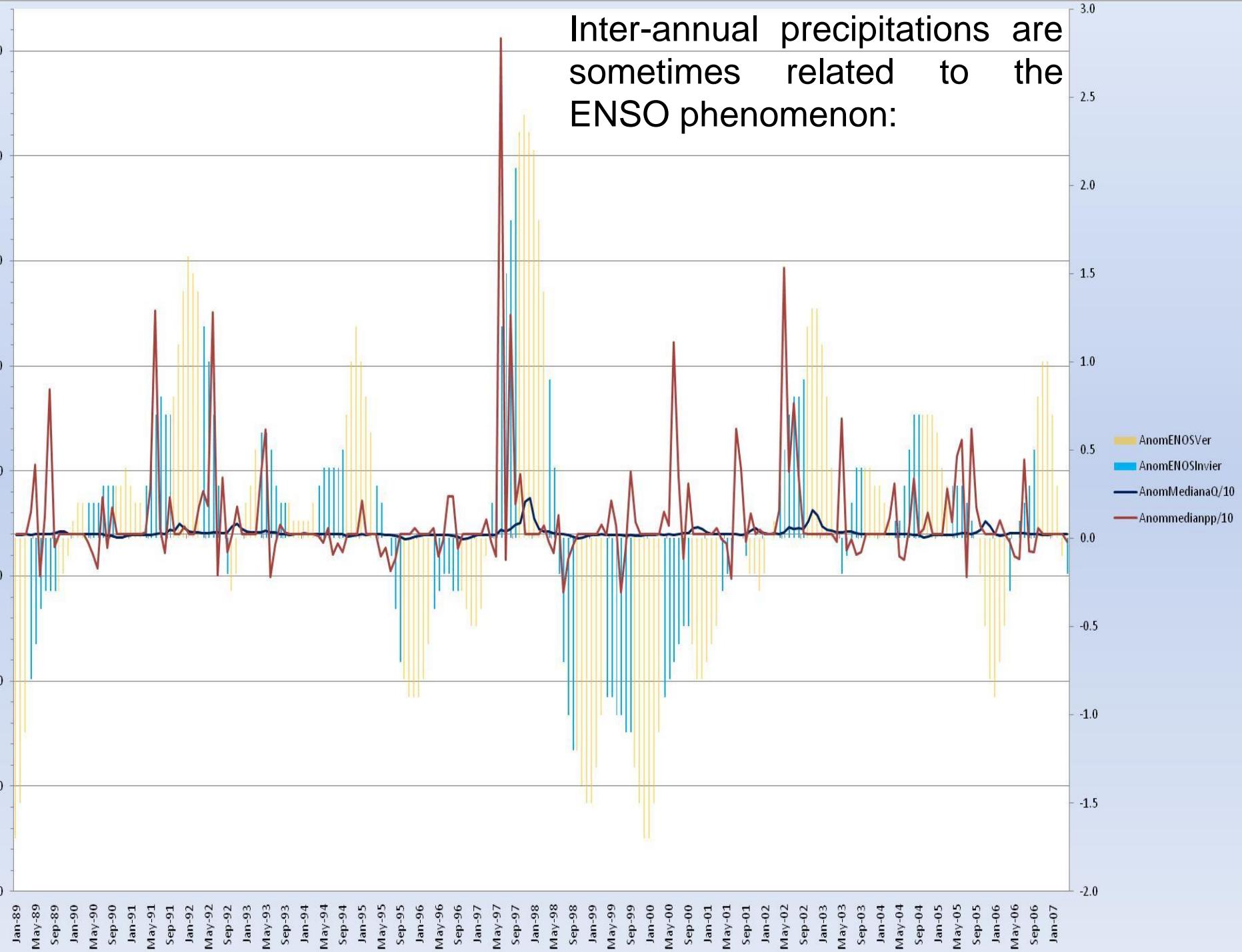
Figure: Average yearly precipitation in the Limarí River Basin at Las Ramadas climate station  
1979-2009, Data source: DGA 2010

# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca



**Fig: Two extreme years of Precipitation-discharge**

Inter-annual precipitations are sometimes related to the ENSO phenomenon:

