

# Instituto de Capacitación sobre Manejo Adaptativo de Agua y Energía en Zonas Áridas de las Américas

## Water Energy nexus WEAP-LEAP

Sebastian Vicuña (CCG-UC)

Credits to:

Larry Dale (LBNL)

Nicolas Borchers (PUC)



# Temario

- Contexto: nexos agua – energía
- WEAP-LEAP
- Ejemplos en Chile y California

# NEXO AGUA ENERGIA

## *Energía para Agua*

Extraction y  
transmision

Tratamiento de agua  
potable o industrial

Energía asociado al  
uso del agua

Tratamiento aguas  
servidas

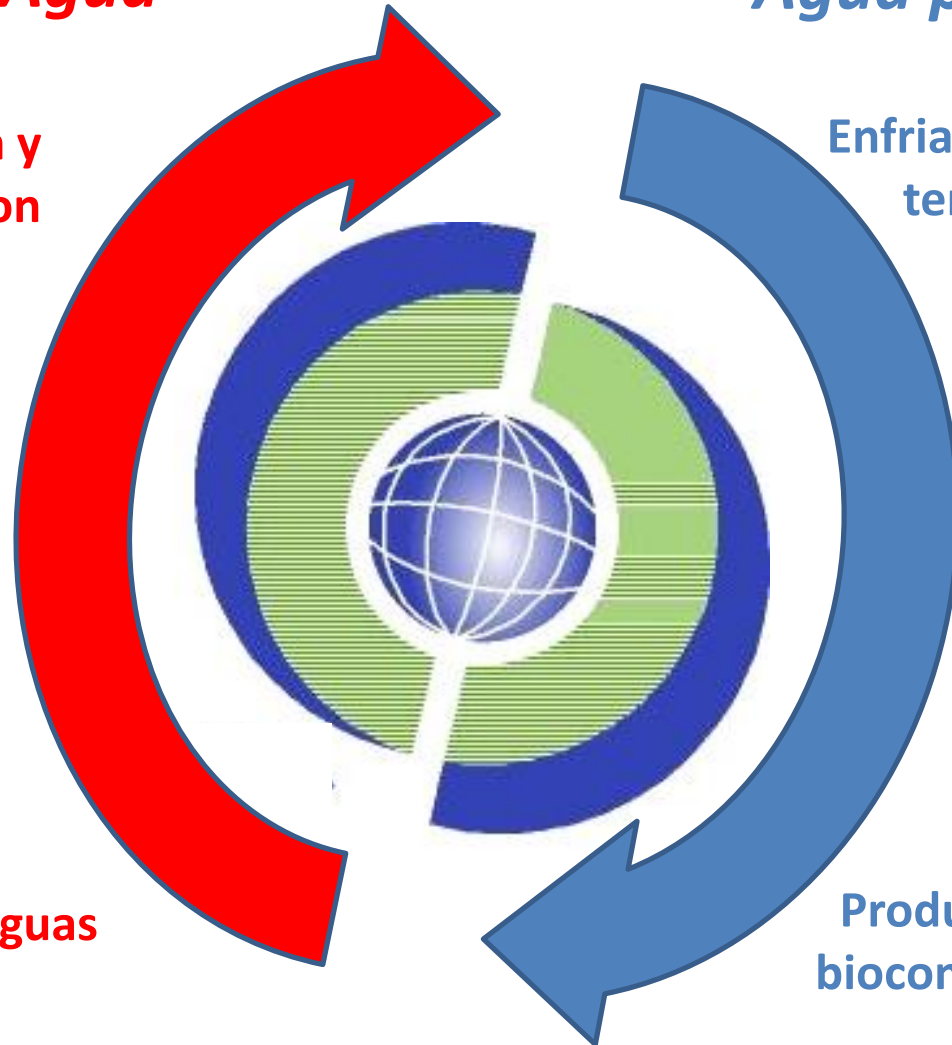
## *Agua para Energía*

Enfriamiento centrales  
termoeléctricas

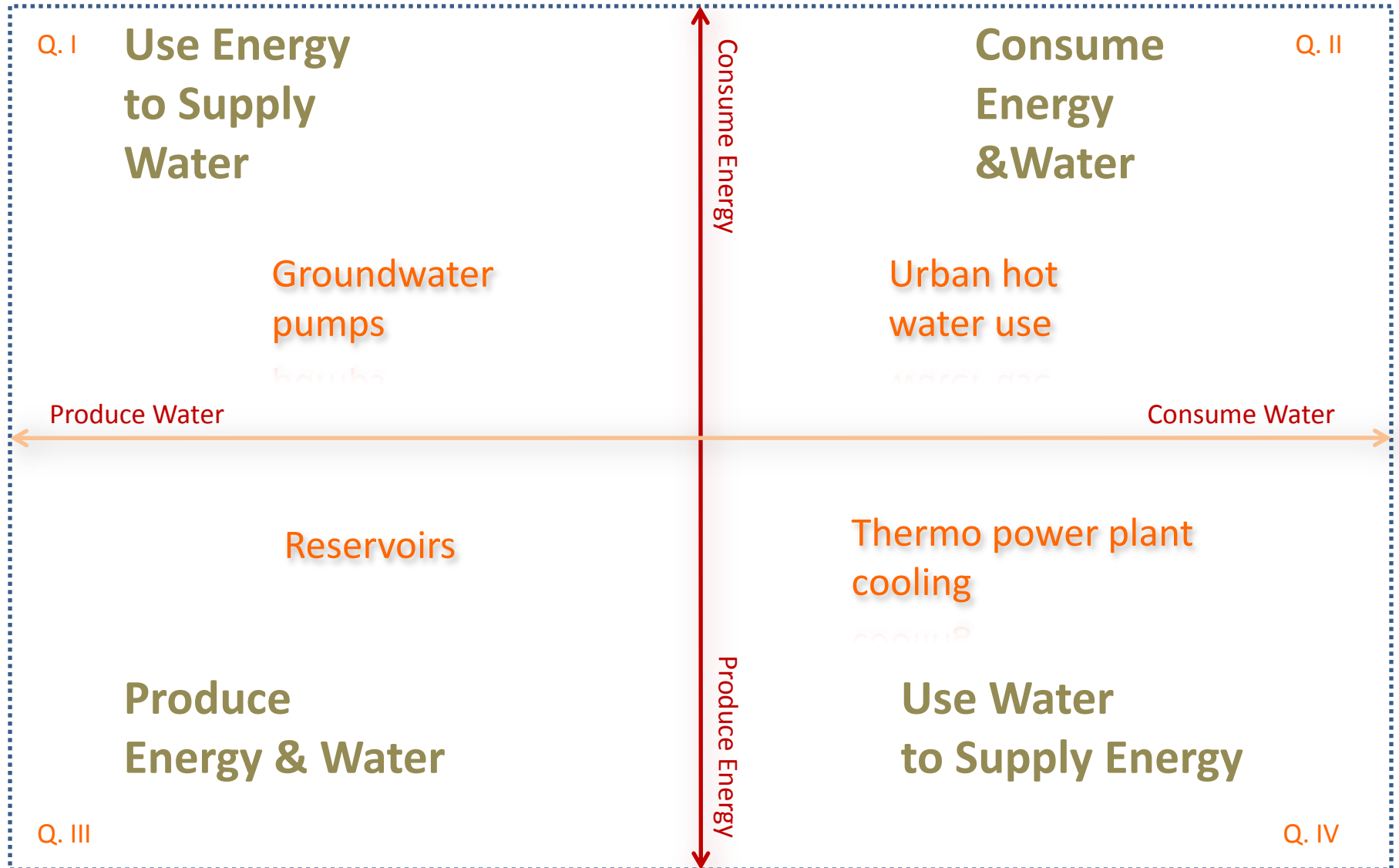
Hidroeléctricidad

Extracción y  
refinamiento

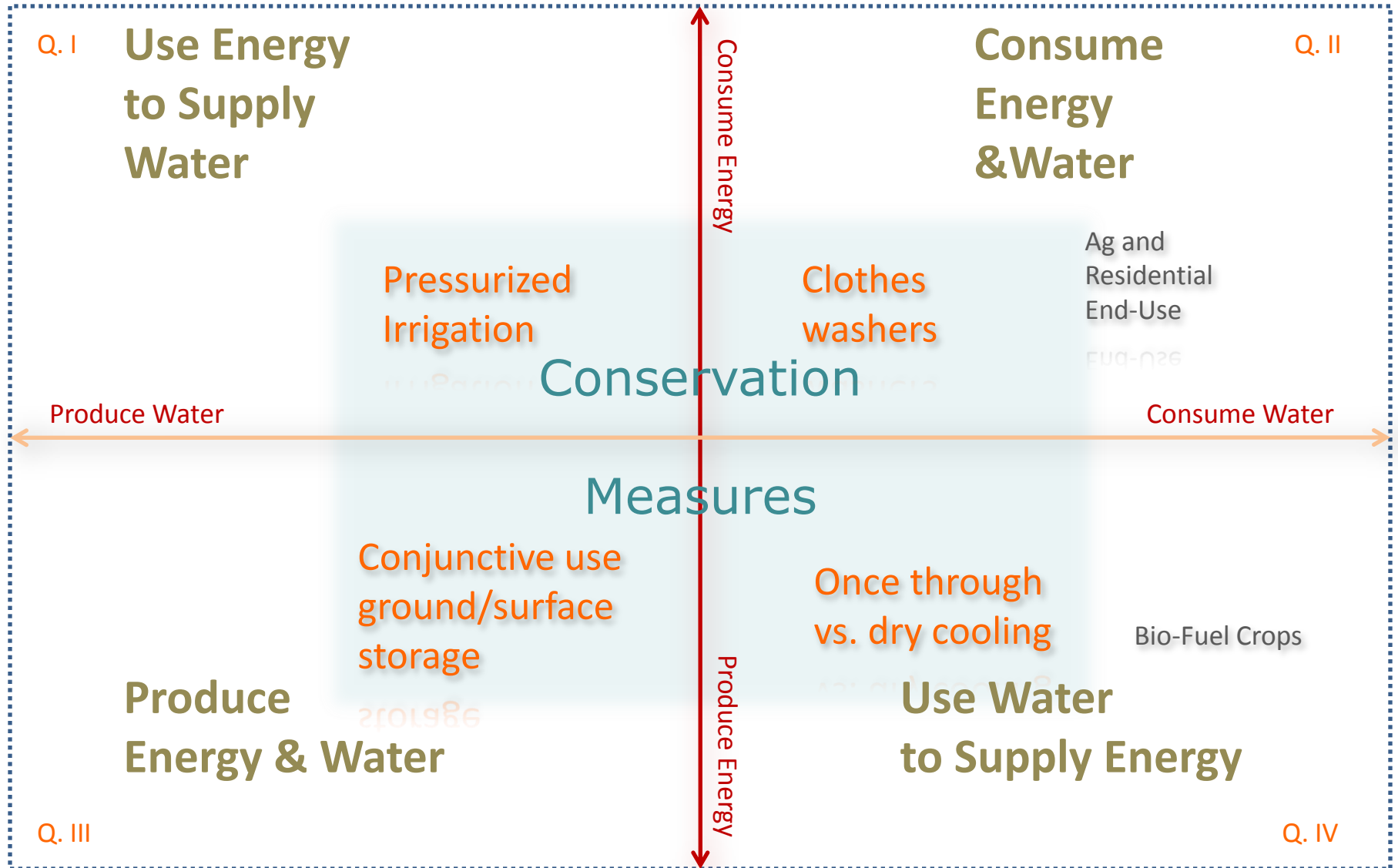
Producción de  
biocombustibles



# Water-Energy Interactions



# Water-Energy Conservation



# Energy-Water Linkages

## Sector Activities

### Power Generation

- Thermal Cooling
- Hydropower

### Water Utilities

- Pumping
- Transfers long distance
- Treatment
- Wastewater Treatment

### Residential

- Cooling (AC)
- Water Heating

### Commercial & Government

- Water Cooling Towers
- Heating

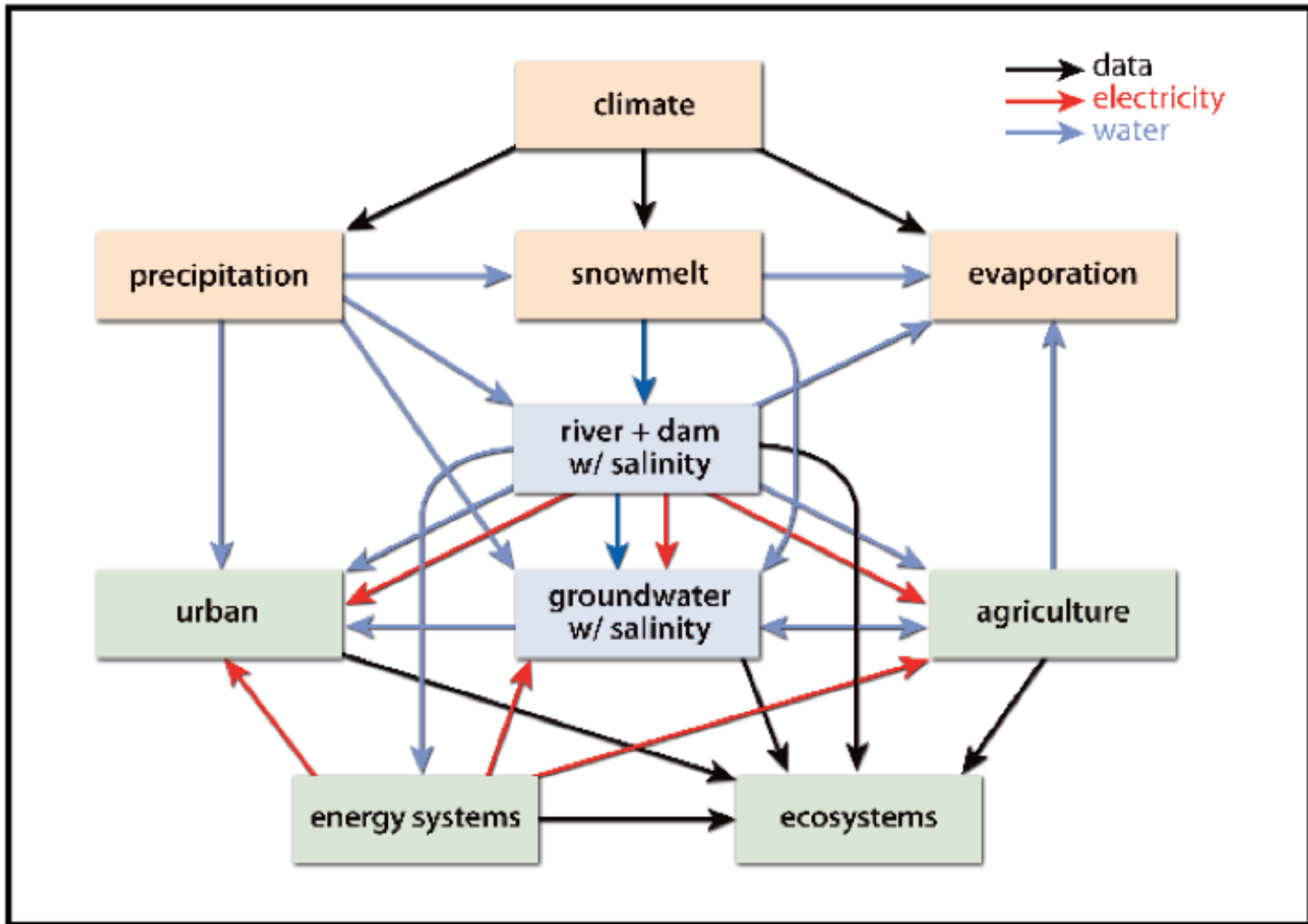
### Agriculture

- Irrigation
- Drip and flood
- Pumping groundwater

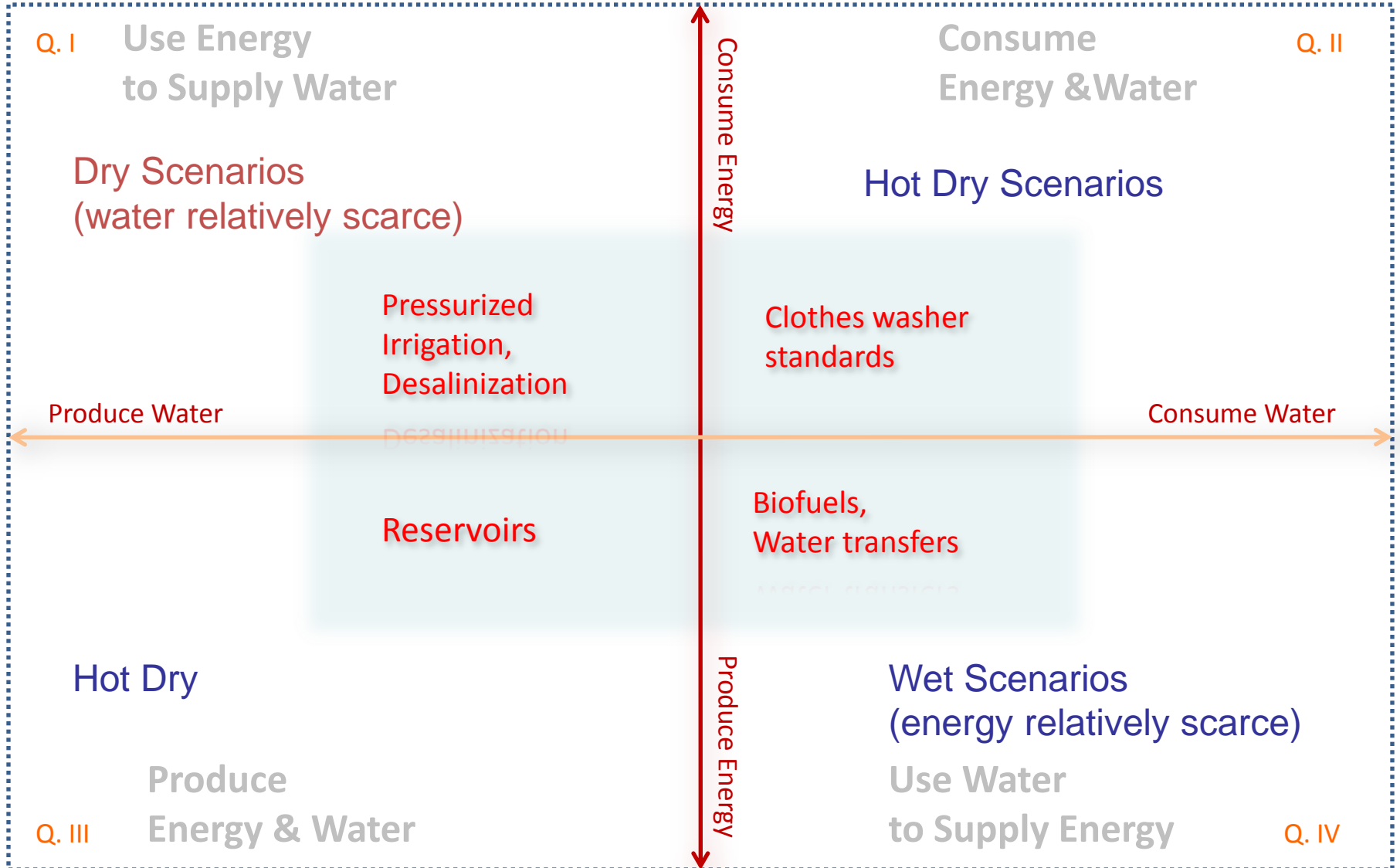
### Industrial

- Cooling
- Heating

# Integrated Model to Evaluate Water Energy Impact of Climate Scenarios



# Climate Adaptation



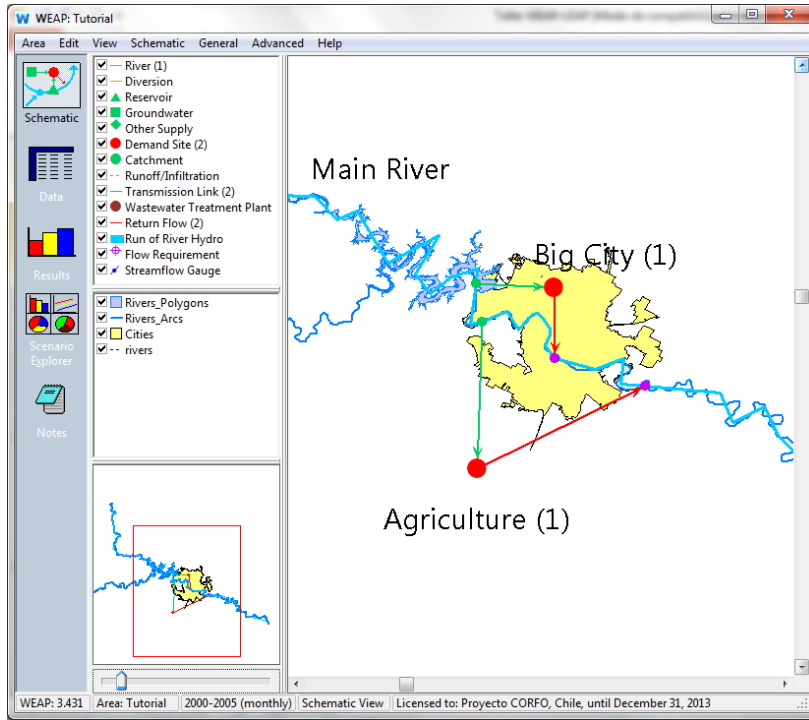


# WATER ENERGY NEXUS

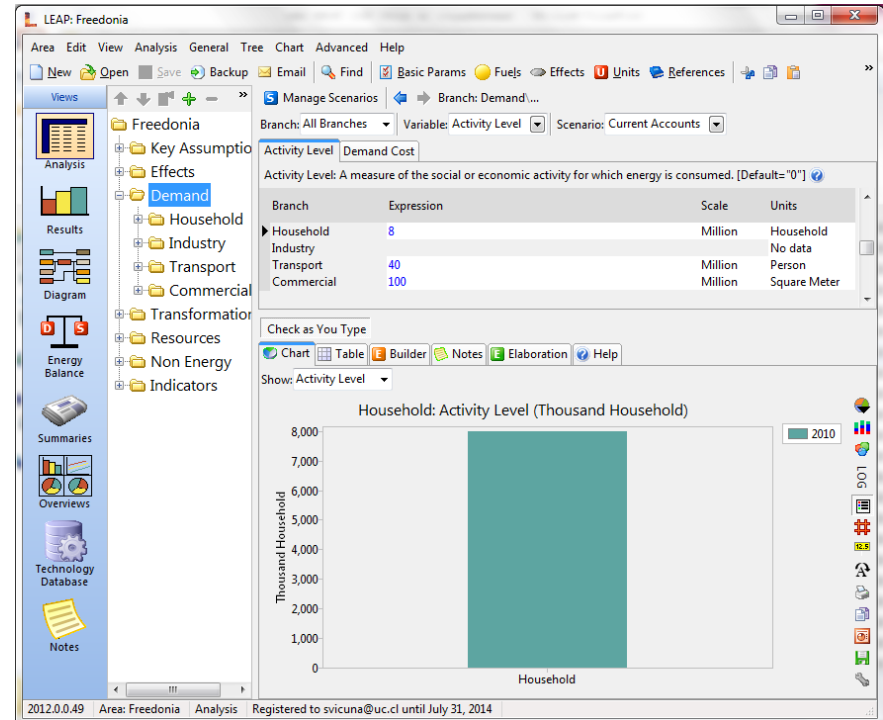


# Temario

- Contexto: nexos agua – energía
- **WEAP-LEAP**
- Ejemplos en Chile y California