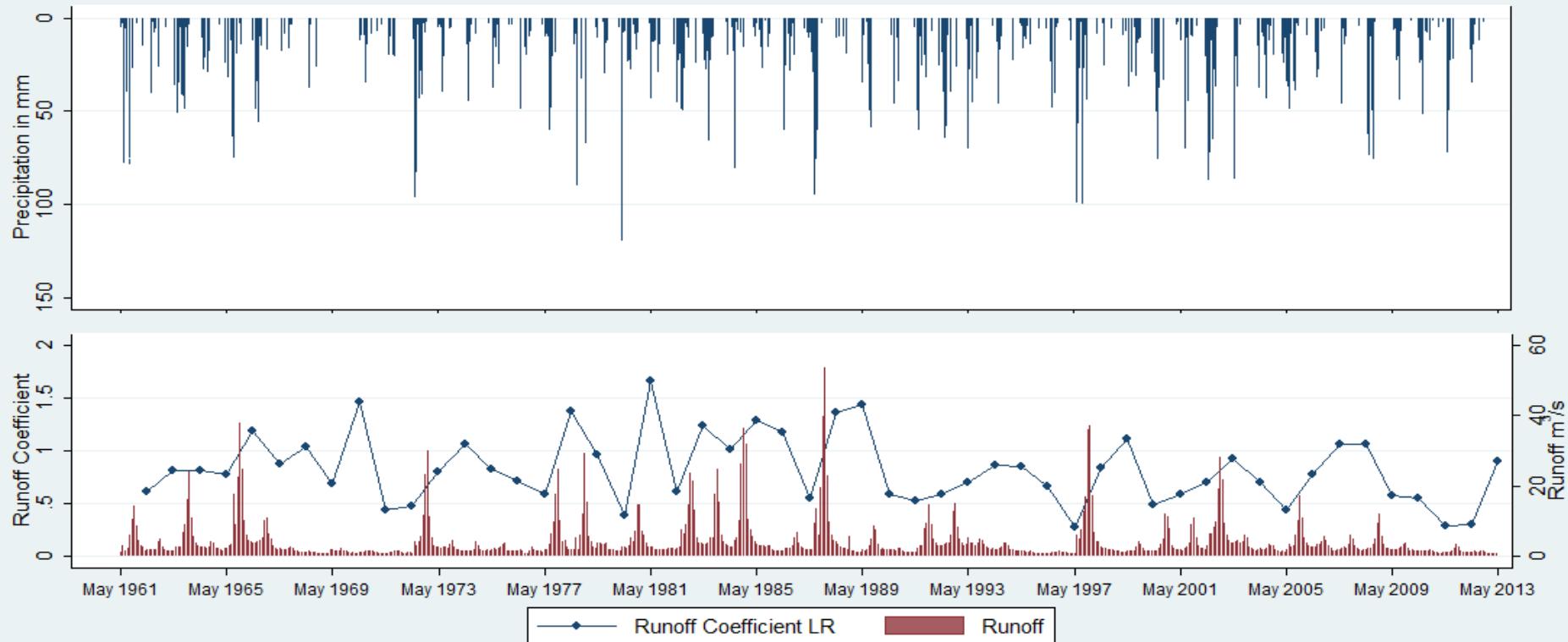


# Hydrological processes



11/01/2013 14:12

# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca

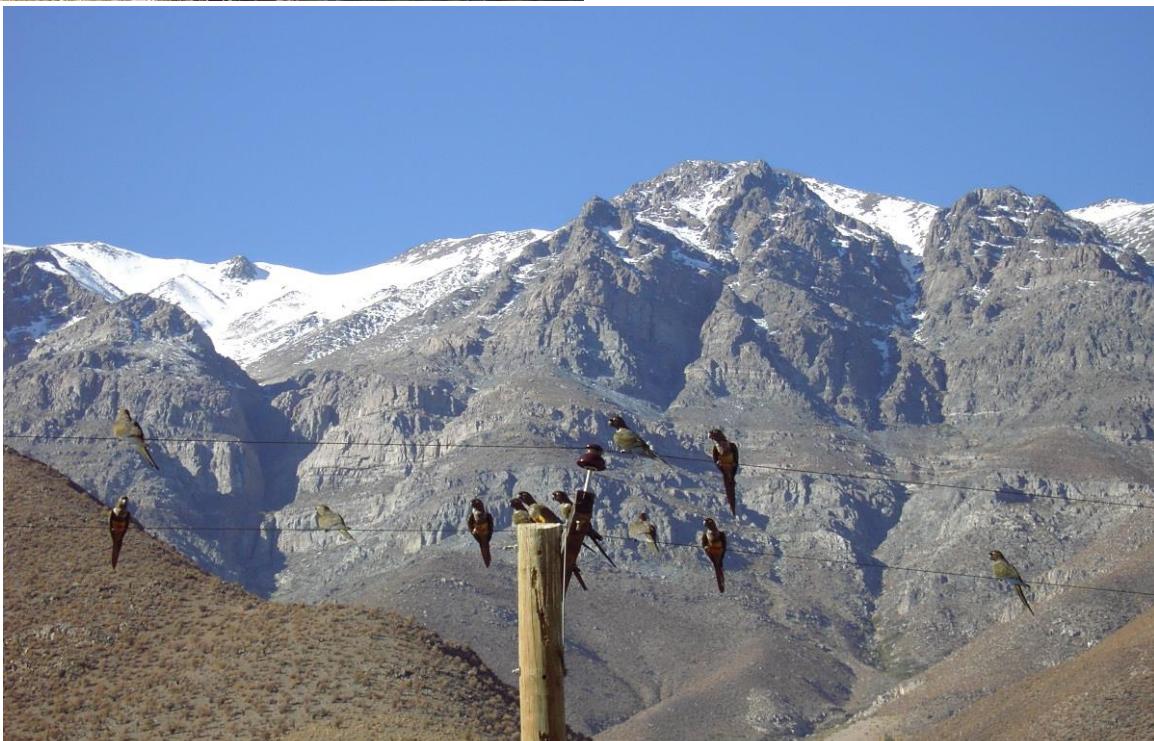


**Runoff coefficients** (The percentage of precipitation that appears as runoff,  $K=P(\text{mm})/Q(\text{mm})$ ) for each hydrological year since 1962, monthly runoff and daily precipitation at Las Ramadas Station

# Rainfall-Runoff relationships

- strong variation in the runoff coefficients: 0.12 (1970/1971), 0.18 (2011/2012) to 1.54 (1980/1981), 1.5 (1988/1989).
- High coefficients do not necessarily coincide with strong rainfall events => groundwater and snowmelt as contribution to the discharge.
- The strong rainfall events in July and August 1987 (total 734 mm in hydrological year 87/88) do not produce a higher runoff coefficient than 1, it is 0.97. In the following hydrological year, 1989 with a total precipitation of 79 mm, the runoff coefficient is 1.5 which shows that not precipitation or snowmelt are generating the runoff excess but groundwater stored from the previous years.





# Population and economy

Region	Coquimbo Region	Metropolitan Region
Population	718.717	6.883,000
GDP (per capita)	15.357 (USD)	24.783 (USD)
Poverty rate	15.3%	11.5%
HDI	0.9%	0.93%
Main economic sector	Agriculture, mining	Industry, Services