[www.weap21.org](http://www.weap21.org)



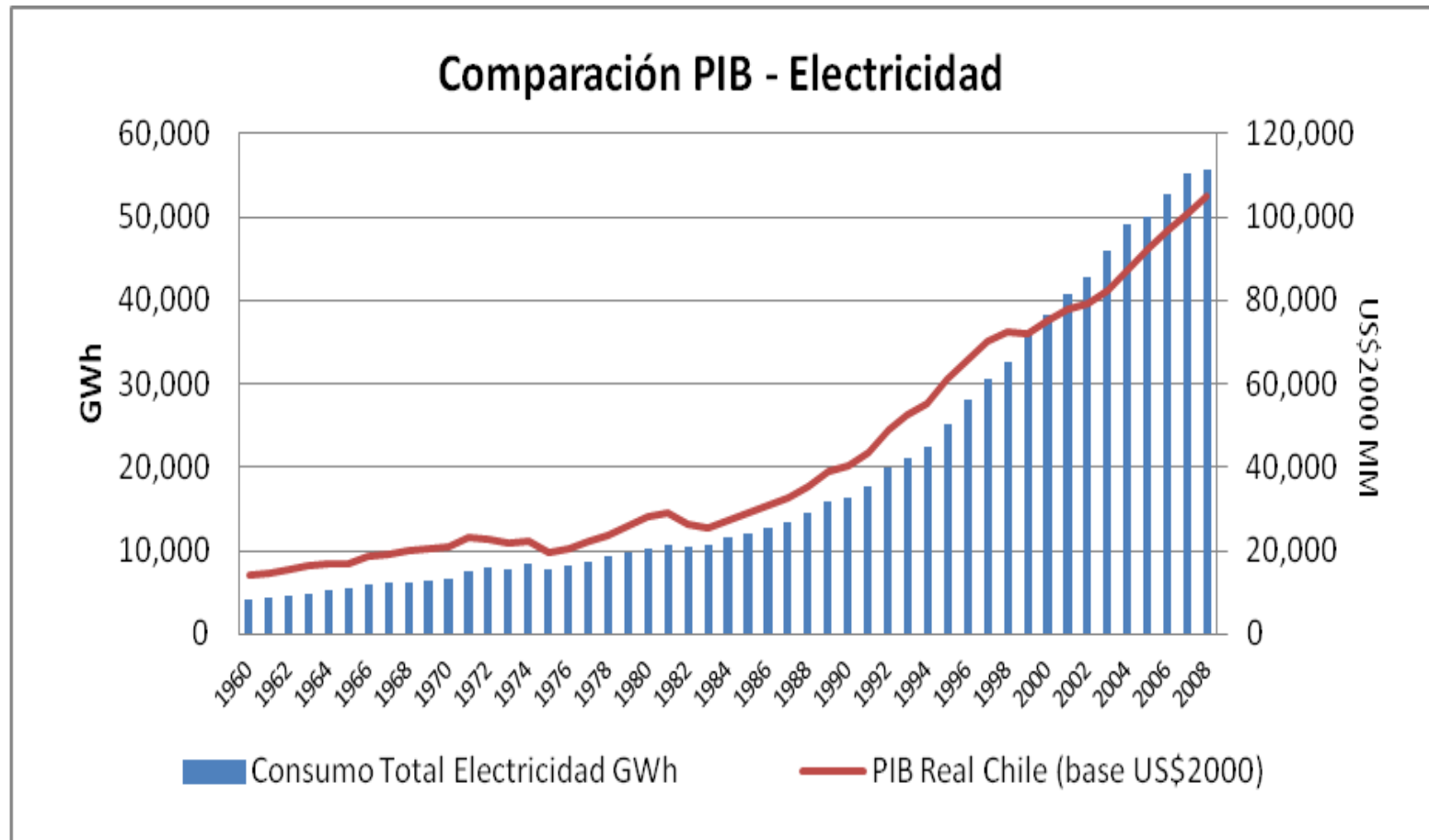
[www.energycommunity.org](http://www.energycommunity.org)

# Temario

- Contexto: nexo agua – energía
- WEAP-LEAP
- Ejemplos en Chile y California

# CAMBIO GLOBAL EN CHILE

*Un país que crece – más recursos*



CADE, 2011

# CAMBIO GLOBAL EN CHILE

## *Un país que crece – más recursos*

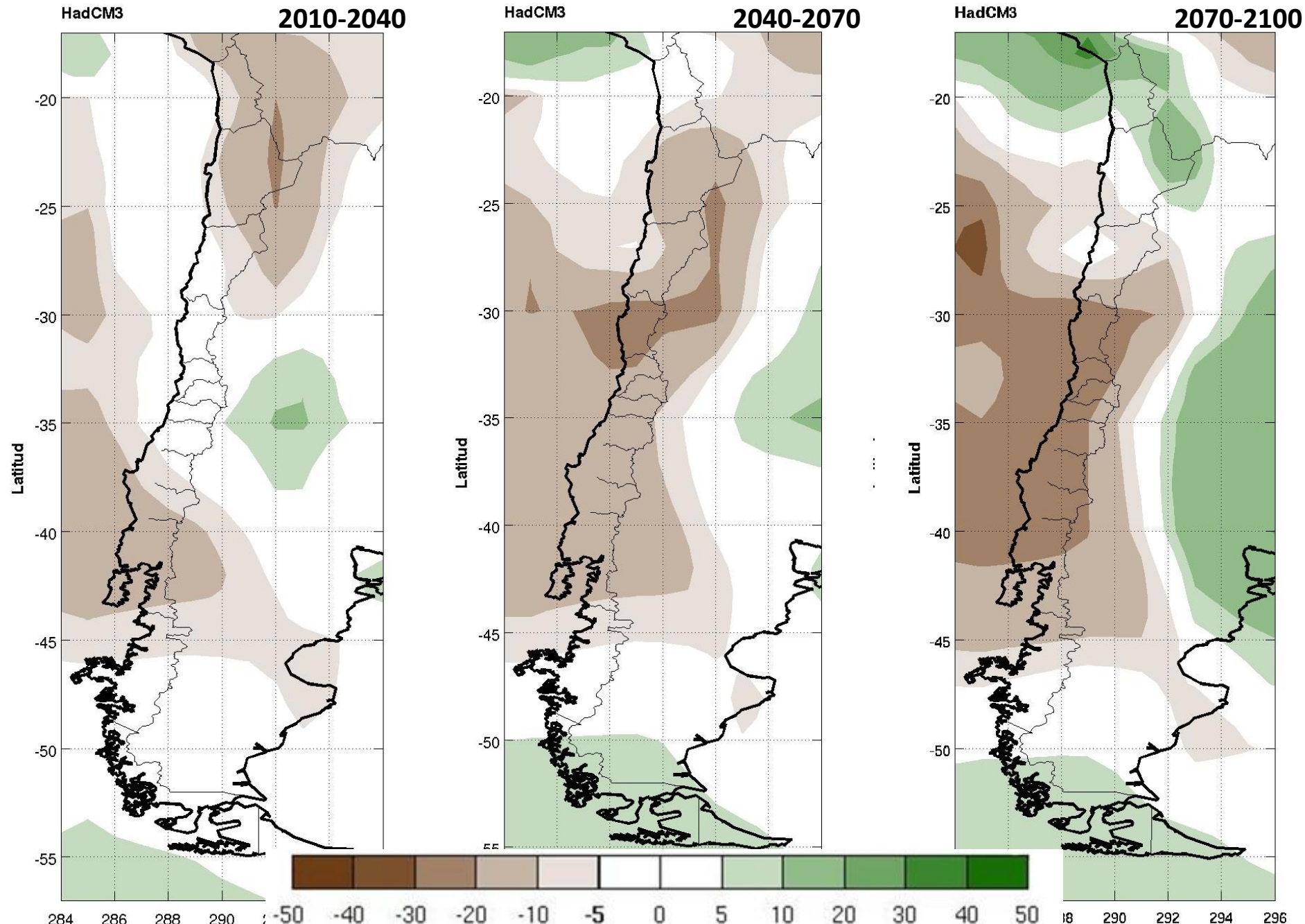
Crecimiento del uso del agua por sectores (m<sup>3</sup>/s/año)

Uso	1990	1999	2002	2006
Riego	516	611	647	527*
Agua potable	27	34	37	40
Industrial	47	68	77	84
Minería	43	51	53	63
Energía	1.189	2.914	3.929	3.997
<b>Total</b>	<b>1.823</b>	<b>3.678</b>	<b>4.743</b>	<b>4.711</b>

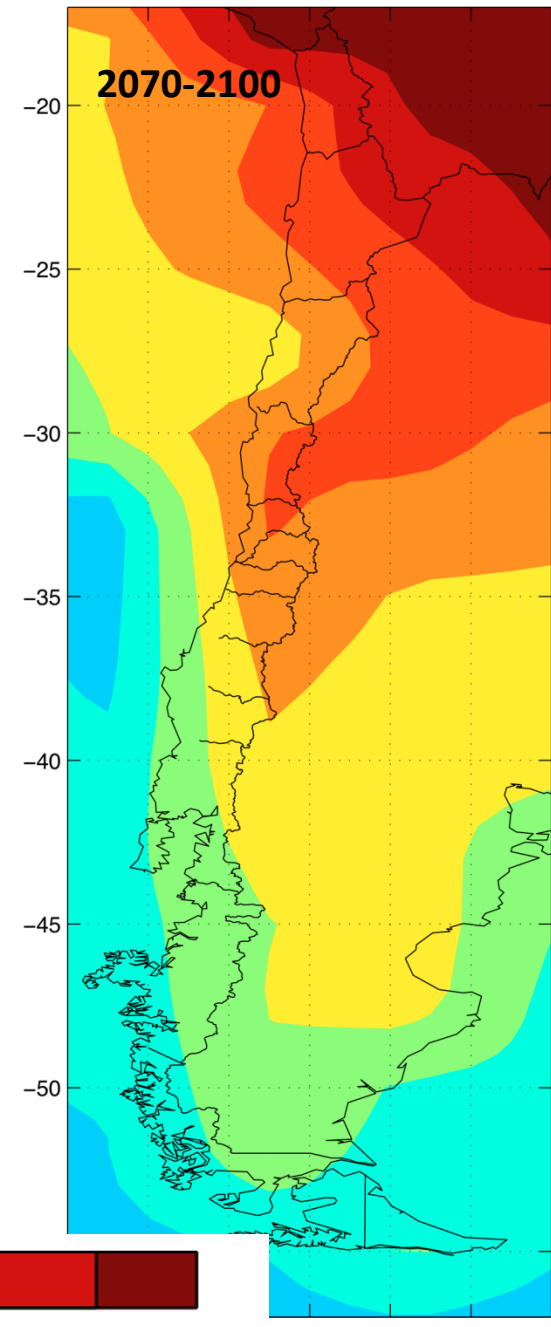
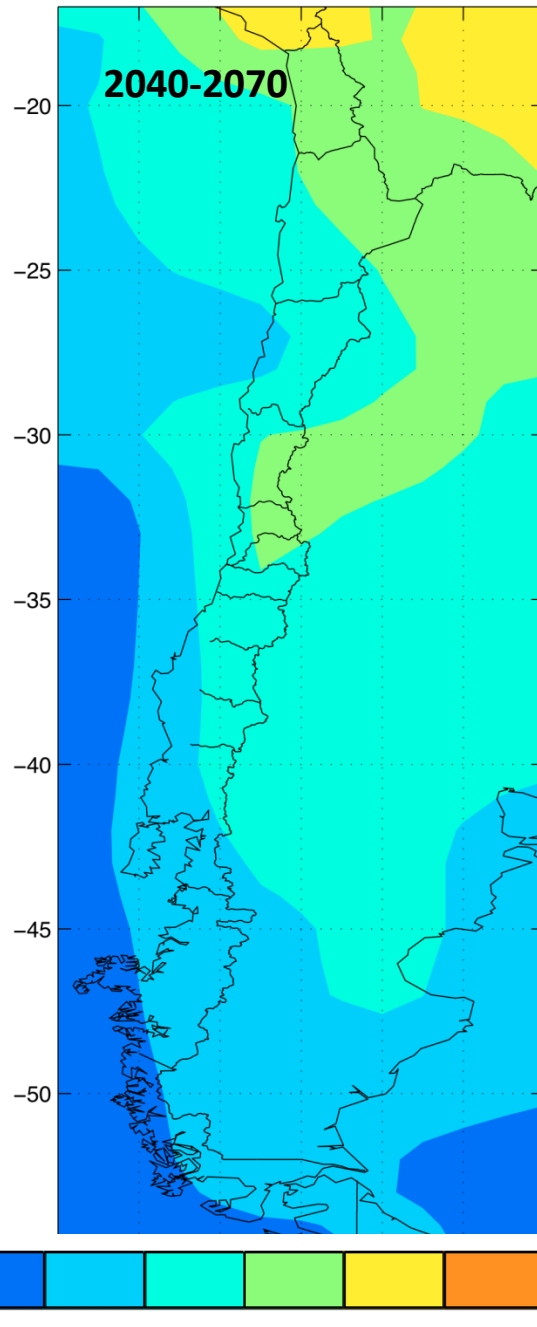
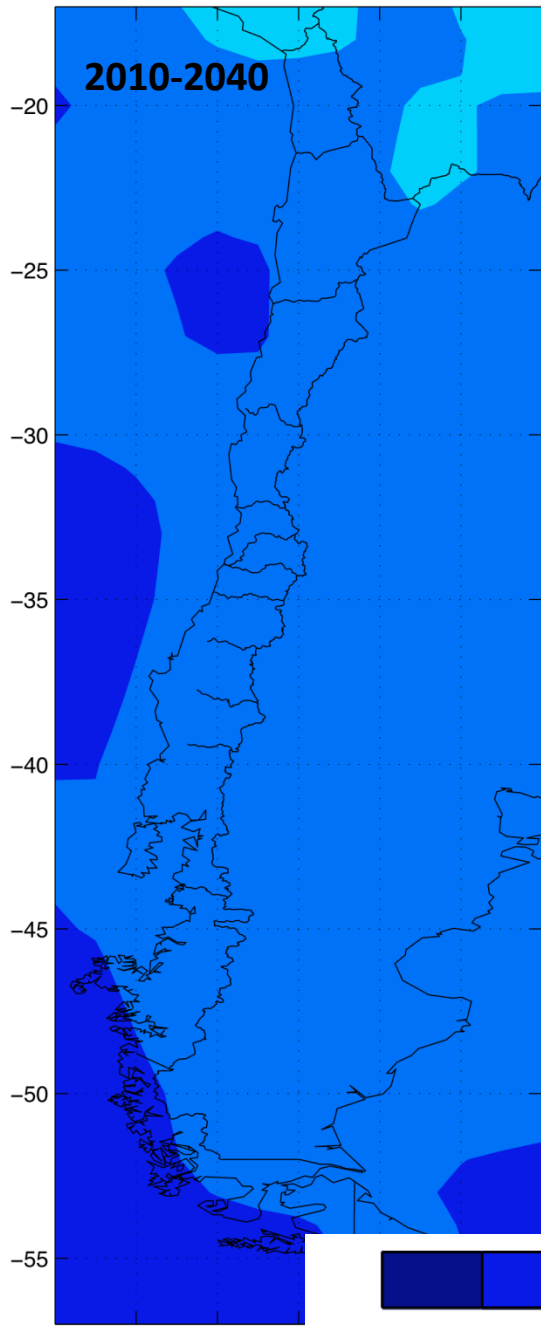
\*: El año 2006 fue particularmente lluvioso lo que podría explicar en parte la disminución importante de las extracciones de agua con fines agrícolas entre 2002 y 2006.

Fuente: Banco Mundial, 2011

# Proyecciones precipitación



# Proyecciones temperatura



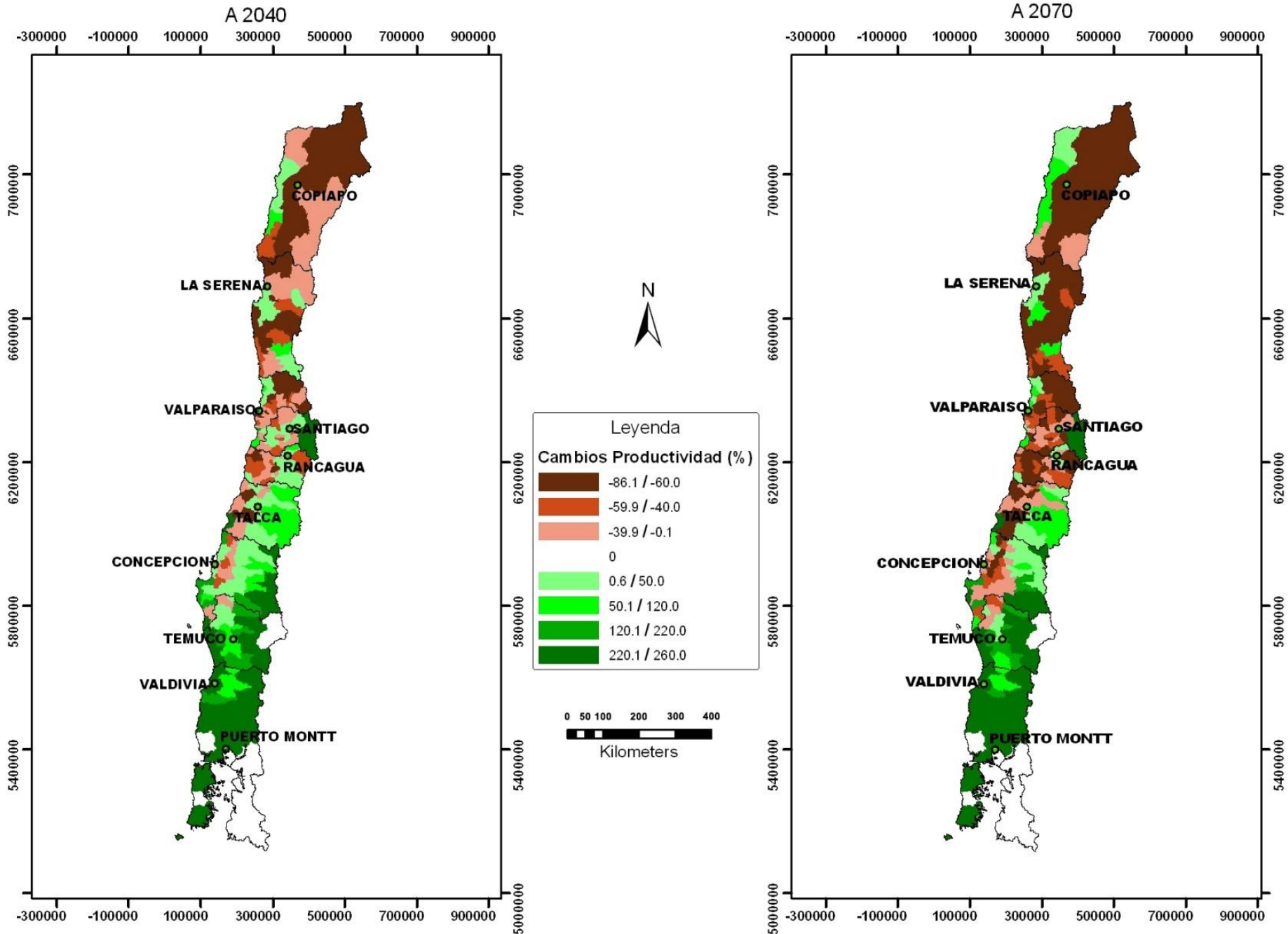
284 286 288 29

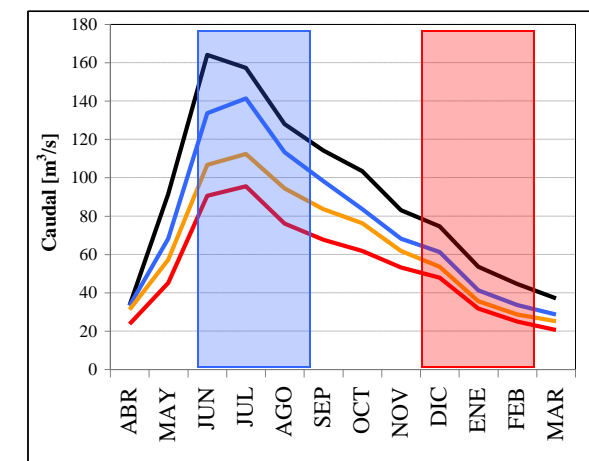
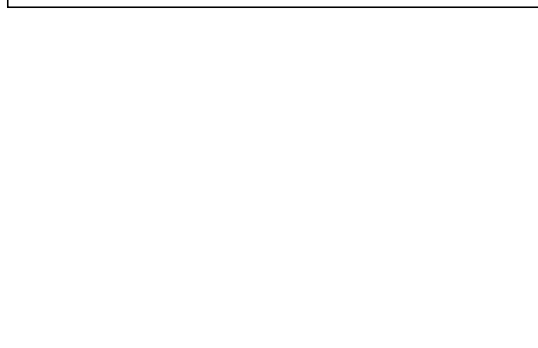
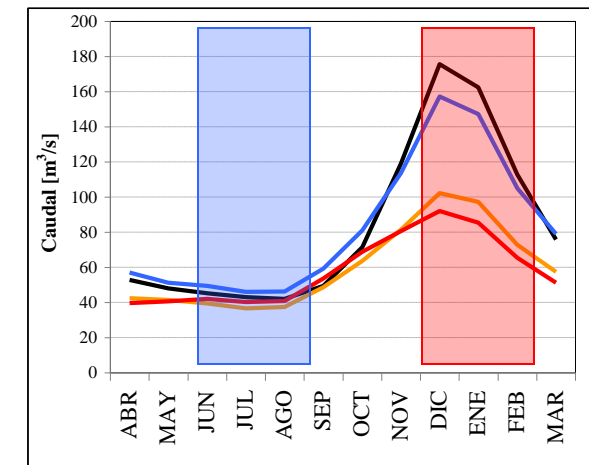
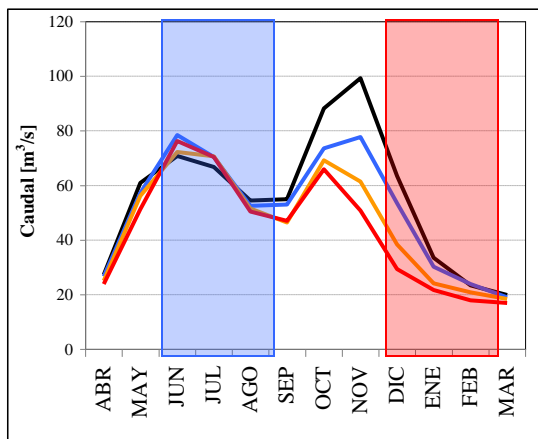
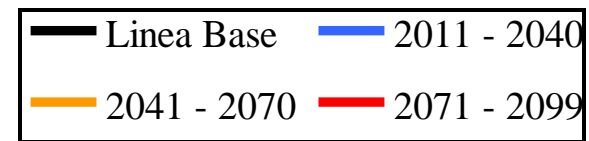
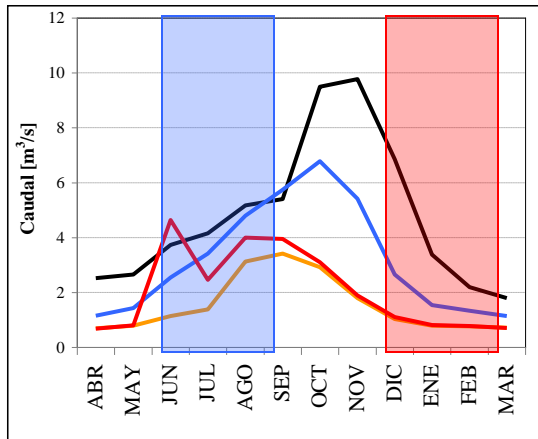
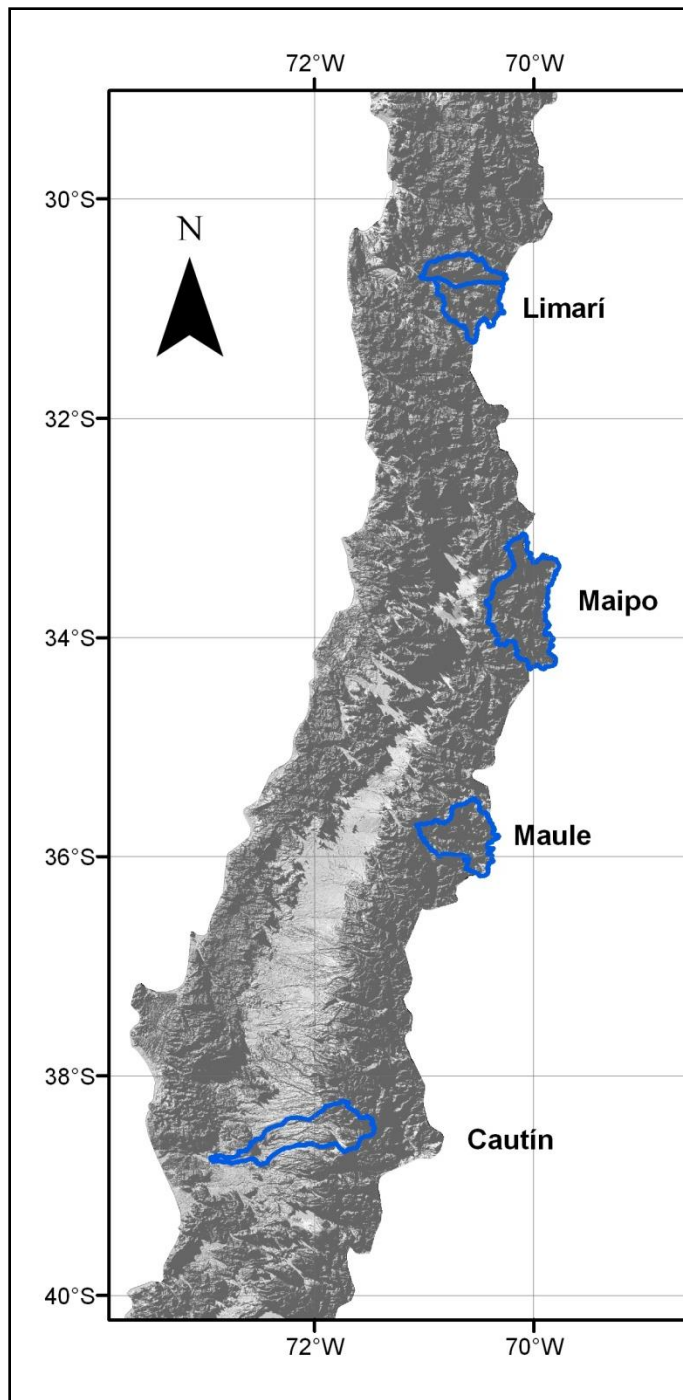
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5

290 292 294 296



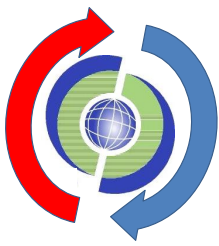
# Cambios en productividad vid





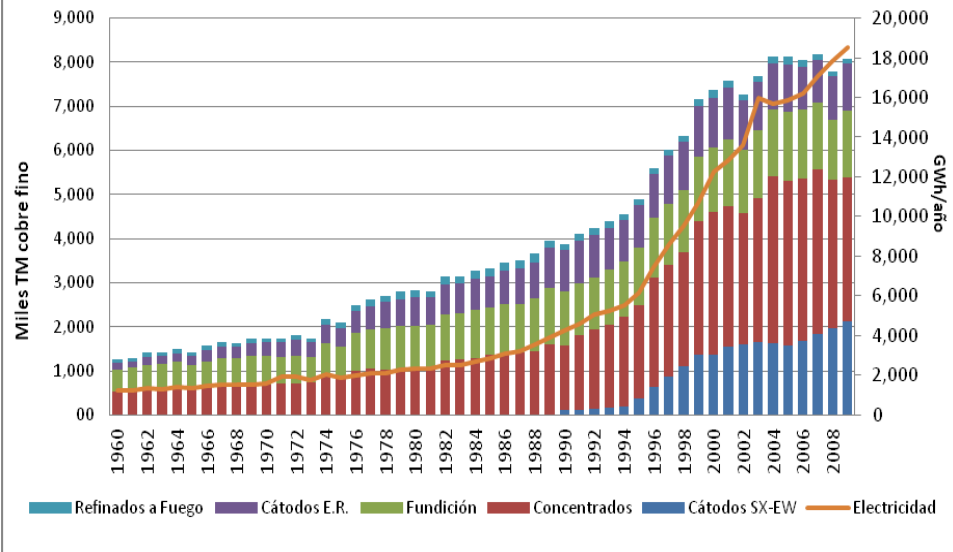
# El nexo agua y energía desde cuatro perspectivas



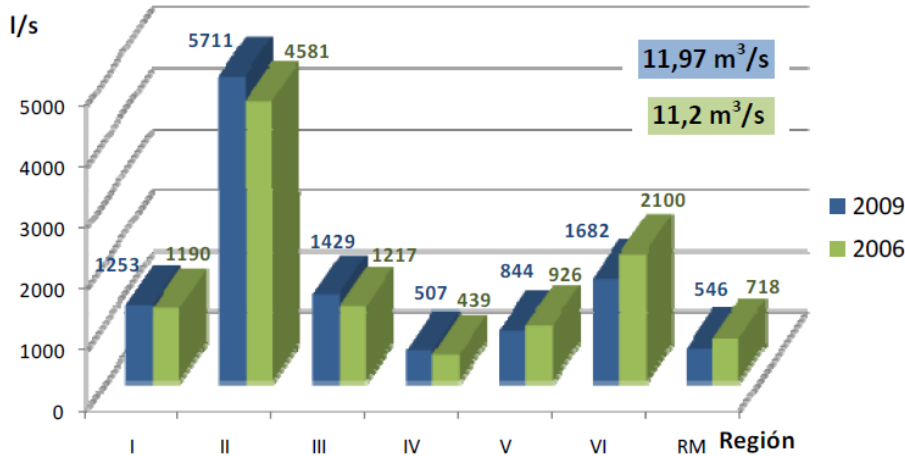
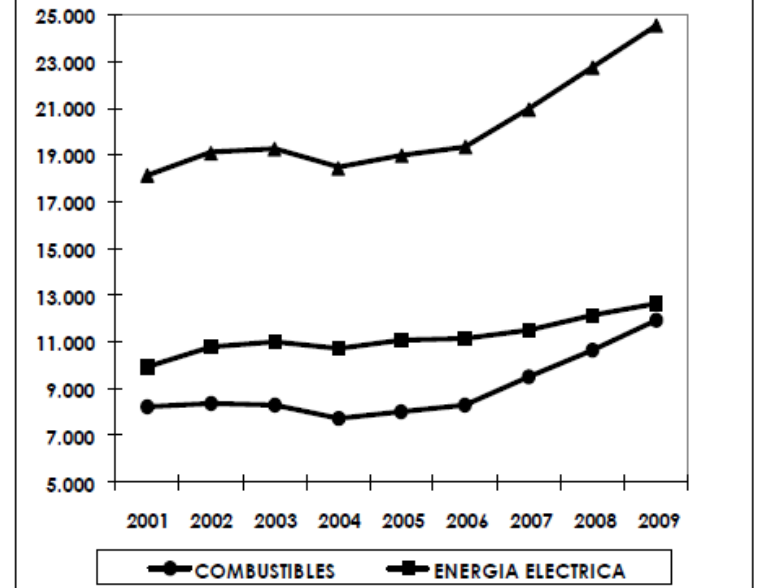


# NEXO EN LA MINERÍA

Producción de cobre - Consumo Electricidad

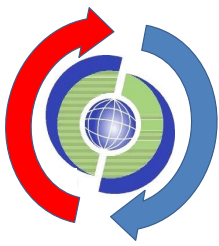


MJ/TMF Consumos Unitarios de Energía



PROCESOS	Consumo Unitario de Agua Fresca m <sup>3</sup> /ton mineral tratado	
	Año 2006 <sup>1</sup>	Año 2009 <sup>2</sup>
Concentración	0,79 (0,3-2,1)	0,72 (0,3-2,0)
Hidrometalurgia	0,13 (0,08-0,25)	0,13 (0,07-0,92)

Fuentes:  
COCHILCO, 2009; COCHILCO, 2010 ; CADE, 2011



# NEXO EN LA MINERÍA

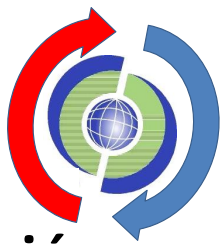
## Proyección Producción Potencial de Cobre Mina en Chile (Miles de toneladas de cobre fino)

	Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	<b>Total Nacional Cobre Mina (Kton Cu fino)</b>	Operaciones	5.419	5.691	5.750	5.814	5.706	5.546	5.329	5.076	4.853	4.784
Construcción		0	0	220	297	486	564	615	595	549	556	604
<b>Total Base</b>		<b>5.419</b>	<b>5.691</b>	<b>5.971</b>	<b>6.111</b>	<b>6.192</b>	<b>6.110</b>	<b>5.943</b>	<b>5.671</b>	<b>5.403</b>	<b>5.340</b>	<b>5.078</b>
Proy. Probables		0	0	0	0	0	41	246	394	572	649	673
Proy. Posibles		0	0	0	5	95	317	448	1.013	1.506	1.829	2.000
<b>Total Proyectos</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>95</b>	<b>358</b>	<b>694</b>	<b>1.407</b>	<b>2.079</b>	<b>2.478</b>	<b>2.673</b>
<b>TOTAL MINA</b>		<b>5.419</b>	<b>5.691</b>	<b>5.971</b>	<b>6.116</b>	<b>6.288</b>	<b>6.468</b>	<b>6.637</b>	<b>7.078</b>	<b>7.481</b>	<b>7.819</b>	<b>7.751</b>
<b>Total Nacional Cobre en Concentrados (Kton Cu fino)</b>	Operaciones	3.330	3.577	3.638	3.750	3.701	3.670	3.589	3.405	3.309	3.306	3.075
	Construcción	0	0	213	284	465	543	591	578	529	538	577
	<b>Total Base</b>	<b>3.330</b>	<b>3.577</b>	<b>3.851</b>	<b>4.034</b>	<b>4.165</b>	<b>4.213</b>	<b>4.179</b>	<b>3.983</b>	<b>3.839</b>	<b>3.844</b>	<b>3.651</b>
	Proy. Probables	0	0	0	0	0	41	246	394	572	649	673
	Proy. Posibles	0	0	0	0	23	153	243	808	1.297	1.607	1.755
	<b>Total Proyectos</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>194</b>	<b>489</b>	<b>1.202</b>	<b>1.870</b>	<b>2.256</b>	<b>2.428</b>
	<b>TOTAL CONC.</b>	<b>3.330</b>	<b>3.577</b>	<b>3.851</b>	<b>4.034</b>	<b>4.188</b>	<b>4.407</b>	<b>4.668</b>	<b>5.185</b>	<b>5.708</b>	<b>6.100</b>	<b>6.079</b>
<b>Total Nacional Cobre en Cátodos Sx/Ew (Kton Cu fino)</b>	Operaciones	2.089	2.114	2.113	2.064	2.005	1.875	1.740	1.670	1.544	1.478	1.399
	Construcción	0	0	8	13	22	21	24	17	20	18	27
	<b>Total Base</b>	<b>2.089</b>	<b>2.114</b>	<b>2.120</b>	<b>2.077</b>	<b>2.027</b>	<b>1.897</b>	<b>1.764</b>	<b>1.687</b>	<b>1.564</b>	<b>1.496</b>	<b>1.426</b>
	Proy. Probables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Proy. Posibles	0	0	0	5	72	164	205	205	209	222	245
	<b>Total Proyectos</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>72</b>	<b>164</b>	<b>205</b>	<b>205</b>	<b>209</b>	<b>222</b>	<b>245</b>
	<b>TOTAL Sx/Ew</b>	<b>2.089</b>	<b>2.114</b>	<b>2.120</b>	<b>2.083</b>	<b>2.100</b>	<b>2.061</b>	<b>1.969</b>	<b>1.893</b>	<b>1.773</b>	<b>1.718</b>	<b>1.671</b>
NOTA:	Base = Operaciones + Proyectos en Construcción											
	Proyectos Probables = Con estudios avanzados y aprobado EIA											
	Proyectos Posibles = Con antecedentes avanzados (Desde prefactibilidad en curso)											

**2010:**  
**5.419**

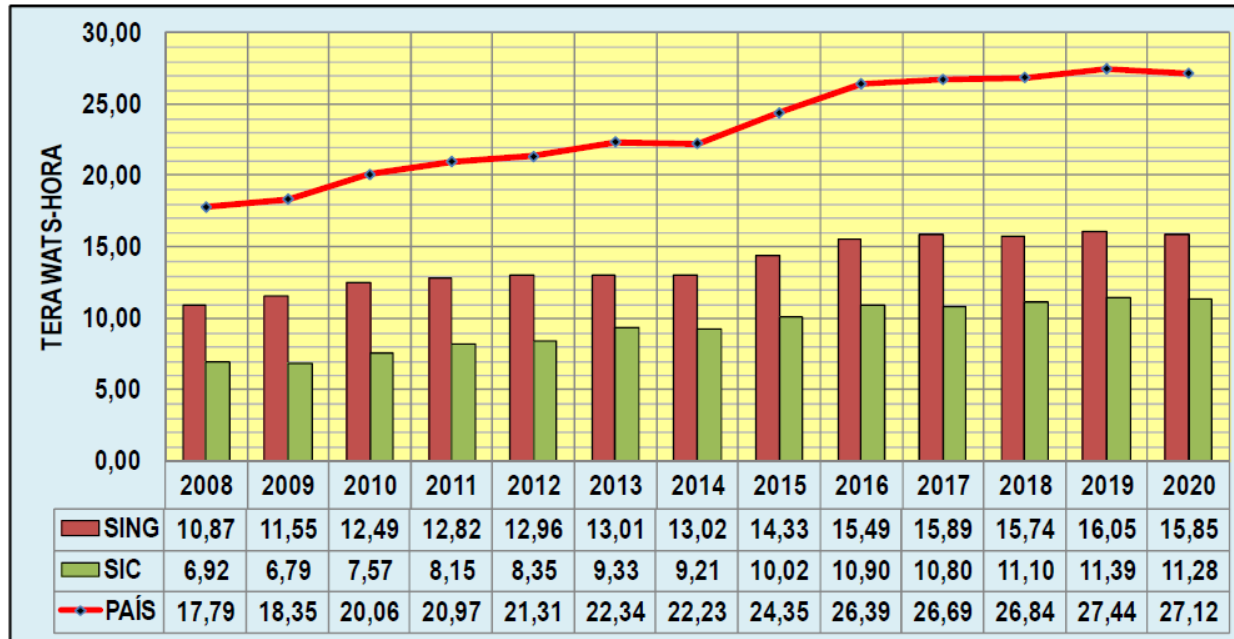
**2020:**  
**7.751**

**+ 43%**



# NEXO EN LA MINERÍA

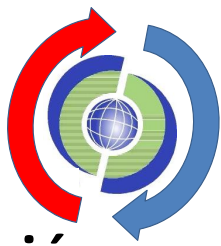
## Evolución prevista en el consumo de electricidad