Source: INE 2010, CASEN 2011, BCC 2013

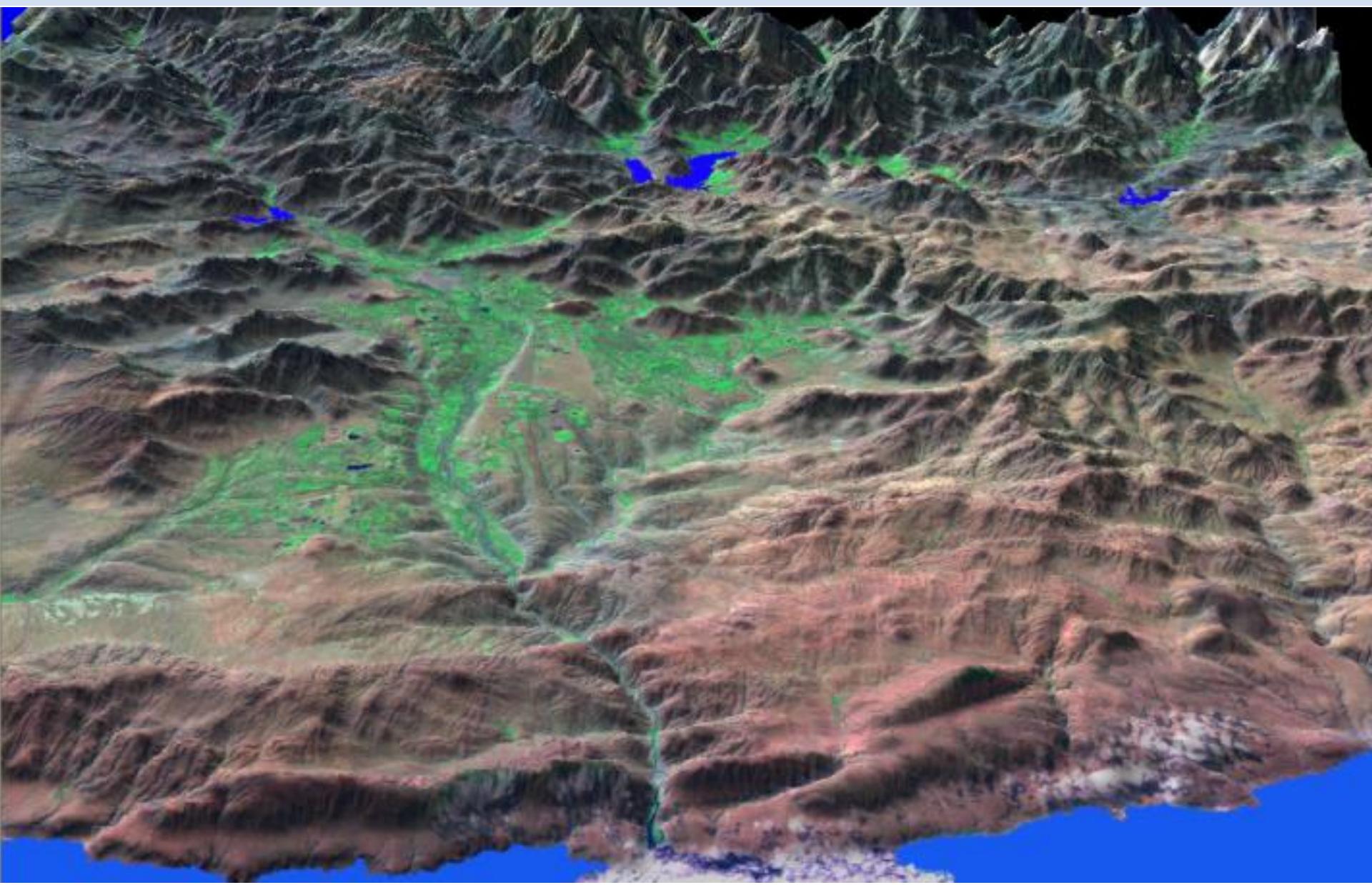
# Agricultural Land Use

- Agricultural production depends on snow melt and mountainous hydrology
- Irrigated area: ca. 35.000 ha
- Increasing ratio of permanent crops and trees

**(Census, 2007)**



# El papel de la criósfera montañosa en la disponibilidad de agua a nivel de cuenca



# Water uses and demand: agricultural land use and irrigation



Table 1: Evolution of land use in the Limari Province [area in ha]