**2010:**  
**17,7 TWh**

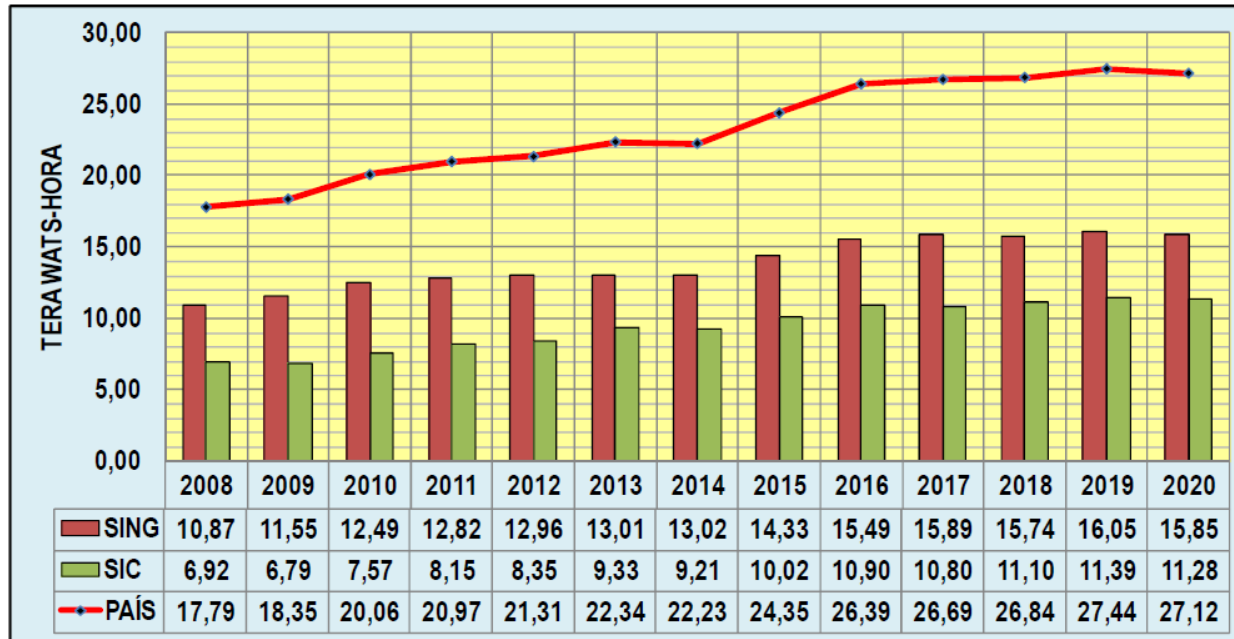
**2020:**  
**27,1 TWh**

**+ 53%**



# NEXO EN LA MINERÍA

## Evolución prevista en el consumo de electricidad



**2010:**  
**17,7 TWh**

**2020:**  
**27,1 TWh**

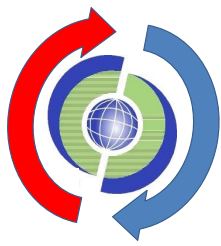
**+ 53%**

## Potencia Instalada por Tecnología Casos Bau SING

TABLA DE POTENCIA INSTALADA POR TECNOLOGIA

P. Instalada [MW]	Biomasa	Carbón	Eólica	Geotermia	GNL	Hidro	MiniHidro	Diesel	Fuel Oil	Nuclear	Solar
BAUC	0	211	383	720	0	0	0	104	0	0	0
BAUO	0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0

Mayor consumo de agua



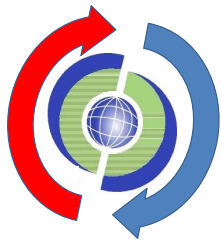
# NEXO EN LA MINERÍA

- Demanda adicional de agua fresca: aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/s
- En regiones II y III la opción que se considera son plantas de desalación:

Nombre Planta Desalinizadora	Proyecto minero o empresa asociada	Región	Capacidad Planta (en lts/seg)	Transporte agua		Estado
				Distancia (kms.)	Altura (m.s.n.m.)	
El Coloso	Minera Escondida	II	525	177	3600	En operación
El Coloso Ampliación	Minera Escondida	II	3200	177	3600	RCA aprobado
Planta Desalinizadora de MOLY COP Chile	Moly COP Chile	II	4.3	–	–	En operación
Planta Desalinizadora Sector Sur	Aguas Antofagasta	II	600	–	–	En operación
Planta Desalinizadora Chimba			600	–	–	En operación
Los Hornitos	C. C. Los Andes	II	4.3	–	–	DIA en calificación
El Morro	Proyecto El Morro	III	650	110	4000	EIA en calificación
Planta desalinizadora Candelaria	Minera Candelaria	III	300 a 500	900	1200	EIA en calificación
Planta desalinizadora Manto Verde	Proyecto Manto Verde	III	120	40	490	EIA en calificación
Planta Desaladora para el Valle de Copiapó	AGBAR Chile	III	1000	–	–	EIA en calificación
Punta Totoralillo	CAP S.A.	III	200 a 600	117(*)	–	RCA aprobado

Fuentes: COCHILCO



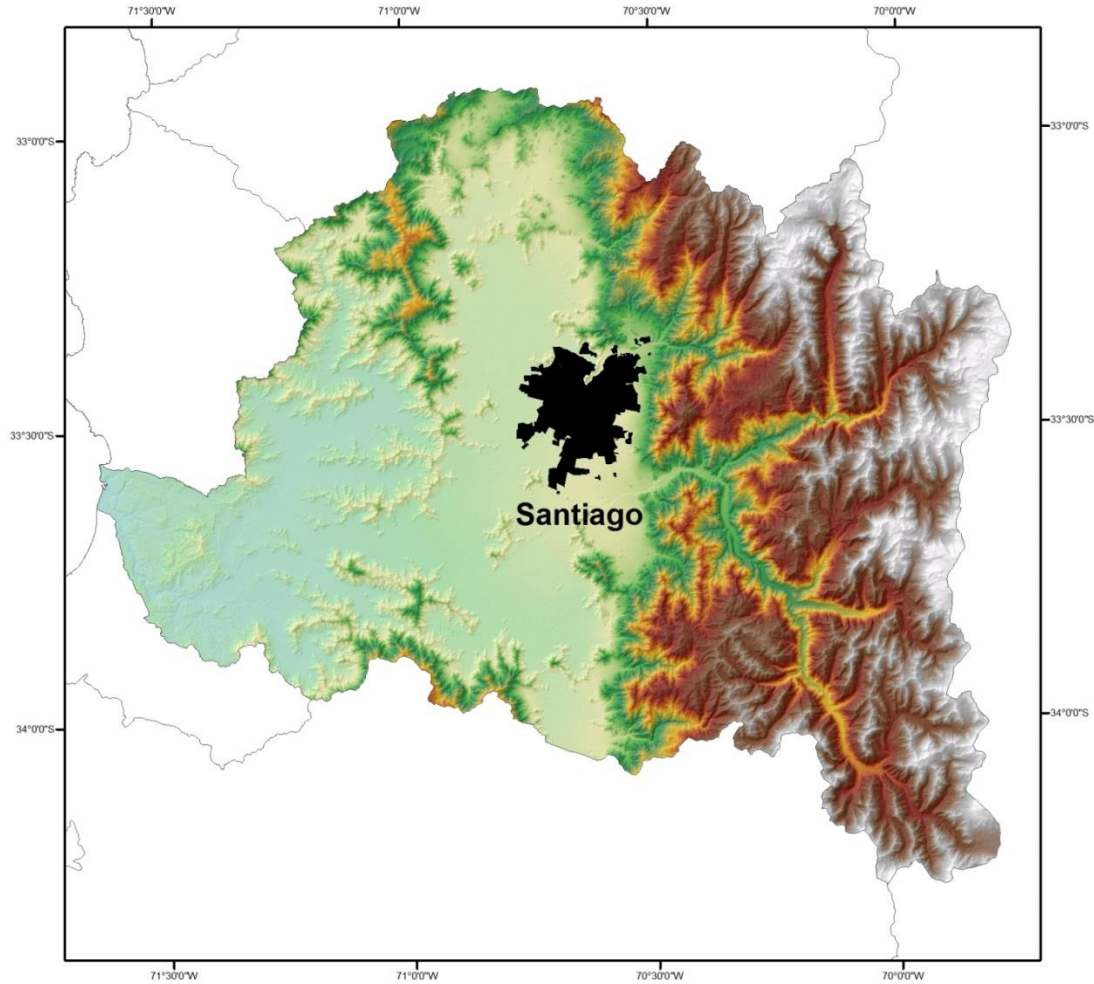


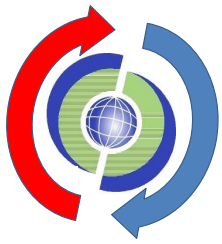
# NEXO EN LA MINERÍA

- Demanda adicional de agua fresca:  $\approx 8 \text{ m}^3/\text{s}$
- En regiones II y III la opción que se está considerando son plantas de desalación:
  - Más de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  considerándose en plantas de desalación
  - Costo energético (EL Coloso – Escondida):
    - $4,25 \text{ kWh}/\text{m}^3$  de agua desalinizada producida
    - $14 \text{ KWh}$  para impulsión de cota 0 a cota  $3.150 \text{ m.s.n.m}$
- Costo energético adicional:
  - $3 \text{ TWh}$  ( $\approx$  central de  $700 \text{ MW}$ )
  - Más de un **15%** de aumento de consumo de electricidad



# NEXO EN LAS CIUDADES





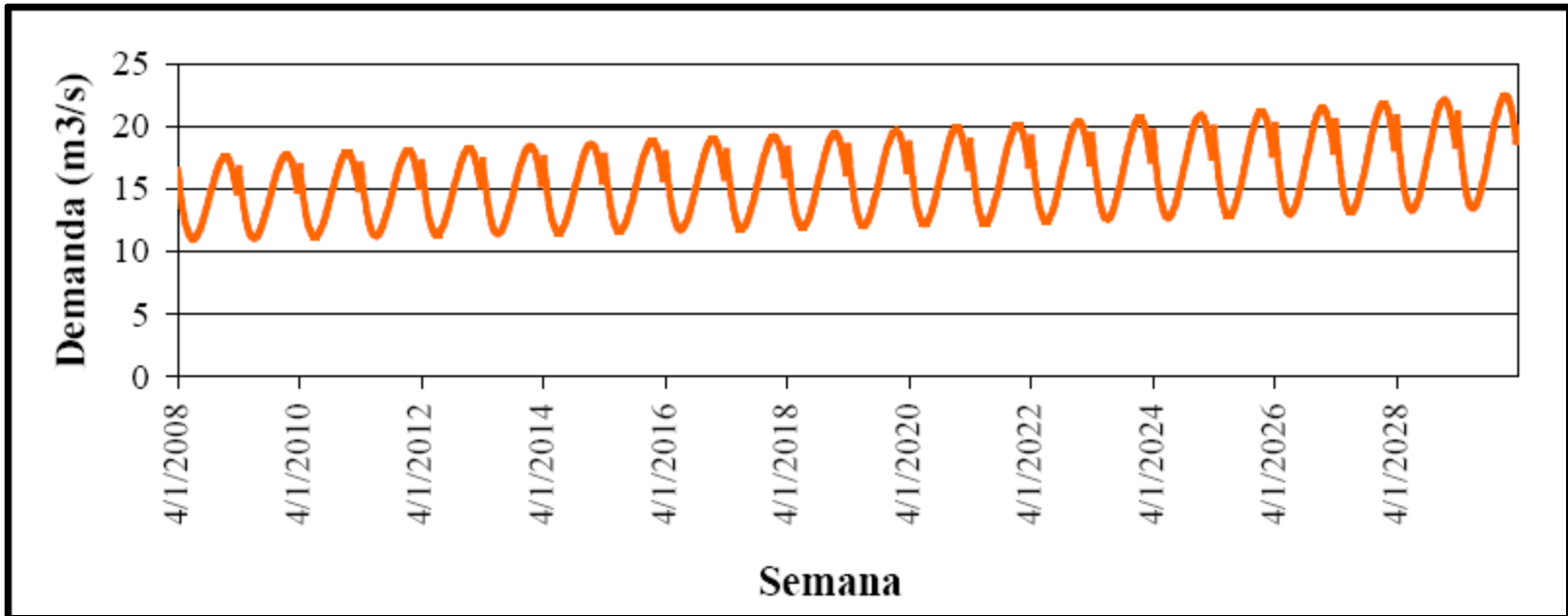
# NEXO EN LAS CIUDADES:

## El caso de Santiago

- Consumo actual de agua en Santiago: 650 Hm<sup>3</sup>
- De estos aproximadamente 50 Hm<sup>3</sup> provienen de bombeo de aguas subterráneas
- Costos energéticos:
  - Tratamiento agua potable: 0,37 kWh/m<sup>3</sup>
  - Tratamiento aguas servidas: 0,35 kWh/m<sup>3</sup>
  - Bombeo (profundidad promedio pozos): 0,35 kWh/m<sup>3</sup>
- Costo energético total: 470 GWh/año

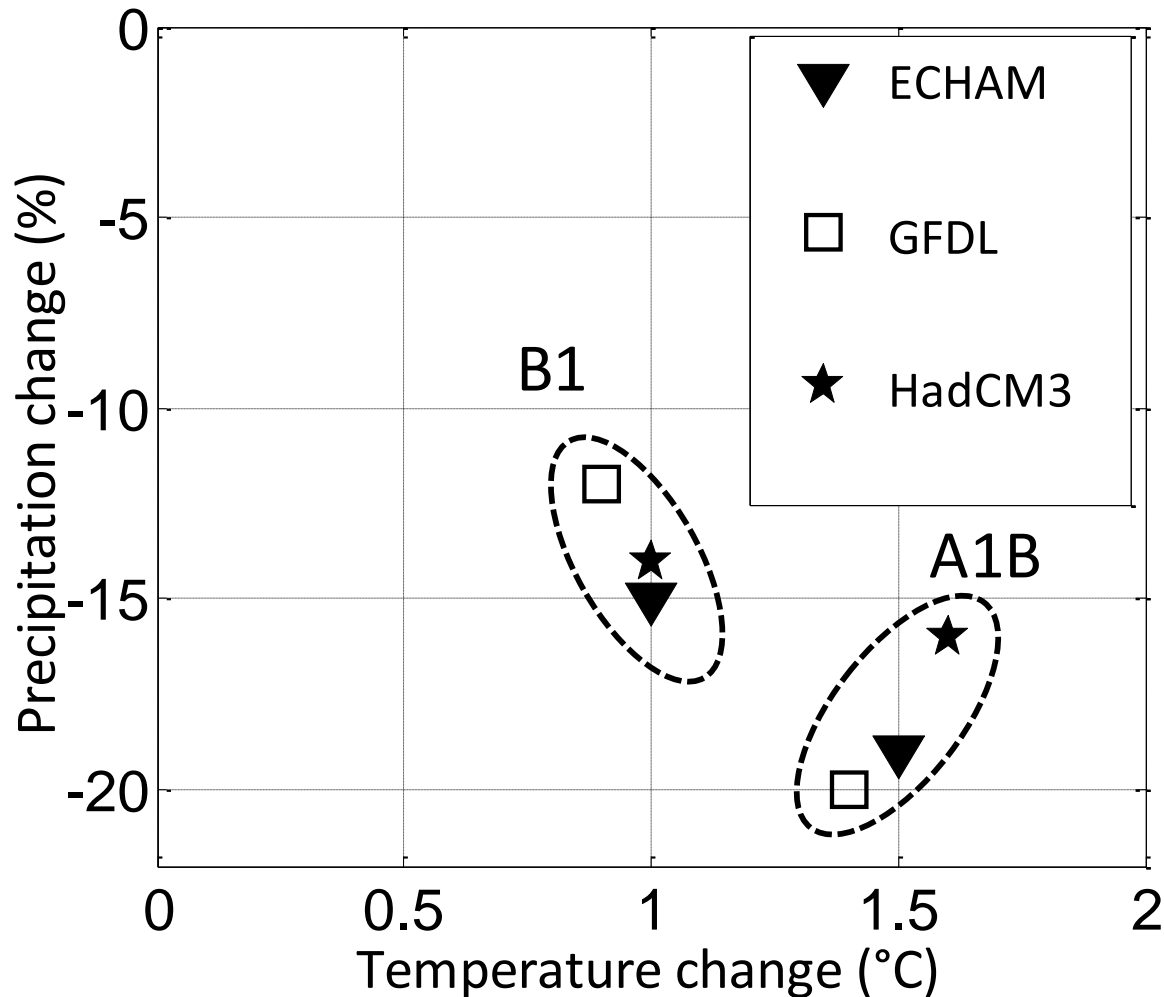
# Consumo de agua futuro

- Tasa de crecimiento numero de clientes
- Tasa de cambio de consumo por cliente
- Usando información Aguas Andinas últimos 5 años



# Escenarios de cambio climatico

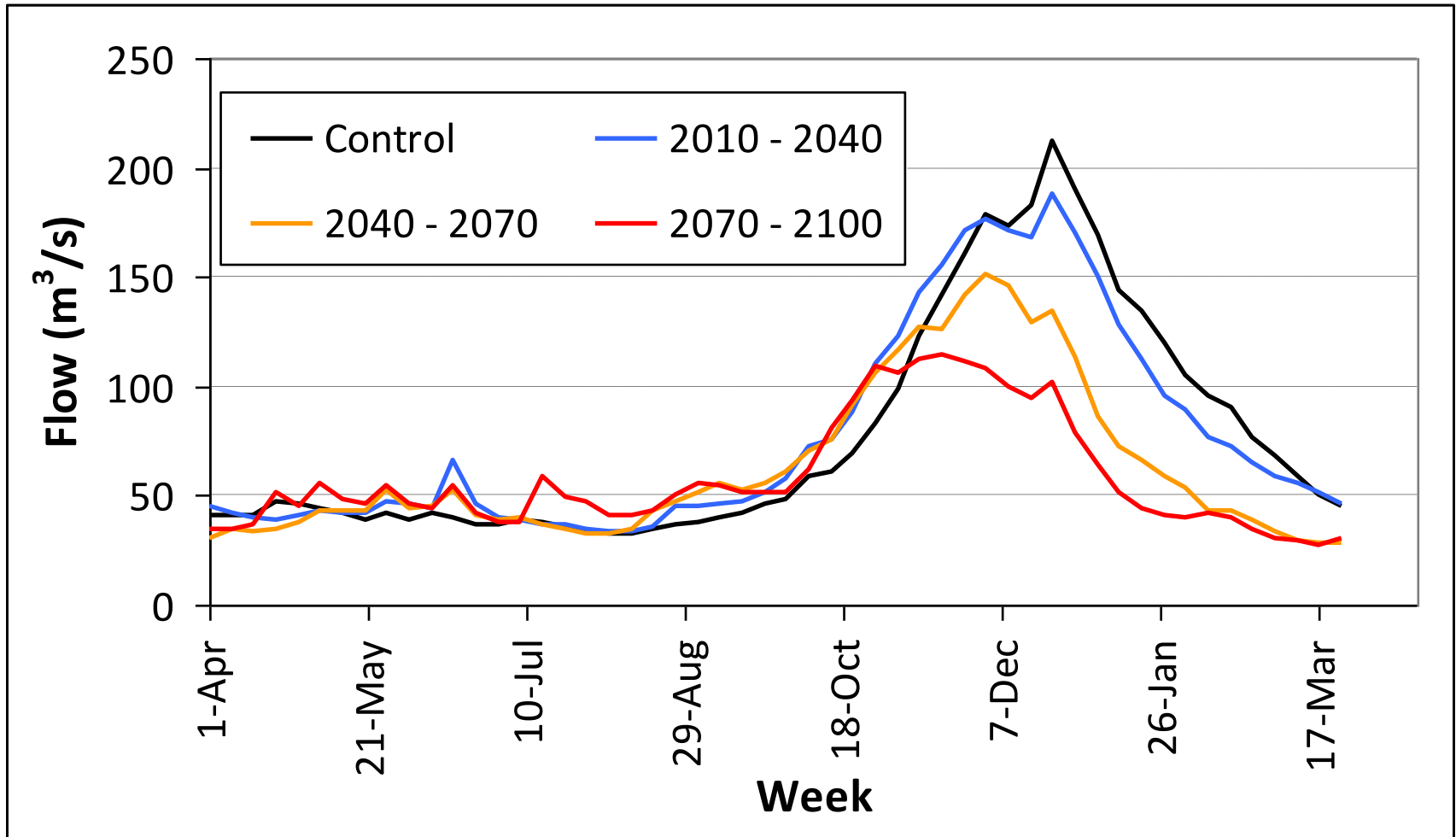
Proyecciones para el periodo 2035-2065  
comparado con el periodo control