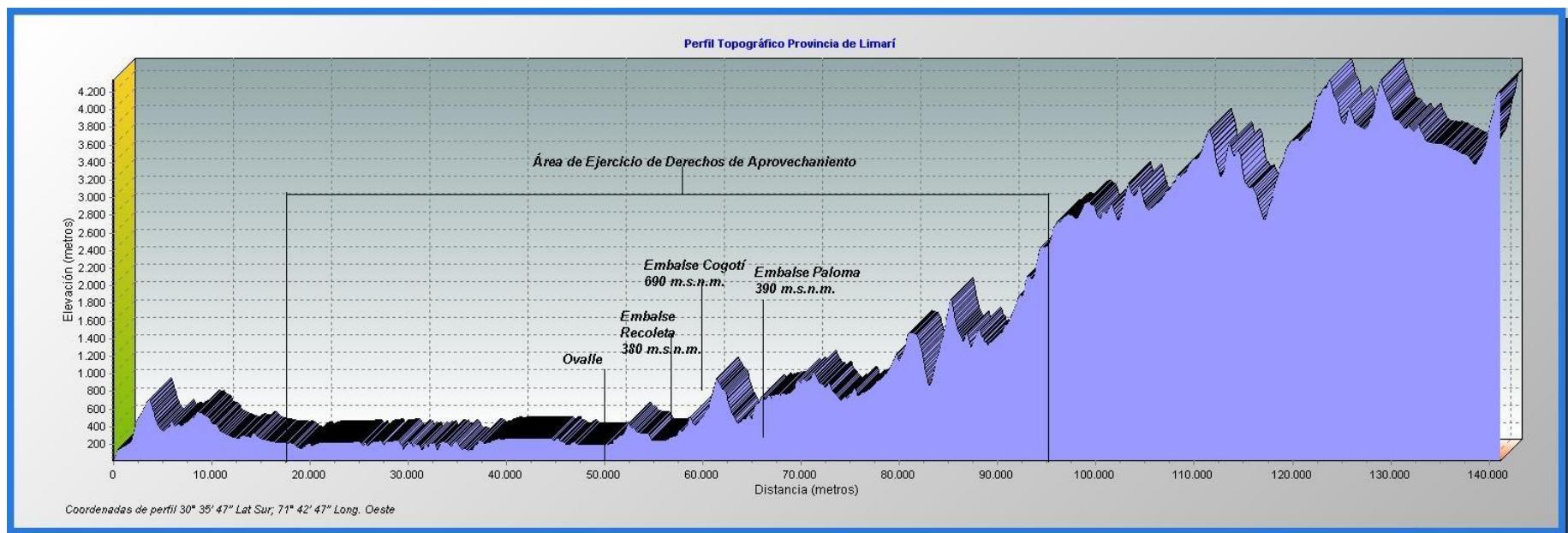
Land use	1962	1997	2000	2005
Annual crops, horticulture, meadows	39.068,3	20.210,6	27.116,5	25.802,9
Fruit trees (table grapes, avocado, lemons, sweet oranges)	3.279,1	9.661,1	13.668,5	15.722,1
Grapes for pisco and wine	1.413,5	6.343,7	7.215,0	7.475,0
Forest	987,1	1.380,1	2.000,0	6.000,0
Total	44.748,0	37.595,5	50.000	55.000 ha