# Impactos hidrológicos

## Ejemplo del Escenario ECHAM A1b

### Maipo en cabecera



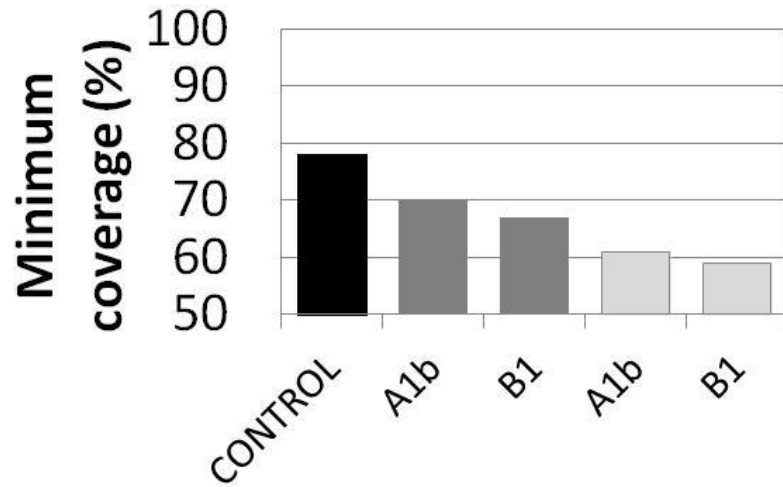
# Evaluando el suministro de agua potable

Escenarios de cambio global considerados

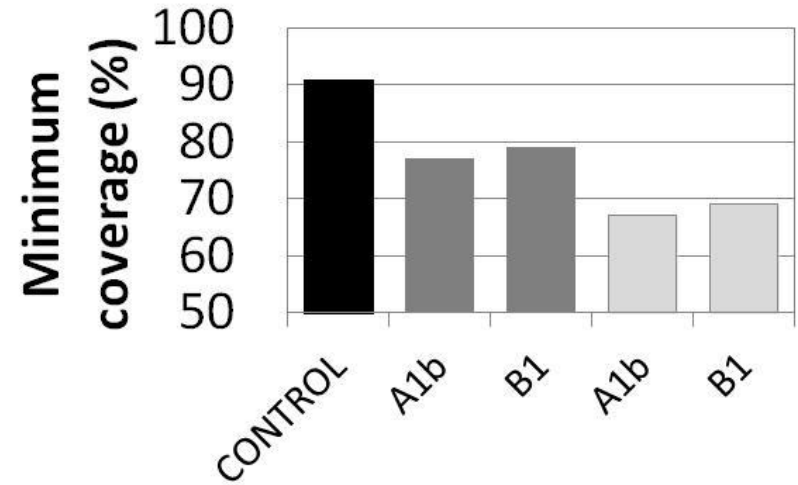
<b>Nombre</b>	<b>Hidrología</b>	<b>Demanda</b>
<b>Control</b>	1980-2010	Nivel del 2010
<b>Cambio climático</b>	2035-2065	Nivel del 2010
<b>Cambio climático + Cambio población</b>	2035-2065	Nivel del 2050

# Impactos por escenario

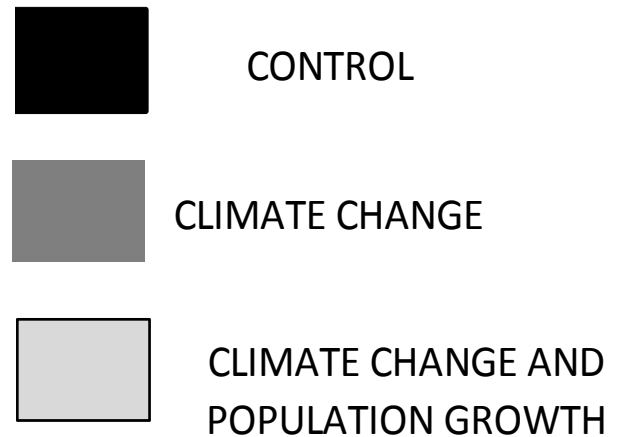
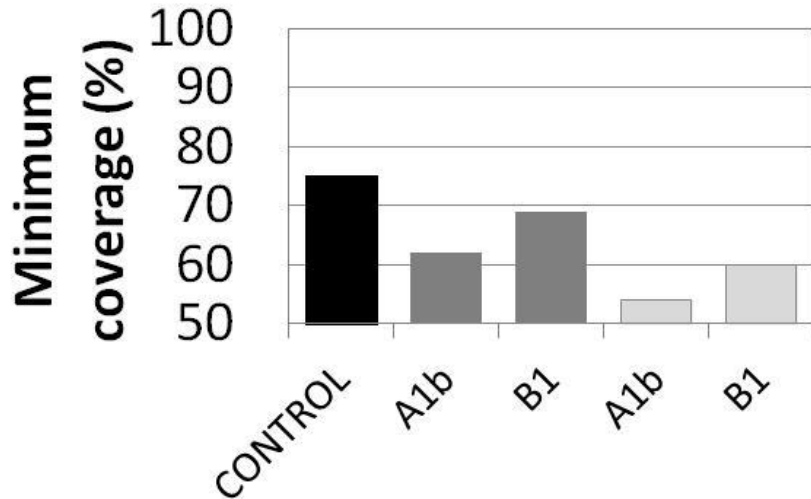
## ECHAM



## HadCM3



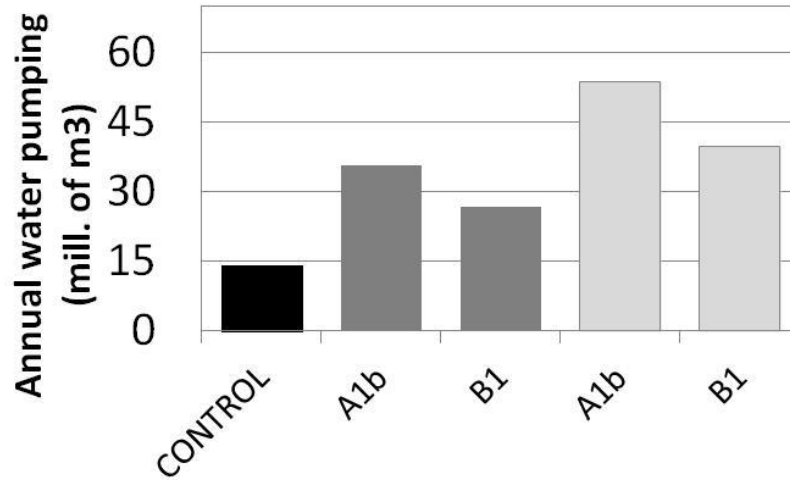
## GFDL



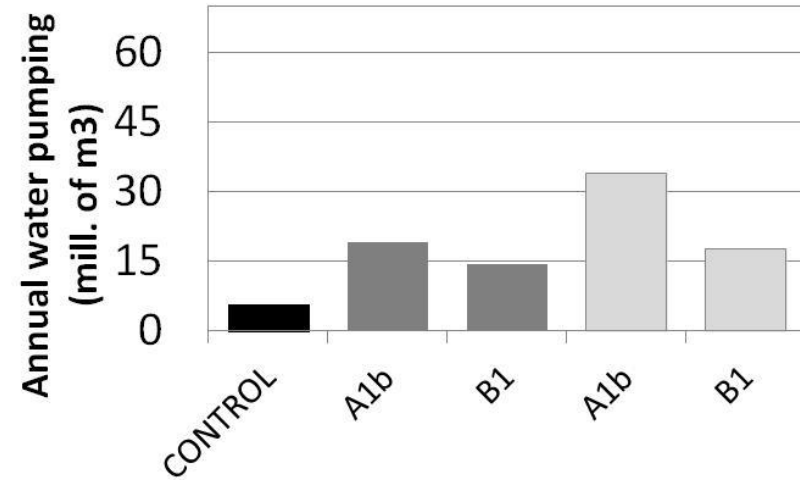


# Impactos por escenario

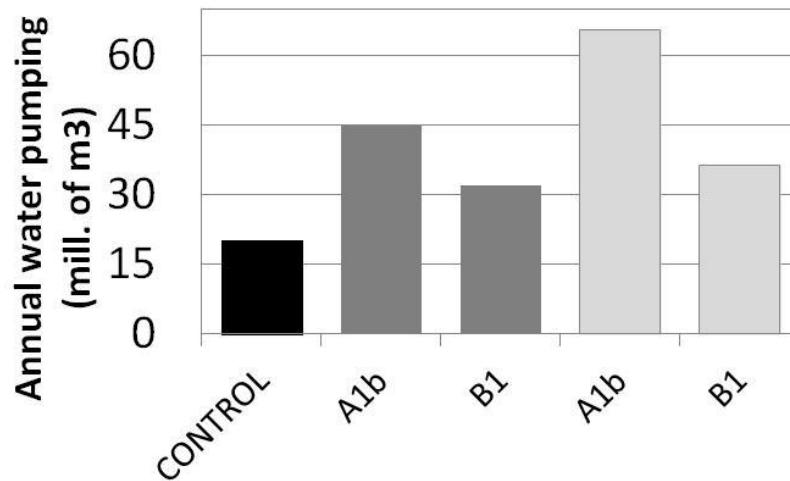
## ECHAM



## HadCM3



## GFDL



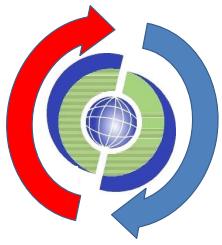
CONTROL



CLIMATE CHANGE

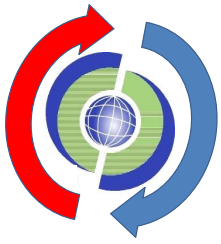


CLIMATE CHANGE AND  
POPULATION GROWTH



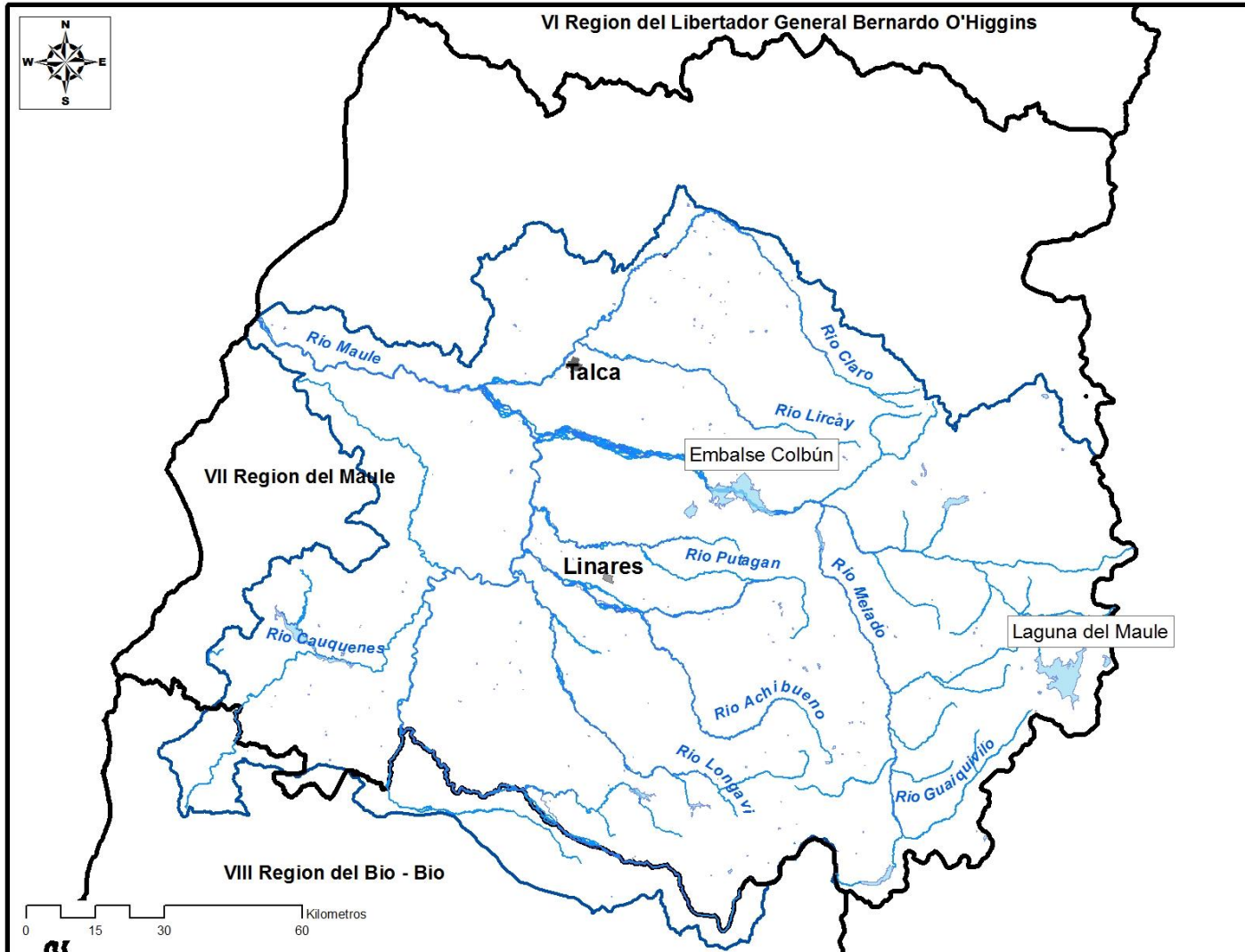
# NEXO EN LAS CIUDADES: El caso de Santiago

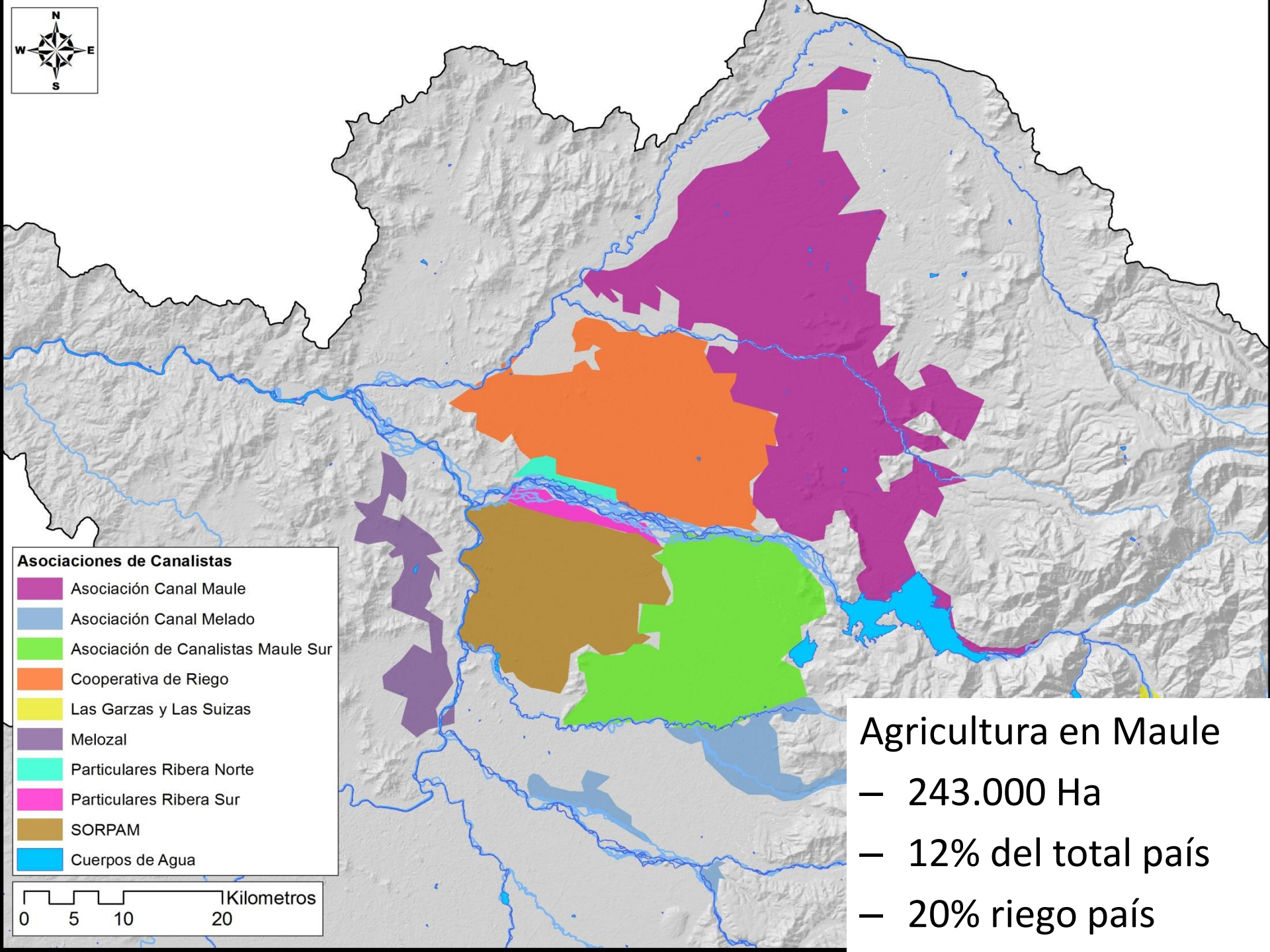
- Aumento consumo de agua:
  - 70 Hm<sup>3</sup> (+10%)
- Aumento en bombeo
  - 3.5 veces (promedio escenarios)
- Costo energético total:
  - 540 GWh/año (+15%)



# NEXO EN LA AGRICULTURA:

## Ej. Cuenca del Maule





- Asociaciones de Canalistas**
- Asociación Canal Maule
  - Asociación Canal Melado
  - Asociación de Canalistas Maule Sur
  - Cooperativa de Riego
  - Las Garzas y Las Suizas
  - Melozal
  - Particulares Ribera Norte
  - Particulares Ribera Sur
  - SORPAM
  - Cuerpos de Agua

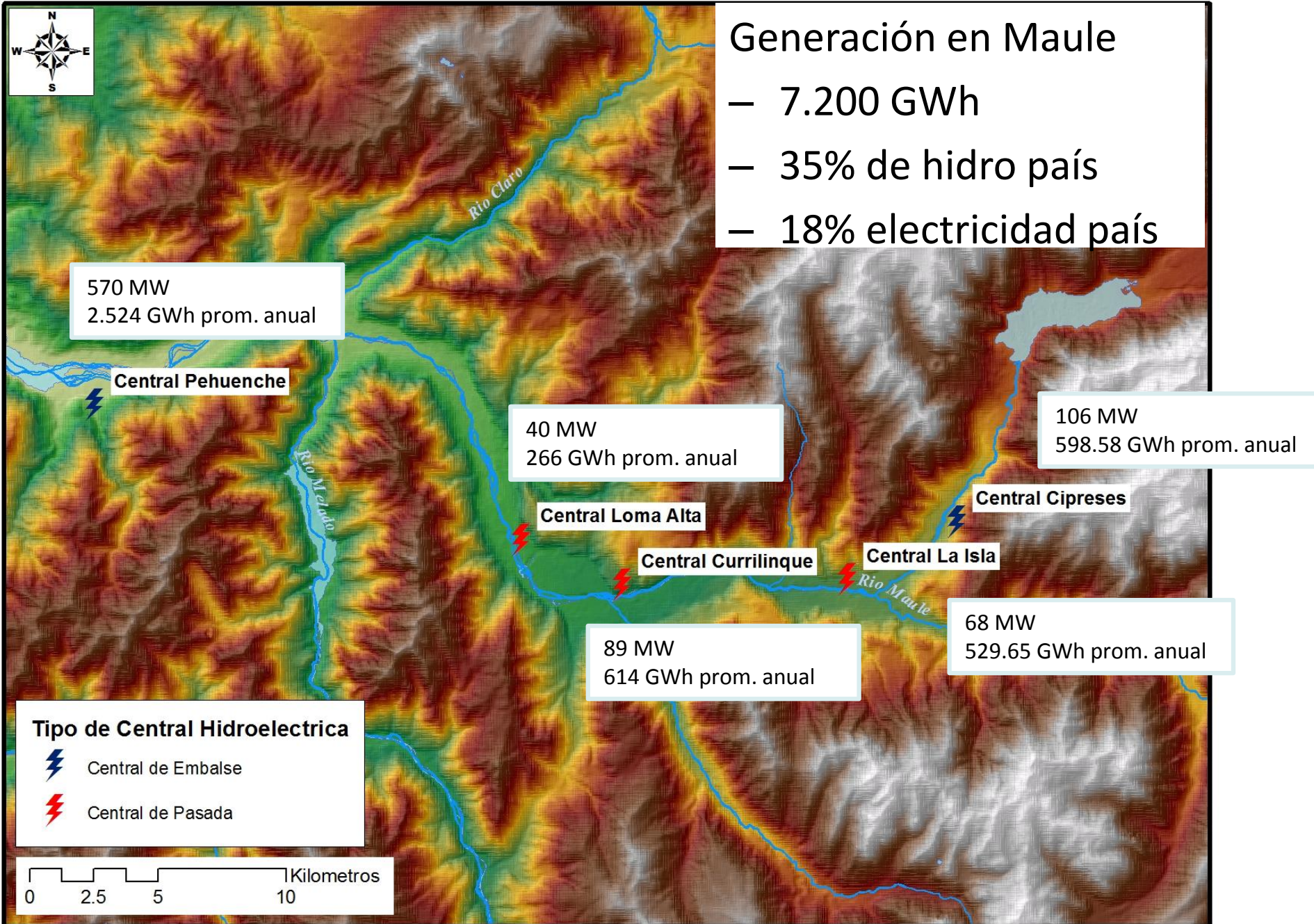


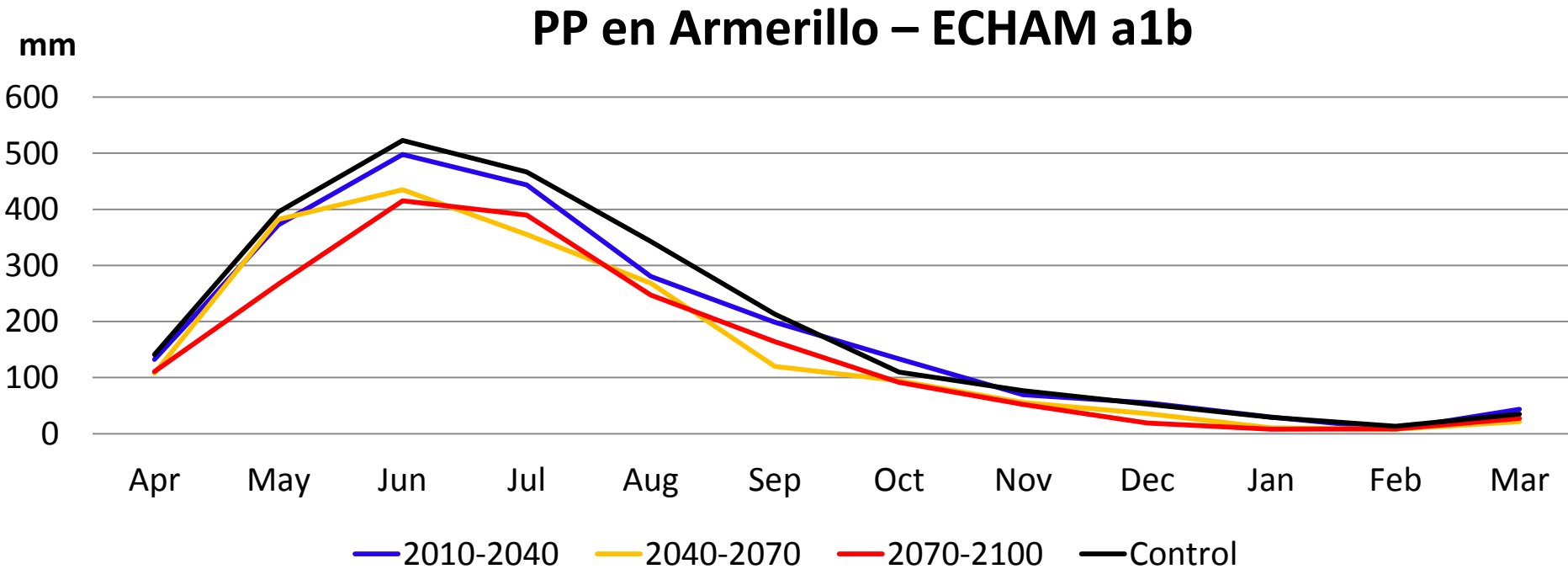
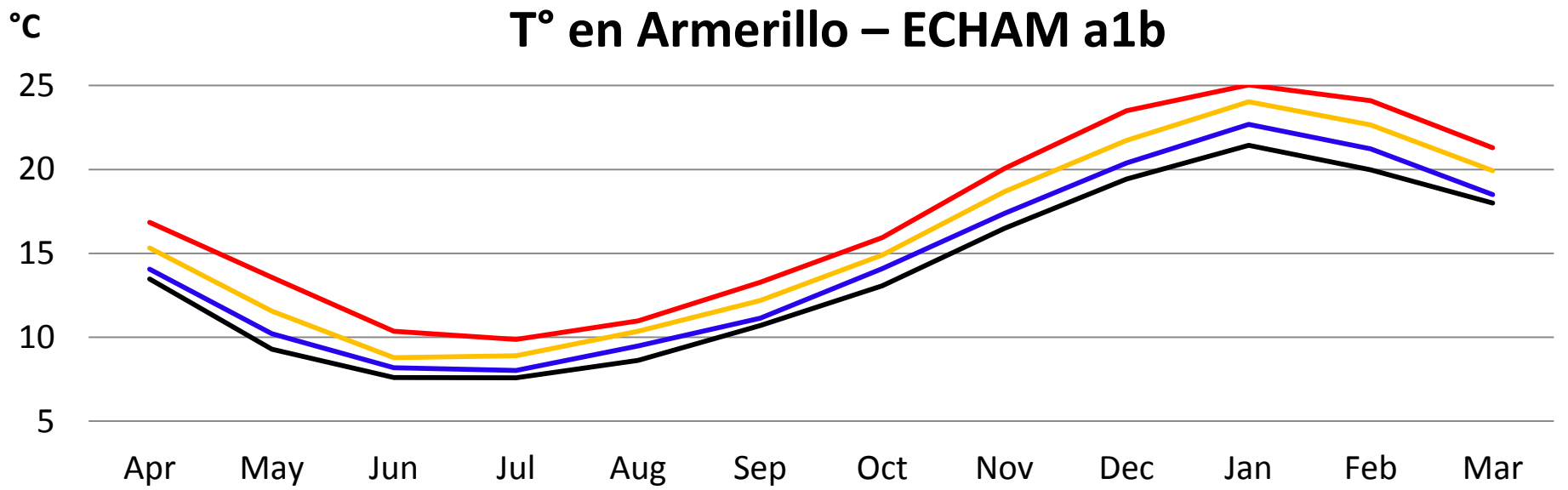
**Agricultura en Maule**

- 243.000 Ha
- 12% del total país
- 20% riego país

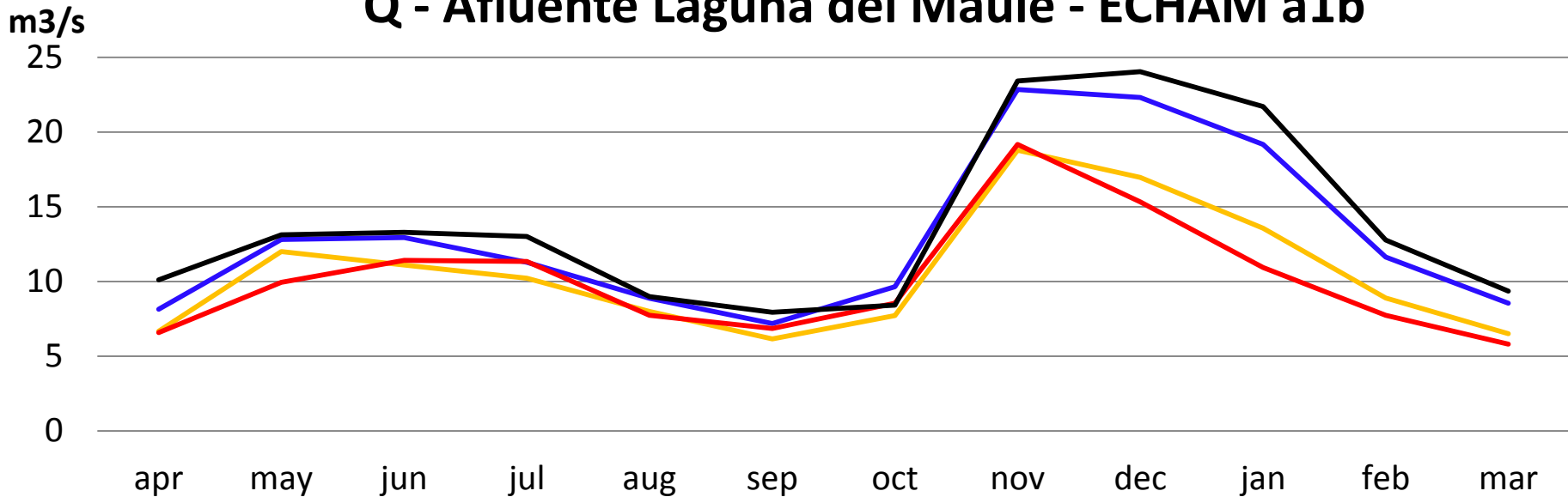
# Generación en Maule

- 7.200 GWh
- 35% de hidro país
- 18% electricidad país

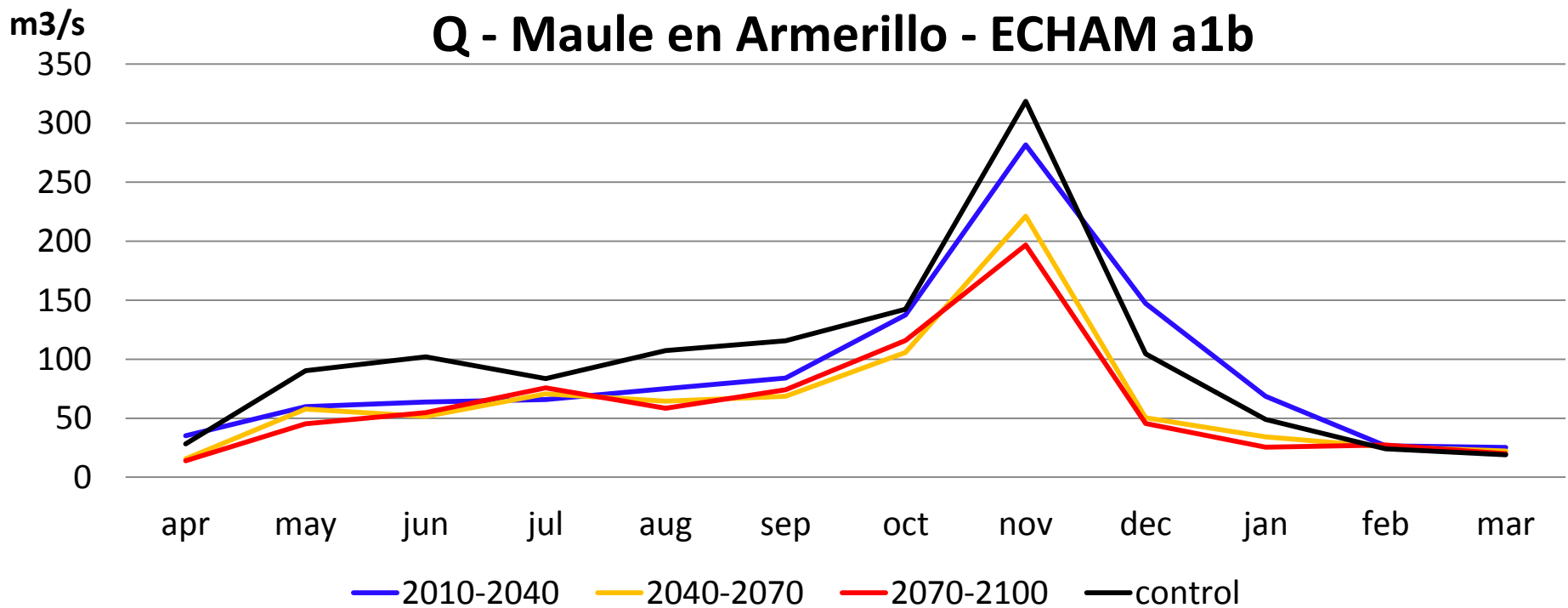




### Q - Afluente Laguna del Maule - ECHAM a1b

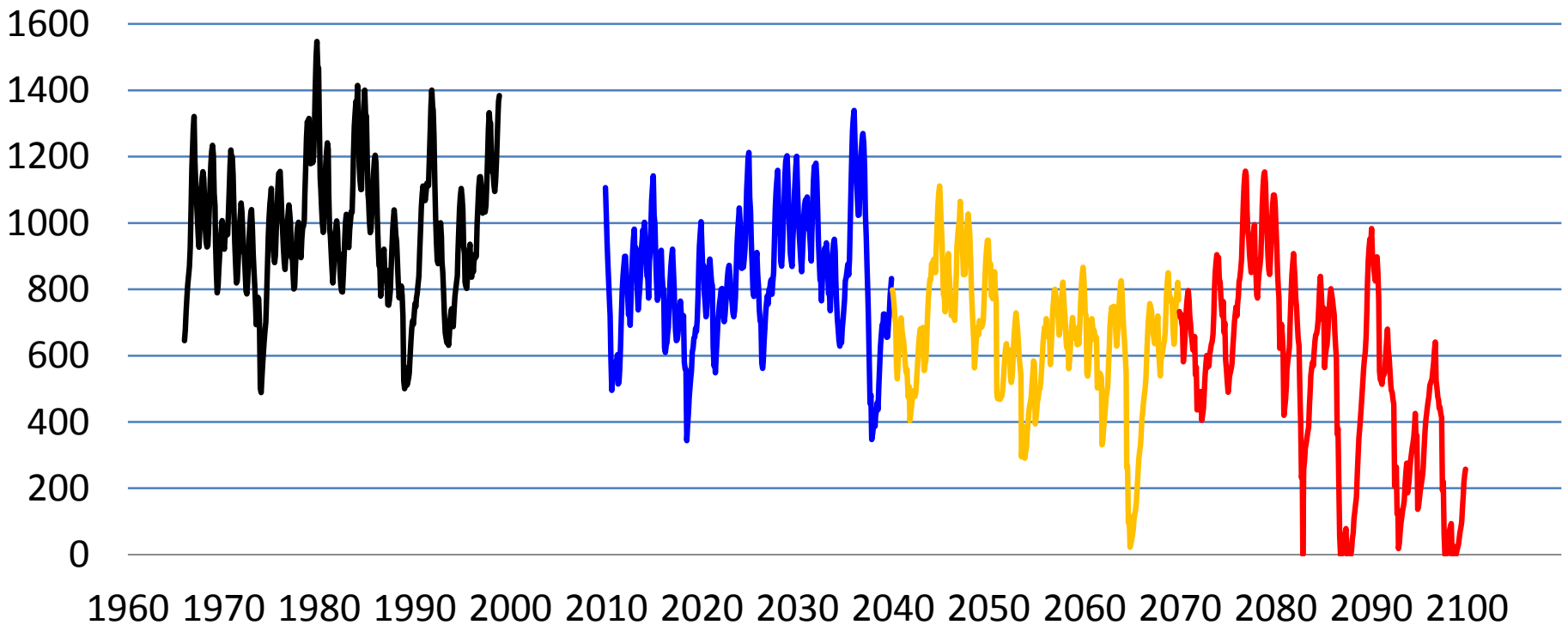


### Q - Maule en Armerillo - ECHAM a1b



Millones de m3

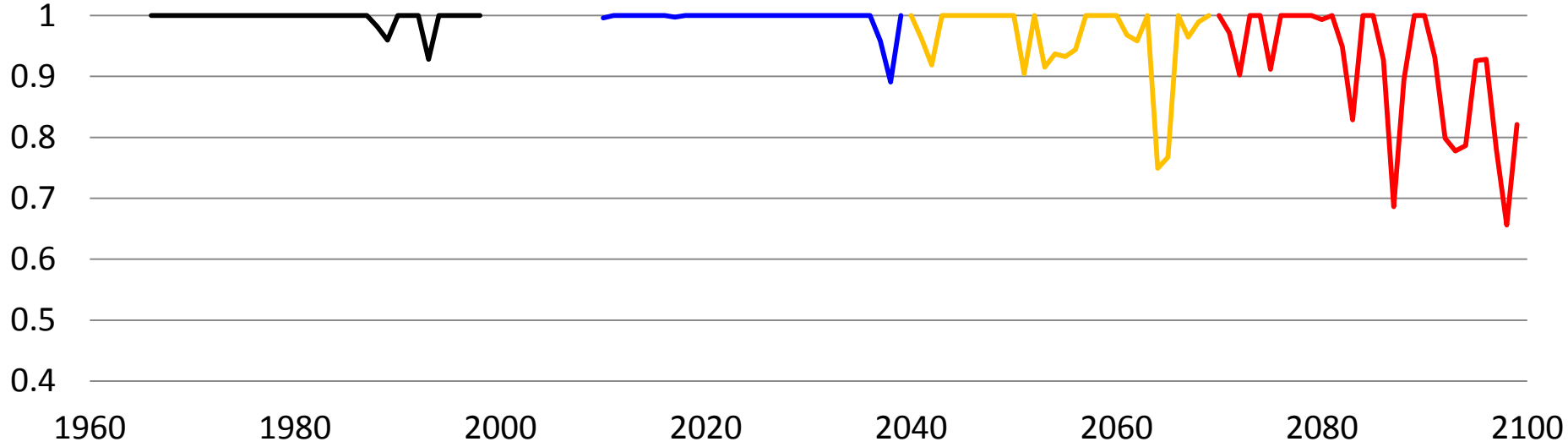
# Almacenamiento Laguna del Maule (2010 - 2100)



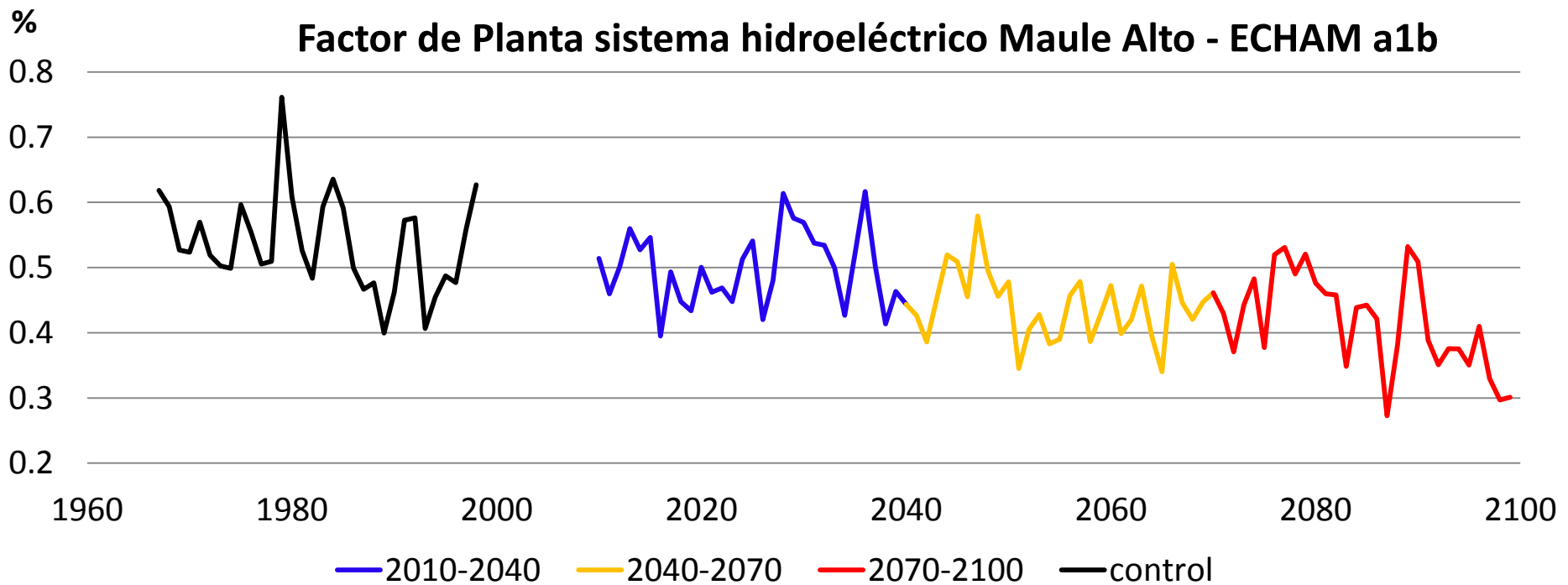
— 2010-2040 — 2040-2070 — 2070-2100 — control



### Cobertura de Demanda todo el sistema - ECHAM a1b



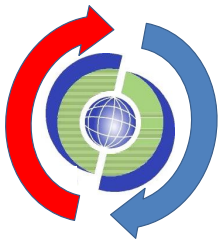
### Factor de Planta sistema hidroeléctrico Maule Alto - ECHAM a1b



# Impactos a nivel país

Periodo	Generación Hidroeléctrica		Impactos asociados a aumento por generación termoeléctrica		
	GWh	Delta (%)	Aumento Generación (GWh) <sup>(1)</sup>	Emisión GEI (tCO <sub>2</sub> e/año)	Costo económico (MUS\$/año) <sup>(2)</sup>
1976-2000	20 938				
<b>Escenario A2</b>					
2011-2040	18 129	-13%	2 809	2 626 488	101
2041-2070	17 653	-16%	3 285	3 071 434	118
2071-2099	16 686	-20%	4 252	3 975 979	153
<b>Escenario B2</b>					
2011-2040	18 779	-10%	2,159	2 018 665	78
2041-2070	17 934	-14%	3 004	2 808 740	108
2071-2099	17 539	-16%	3 399	3 178 065	122

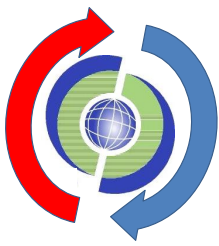
Fuentes:  
CEPAL, 2009



# NEXO EN LA AGRICULTURA:

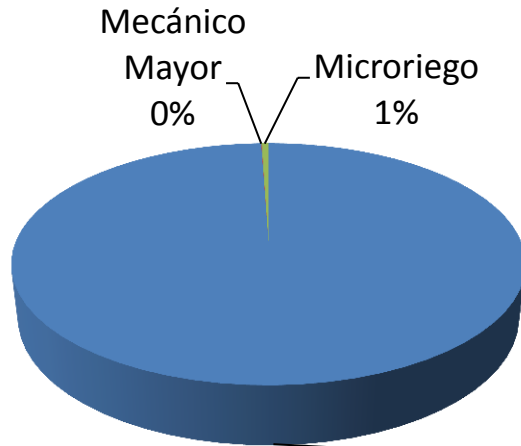
## Ej. Cuenca del Maule

- ¿Que pasa si aumentamos la eficiencia en riego?