Source: Pablo Álvarez et al., 2006



# Irrigation infrastructure

Socio-economic development is dependent to availability of irrigation water for export agriculture  
=> water management system: La Paloma System



# Irrigation infrastructure

- designed originally to increase irrigation security for up to three years and is in operation since 1972
- composed by three reservoirs, storing together 1,000MCM plus associated channel network, which sums up to about 700km
- three water reservoirs are: La Paloma (capacity of 750 MCM), Recoleta (100 MCM) and Cogotí (150 MCM)



# Current knowledge about impacts of climate change

Souvignet et al. (2011) carried out a trend analysis using the Mann-Kendall test for temperature, runoff and precipitation data (1973-2006) for the whole Coquimbo region taking into consideration 22 stations for temperature, 72 for precipitation, and 58 for discharge.

- ⇒ significant increase in both daytime **temperatures** of 0.46°C and nighttime 0.38°C per decade at the regional level over the last 34 years. This might contribute to a rise of the snow line and diminish water storage potential at higher elevations.
- ⇒ For precipitation, an increase was detected over the last decades with an intra-annual shift of the rainy season over the last 42 years (Souvignet et al, 2011).

# **WORKING GROUP I CONTRIBUTION TO THE IPCC FIFTH ASSESSMENT REPORT CLIMATE CHANGE 2013: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS**

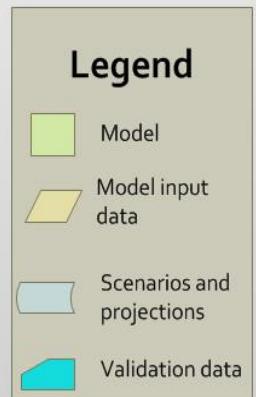
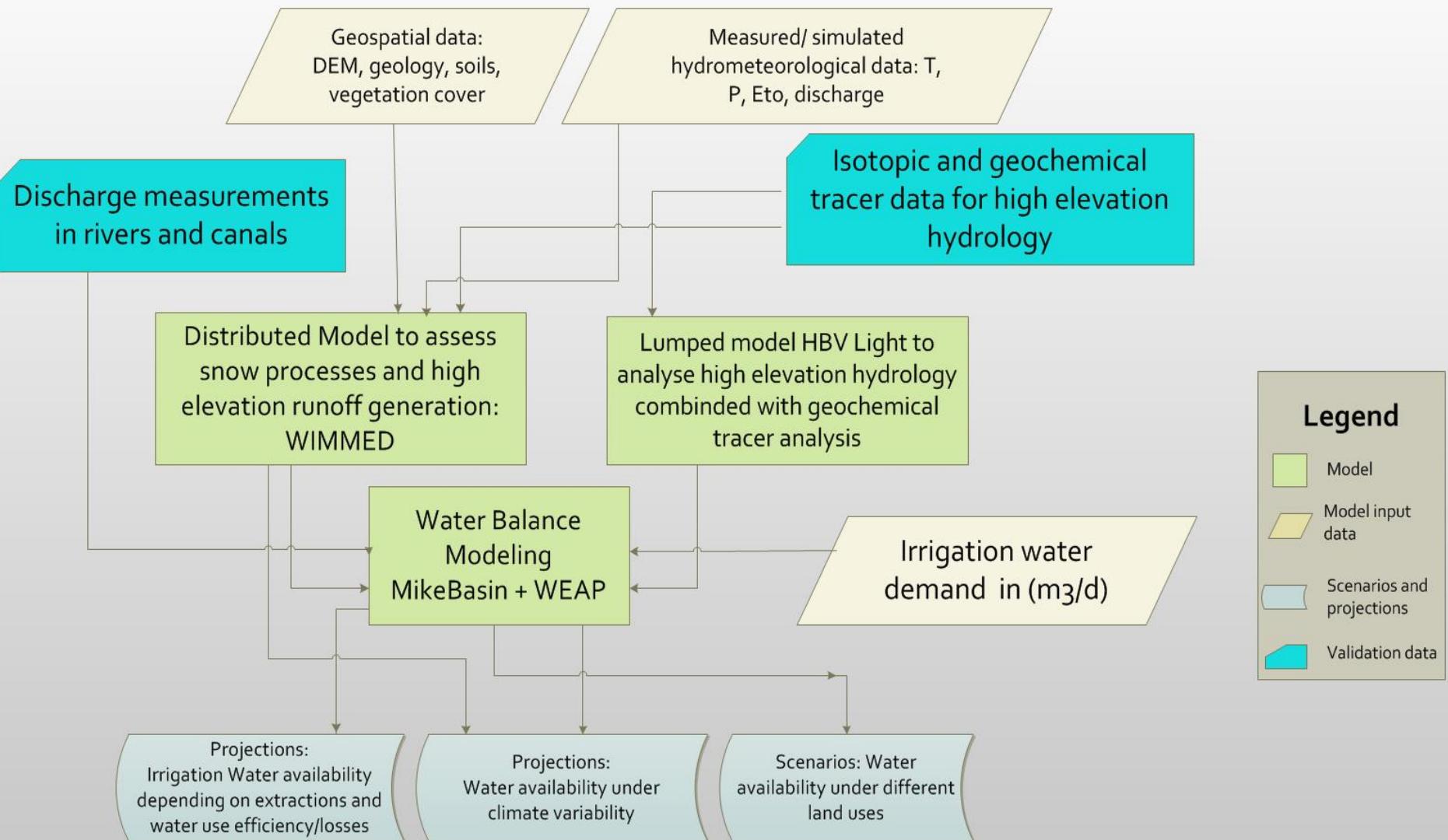
- Temperatures are very likely to increase over the whole continent, especially minimum temperatures
- Precipitation is projected to decrease in Central Chile