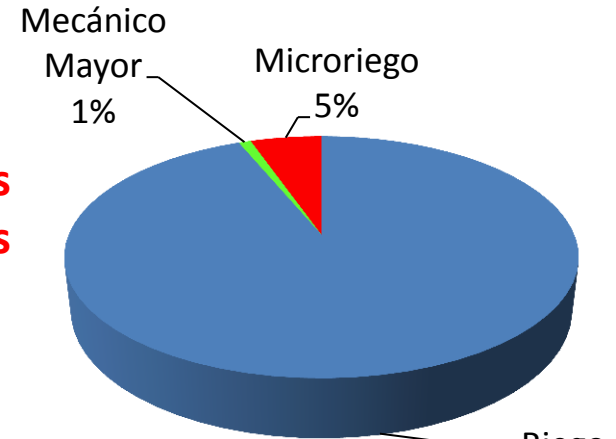


# NEXO EN LA AGRICULTURA: Ej. Cuenca del Maule

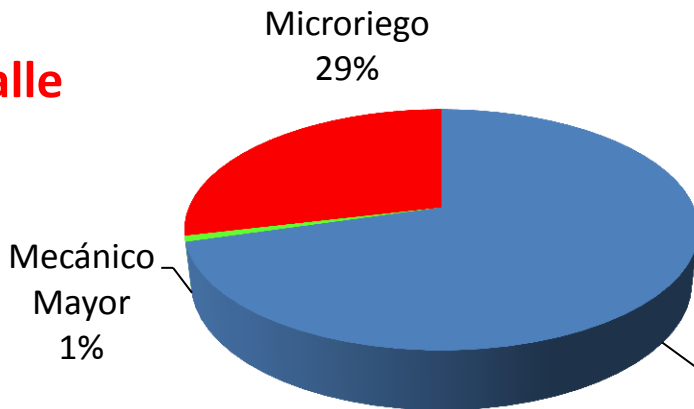
**San  
Clemente**



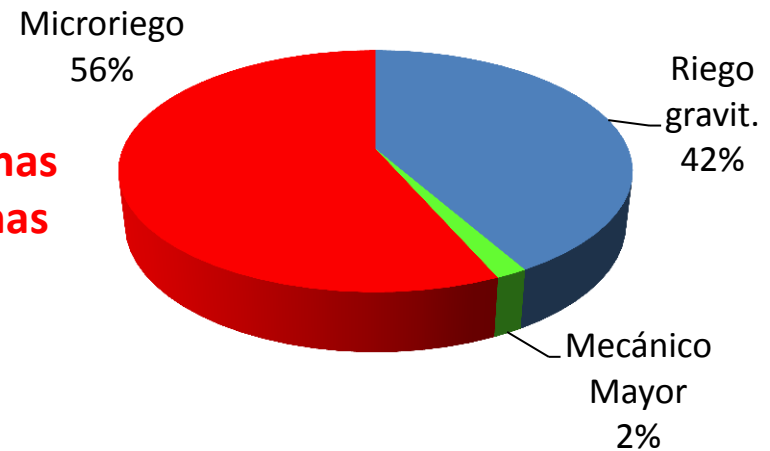
**1997: 33.043 has  
2007: 29.166 has**

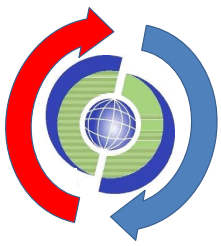


**Ovalle**



**1997: 14.172 has  
2007: 23.378 has**

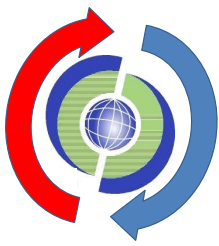




# NEXO EN LA AGRICULTURA:

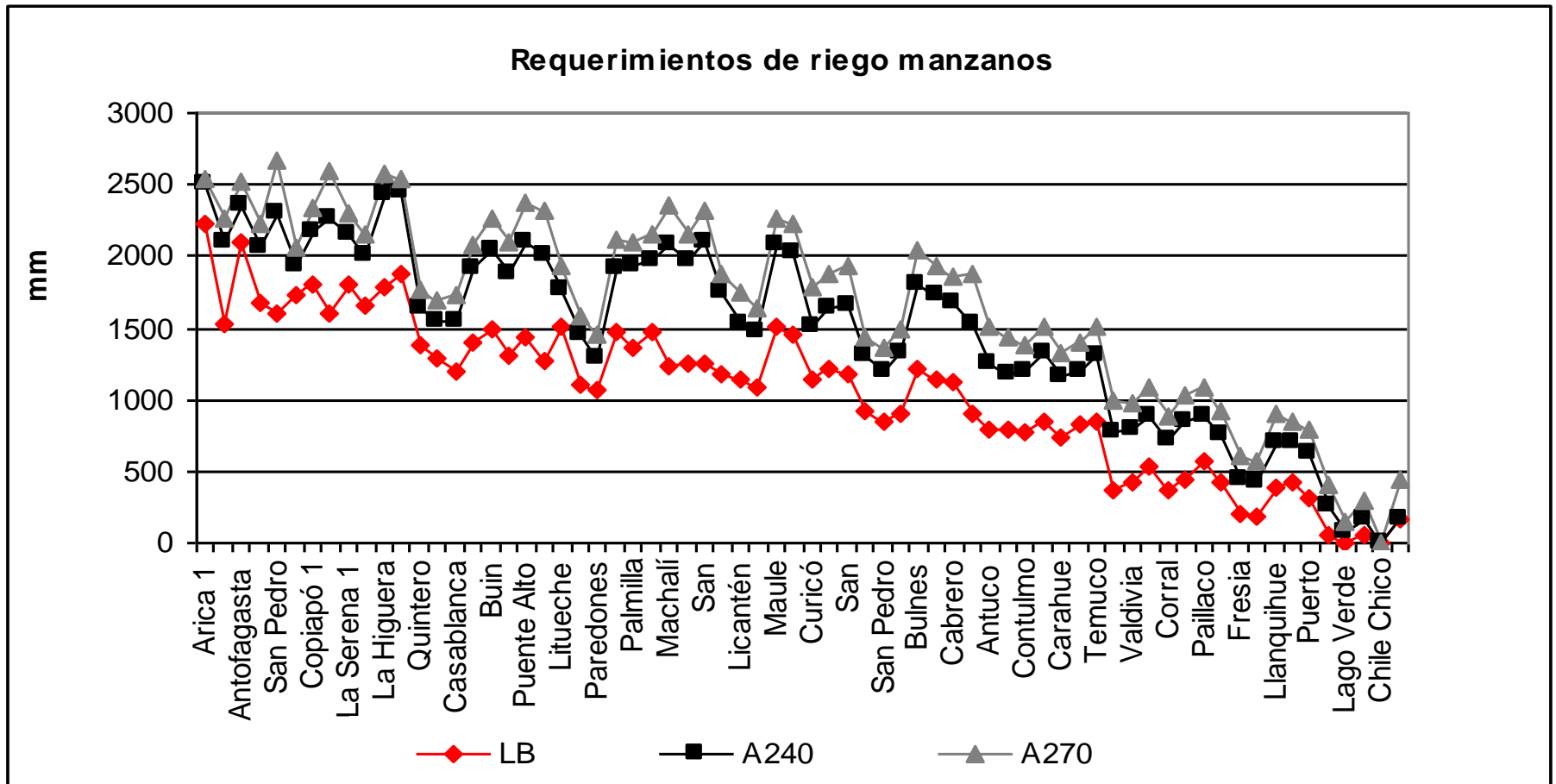
## Ej. Cuenca del Maule

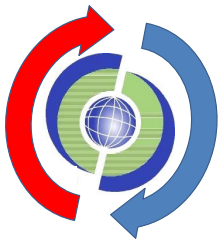
- ¿Que pasa si aumentamos la eficiencia en riego?
- Supuestos:
  - Mismo patrón de riego que en Ovalle
  - Todo lo regado es manzano
  - No hay necesidades de bombeo
- “Sobran” 74 millones de m<sup>3</sup> al año
- Pero necesitamos 2.3 GWh adicionales
- ¿Compensa?...Próximo año la respuesta



# NEXO EN LA AGRICULTURA: Otras consideraciones

- ¿Y si aumenta la demanda por riego?





# NEXO EN LA AGRICULTURA:

## Otras consideraciones

- ¿Y si los agricultores quieren generar electricidad?



### Central Hidroeléctrica Lircay

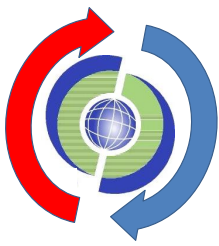
El primer proyecto desarrollado por Hidromaule S.A. es la Central Hidroeléctrica Lircay, la cual consiste en una central de pasada de 19 MW de potencia instalada que utiliza las aguas de riego de la Asociación de Canalistas del Maule, tomando las aguas de la primera sección de Canal Maule Norte Bajo, ubicado en la comuna de San Clemente, provincia de Talca, VII región del Maule.

La central entró en operaciones en octubre del 2008, produciendo una generación anual de 130 GWh. El proyecto está conectado al Sistema Interconectado Central (SIC) entregando la energía a los consumidores finales en el área.

La Central Hidroeléctrica Lircay usa tecnologías de probada eficiencia y confiabilidad en el mercado de centrales de pasada. El diseño de la central consiste en una bocatoma, un canal de aducción revestido en concreto de 3 km y 25 m<sup>3</sup>/s de caudal de diseño, una tubería de presión, una casa de máquinas con dos turbinas Francis de eje horizontal Andritz/Vatech de 9,7 MW cada una, una subestación en 6.6/66 kV y una línea de transmisión de 27 km de largo para evacuar la energía al SIC por medio de la S/E Maule.

La central está operativa desde Octubre de 2008 y está registrada en el Mecanismo de Desarrollo Limpio, según la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (UNFCCC), aportando al medioambiente una reducción de emisiones de 53 mil toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.





# NEXO EN LA AGRICULTURA:

## Otras consideraciones

- ¿Y si los agricultores quieren generar electricidad?

### Central Hidroeléctrica Lircay

El primer proyecto desarrollado por Hidromaule S.A. es la Central Hidroeléctrica Lircay, la cual consiste en una central de pasada de 19 MW de potencia instalada que utiliza las aguas de riego de la Asociación de Canalistas del Maule, tomando las aguas de la primera sección de Canal Maule Norte Bajo, ubicado en la comuna de San Clemente, provincia de Talca, VII región del Maule.



El primer proyecto desarrollado por Hidromaule S.A. es la Central Hidroeléctrica Lircay, la cual consiste en una central de pasada de 19 MW de potencia instalada que utiliza las aguas de riego de la Asociación de Canalistas del Maule, tomando las aguas de la primera sección de Canal Maule Norte Bajo, ubicado en la comuna de San Clemente, provincia de Talca, VII región del Maule.

La central entró en operaciones en octubre del 2008, produciendo una generación anual de 130 GWh. El proyecto está conectado al Sistema Interconectado Central (SIC) entregando la energía a los consumidores finales en el área.

La Central Hidroeléctrica Lircay usa tecnologías de probada eficiencia y confiabilidad en el mercado de centrales de pasada. El diseño de la central consiste en una bocatoma, un canal de aducción revestido en concreto de 3 km y 25 m<sup>3</sup>/s de caudal de diseño, una tubería de presión, una casa de máquinas con dos turbinas Francis de eje horizontal Andritz/Vatech de 9,7 MW cada una, una subestación en 6.6/66 kV y una línea de transmisión de 27 km de largo para evacuar la energía al SIC por medio de la S/E Maule.

La central está operativa desde Octubre de 2008 y está registrada en el Mecanismo de Desarrollo Limpio, según la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (UNFCCC), aportando al medioambiente una reducción de emisiones de 53 mil toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.







# NEXO EN LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

Modelo WEAP-LEAP para todo Chile

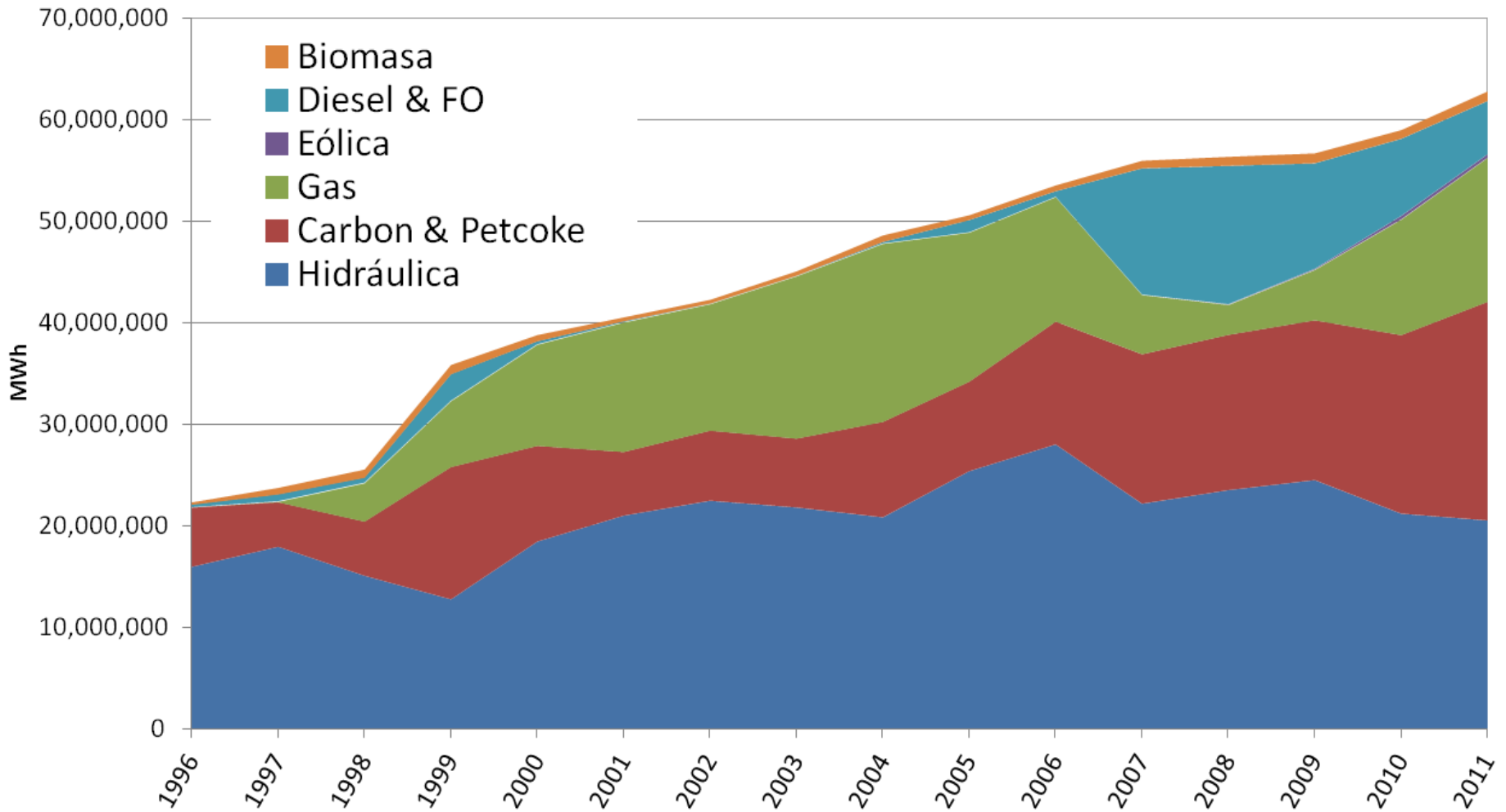
# Mapa SIC

- SIC abastece a las regiones III – X
- Capacidad Instalada 2012: 13.545 MW
- Potencia (%) por Tipo:
  - Termoeléctrica: 50,9%
  - Hidroeléctrica: 47,2%
  - Eólica: 1,9%