## Activities to cope with these challenges

# Drought related research network + Limarí case study

- Research on drought related climate and hydrology by a large group of people: PUC, ULS, CEAZA, UC, UNESCO IHP, CAZALAC, IRI....
- Limarí is an interesting case study in terms of water management and market
- Products for stakeholders (public institutions + private water users: data bank for available hydro-meteorological data (RBIS/GWB BASE), decision support to increase water use efficiency through hydrological modelling, monitoring and provision of high precision climate and runoff data, basin inventory, application of indices: ESPI, SPI, SWSI, develop new indices, statistical low flow analyses

[www.hidro-limari.info](http://www.hidro-limari.info), BMBF funded





# WEIN

Information and monitoring system to improve  
water use efficiency in Northern Central Chile

Consortium:



Development of a monitoring and  
information system to improve water  
use efficiency in the Limarí Basin -  
WEIN



Duration: 01.08.2012-31.7.2014

Funded by:

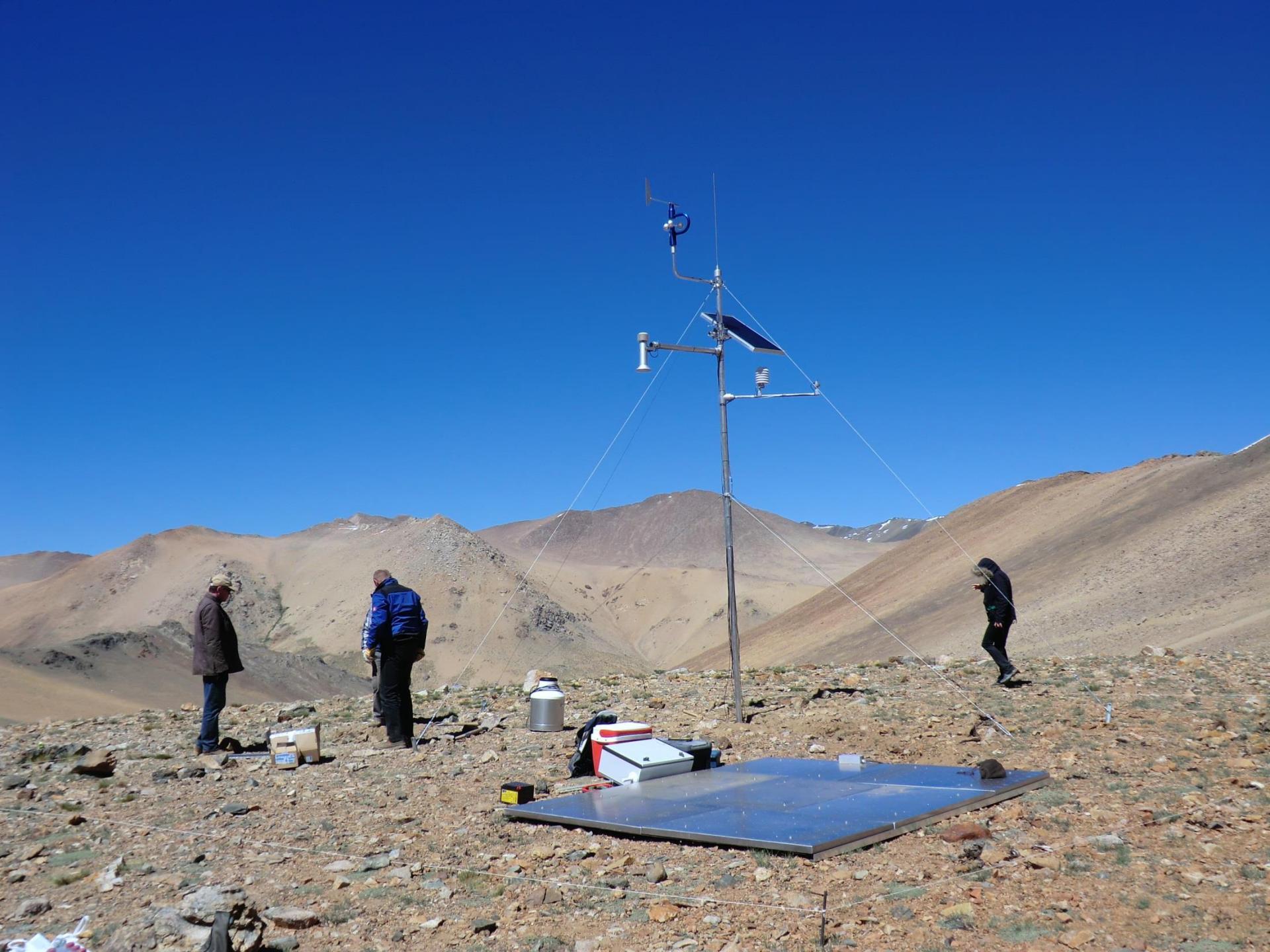


Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# The WEIN Project concept:







## ***Objective:***

Project runoff from Cordillera under different climatic conditions

## **Detailed objectives:**

- Assess the runoff response to climate in the mountainous Rio Grande and Tascadero subcatchments
- Improve the understanding regarding the role of ground water-surface water interaction for hydrology
- Assess the groundwater residence time, aquifer characteristics and age
- Validation of hydrological models (HBV light, WIMMED, J2000)

## Sampling stable isotopic and geochemical values

Detailed work steps:

- Sampling  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  in Rio Grande and Tascadero streams + Precipitation, Snow to assess the residence time and origin of stream water
- geochemical analysis: cations:  $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and anions:  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  to assess the characteristics of the source and aquifers of origin

## ***Component 1:***

Project runoff from Cordillera upstream

### **Detailed objectives (1):**

- Assess the snow dynamics and runoff response in the mountainous Rio Grande and Tascadero subcatchments as a proxy for the entire region for extremely dry and wet years + average year, projected temperature increase:
- Improve the understanding regarding the role of ground water-surface water interaction for hydrology (high runoff response after snow melt period)
- Assess the duration of water movement from upstream to downstream

## Component 2:

Validation of hydrological modeling results (WIMMED and HBV light) with isotopic and geochemical values

Detailed work steps:

- Sampling for oxygen and deuterium isotopic tracers in Rio Grande and Tascadero + Precipitation, Snow
- geochemical analysis: cations:  $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and anions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$



11/01/2013 16:52



11/01/2013 15:46

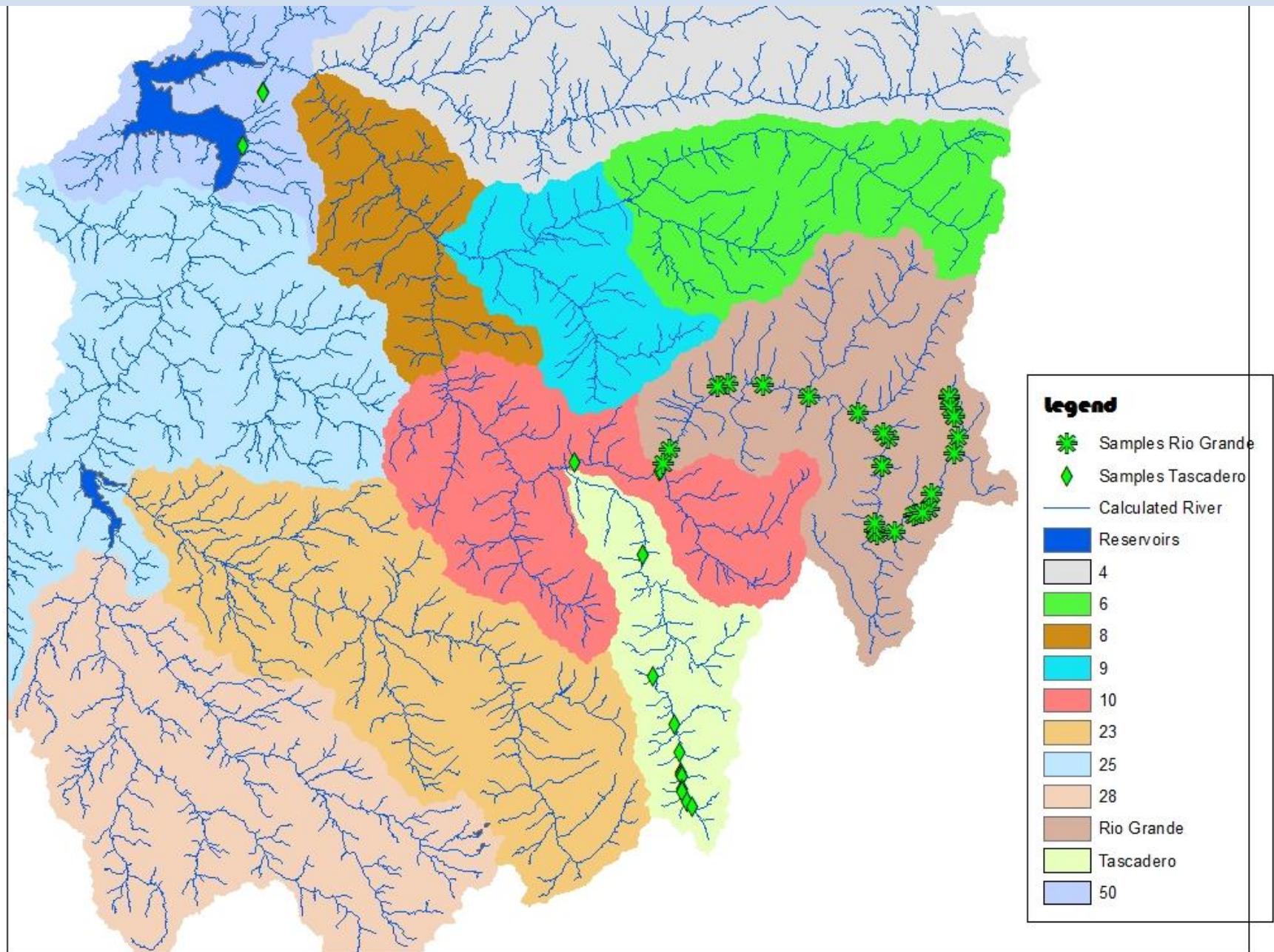


Fig: Subcatchments Rio Grande and Tascadero, sampling sites



## **Component 3: Provide transparency and efficiency for water allocation**

- Establish the water balance for different years, quantify water extractions: Mike Basin, WEAP
- Analyse census 2012, improve the understanding of land cover/use and hydrology interactions
- Simulate future projections and derive recommendations for water management and allocation

## **Component 4: Develop a site specific drought index based on SWSI**

(Shafer and Dezman, 1982, David, C Garen, 1993):

- Snow accumulation/snow water equivalent
- Precipitation
- Reservoir levels
- Discharge

$$\text{SWSI} = \frac{A^*P_{\text{nieve}} + b^*P_{\text{precipitación}} + c^* P_{\text{caudal}} + d^*P_{\text{embalse}} - 50}{12}$$



# Instituto para el Manejo de Recursos y Tecnología (ITT)

## Facts and Figures:

- ITT: instituto independiente de la Universidad Técnica de Ciencias Aplicadas de Colonia
- 70 colaborantes (6 profesores titulares , 30 científicos, 35 administrativos)
- Cada año empiezan 100 estudiantes de MSc, 35 PhD