Fuente: CDEC-SIC



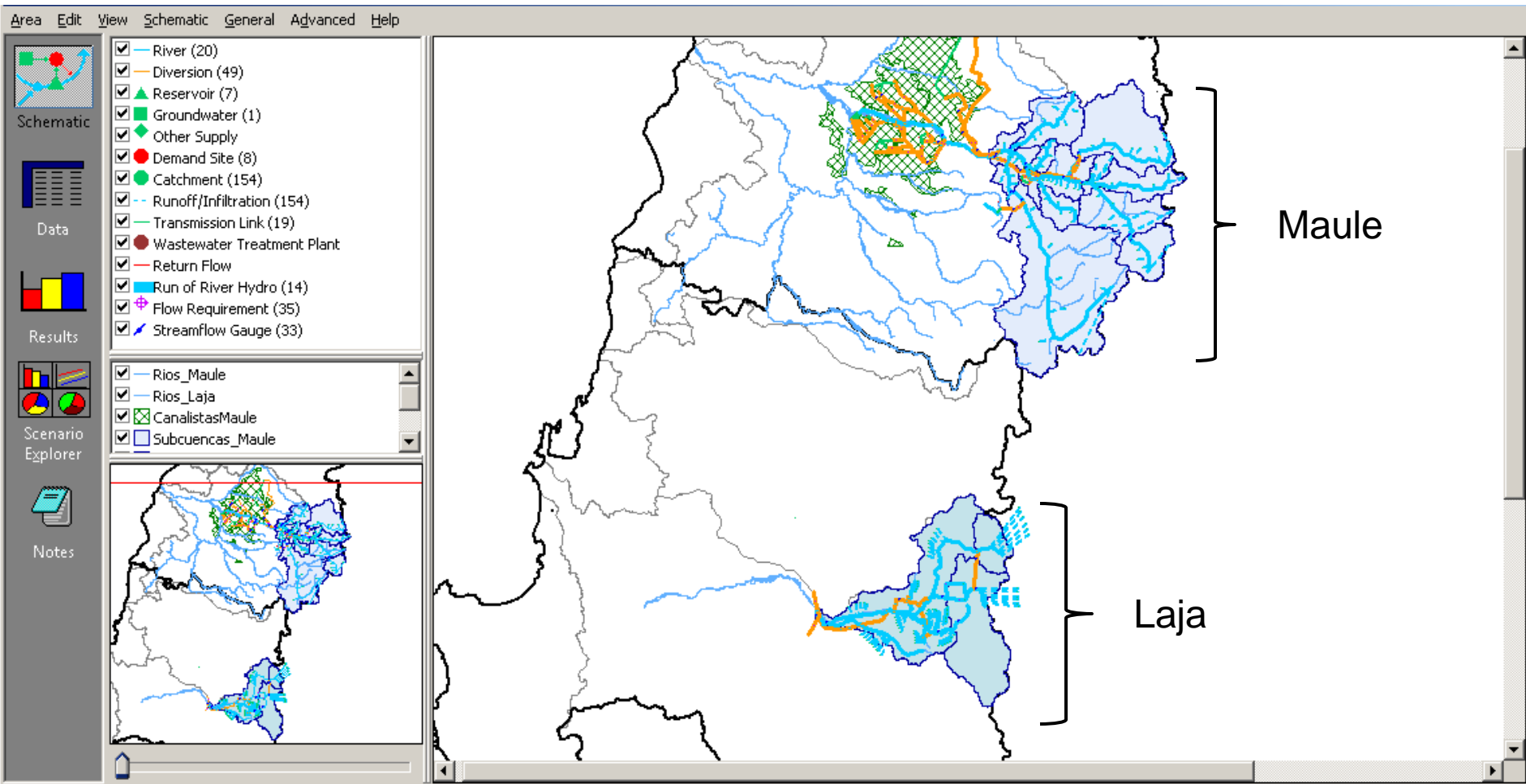
# Generación Histórica SIC



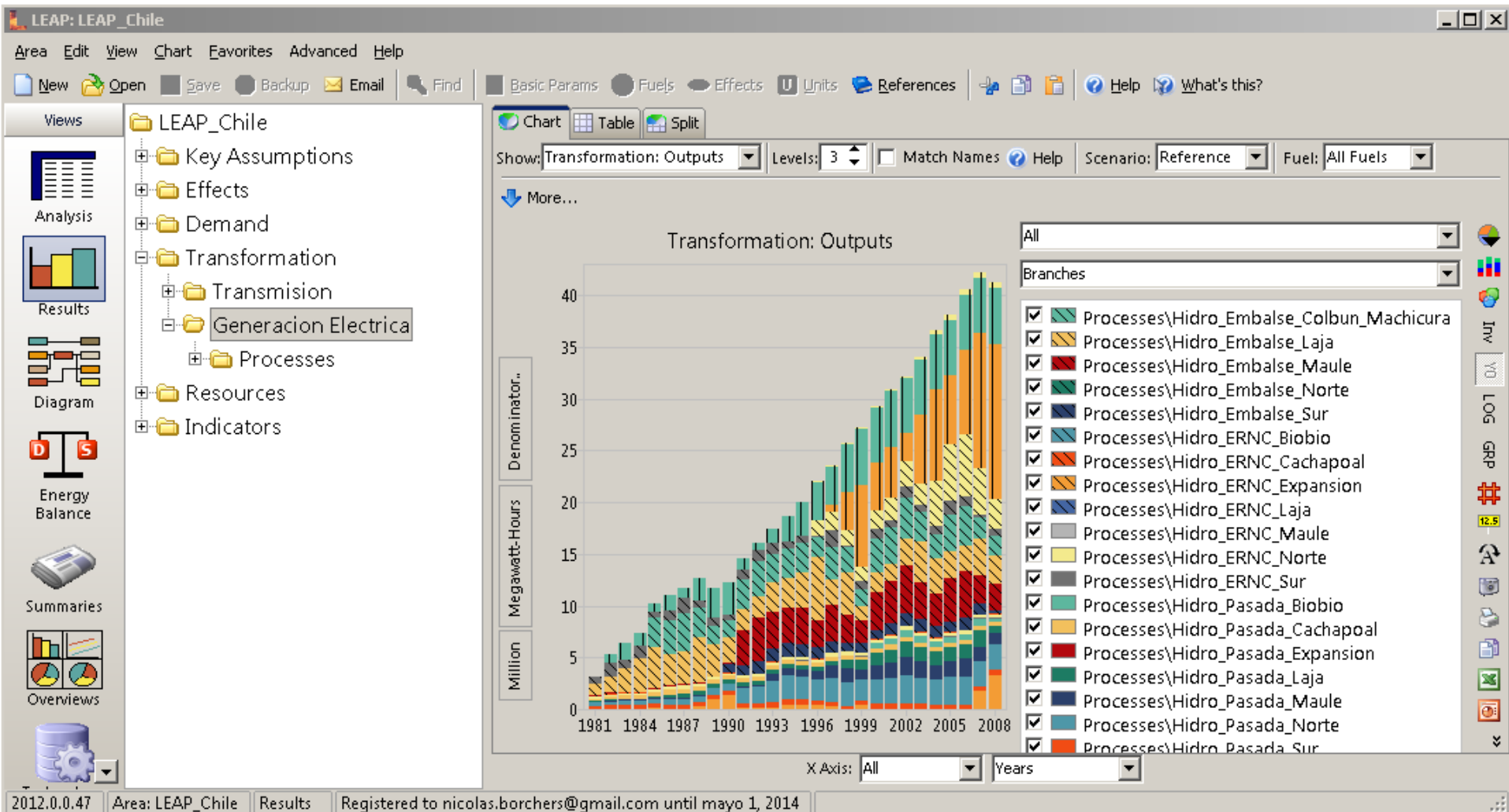
Fuentes: Informe Diario a la CNE, CDEC-SIC

Generación Mensual de Energía, CDEC-SING

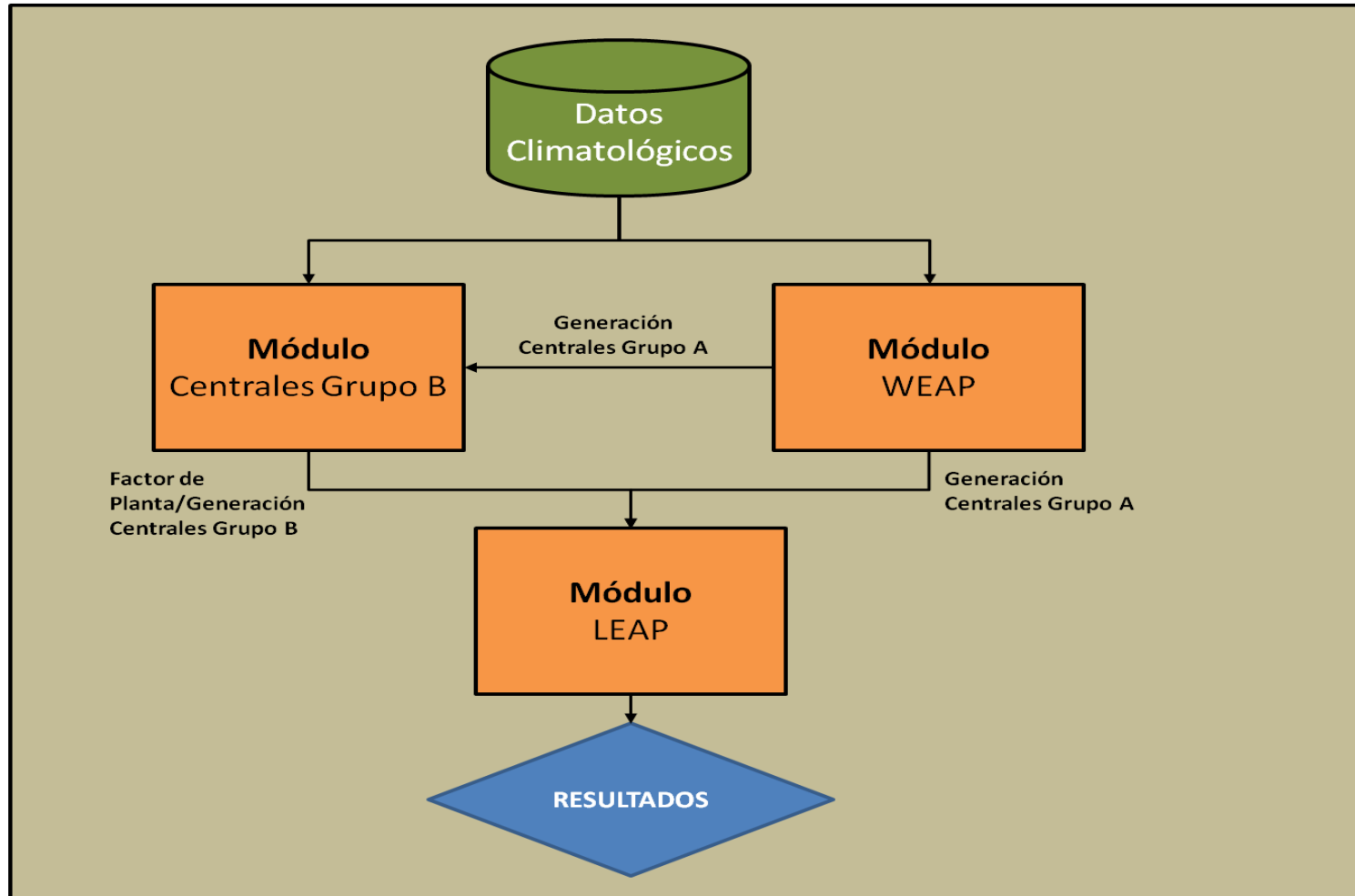
# Modelación en WEAP



# Modelación en LEAP

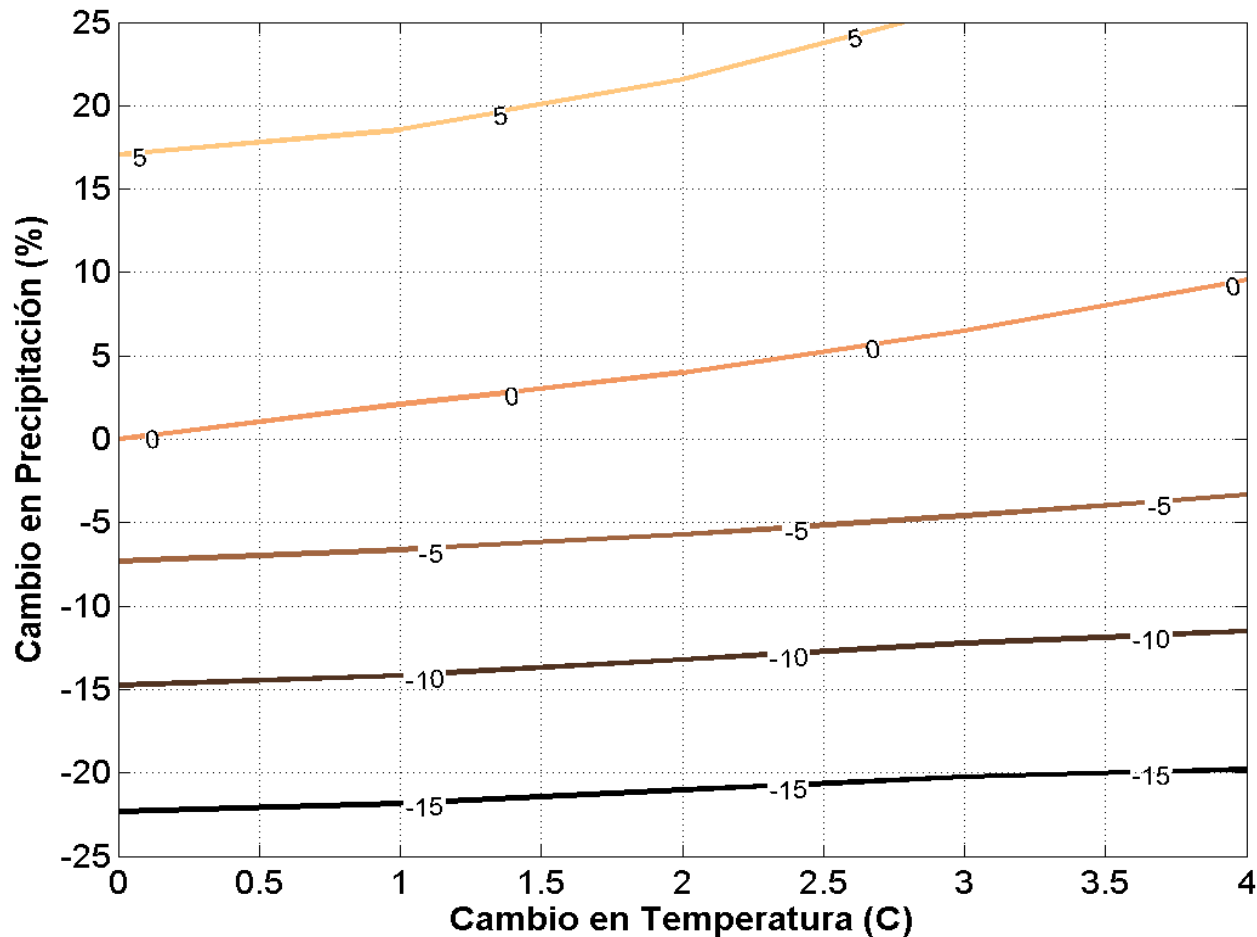


# Esquema Funcionamiento Modelo Integrado



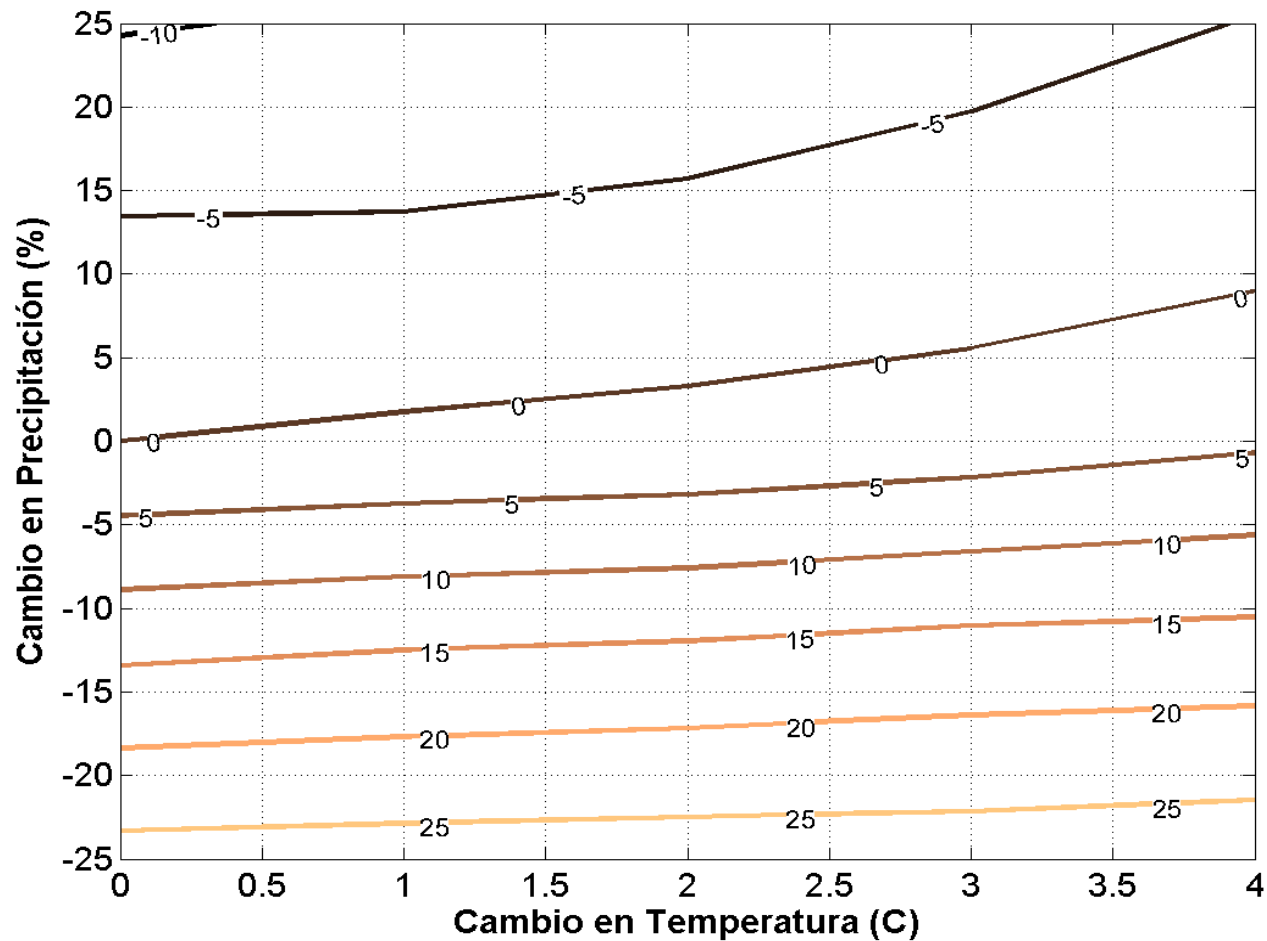
Fuente: Elaboración Propia

# Resultados – Variación Generación Hidráulica según cambios en T y Pp.



Fuente: Elaboración Propia

# Resultados – Variación Emisiones GEI según cambios en T y Pp.



Fuente: Elaboración Propia



# North and South America



# Water Storage and Delivery System



Federal  
State  
Local

**Supply** in North and East  
**Demand** in South and West

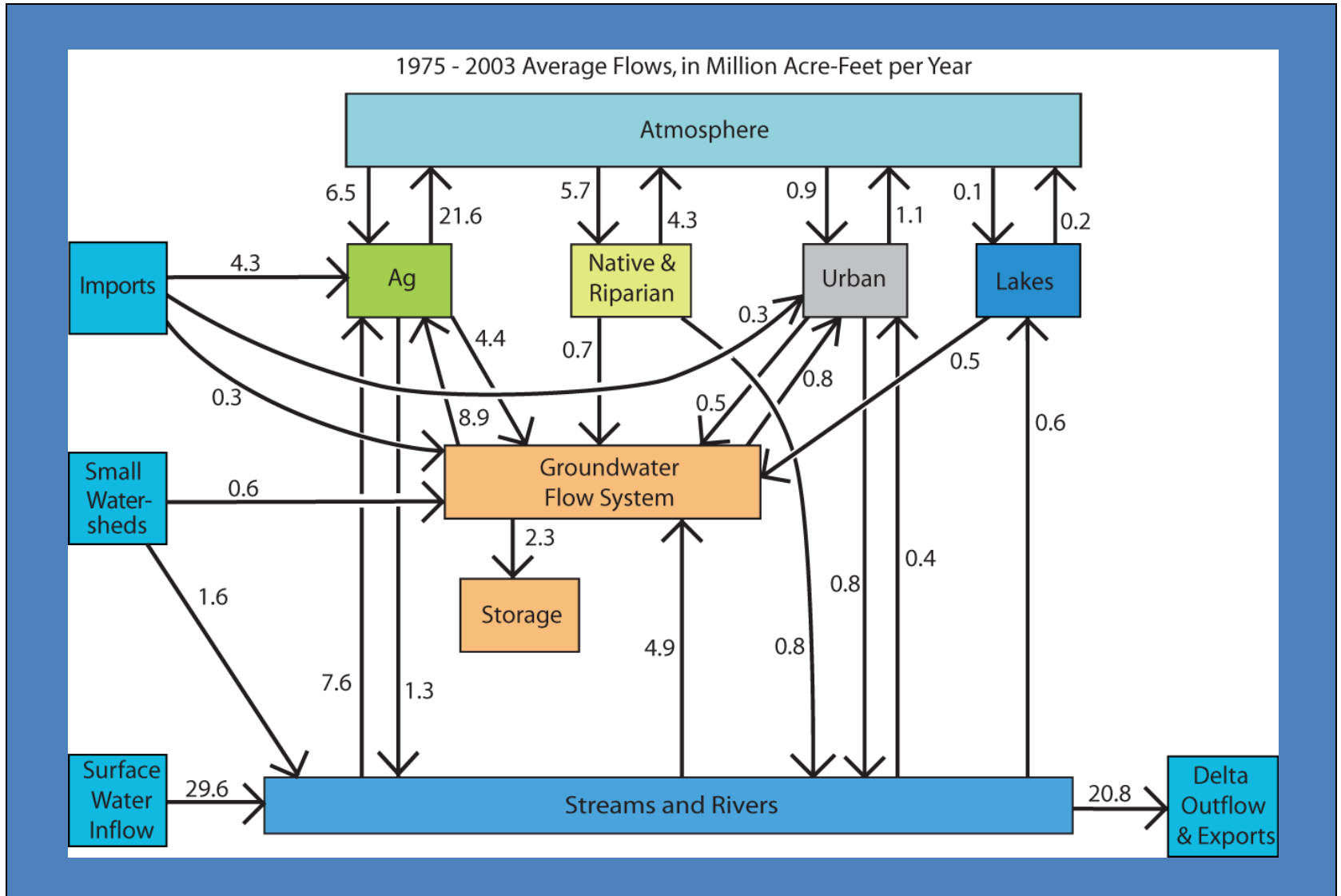
Moderately-sized reservoirs  
Store winter precipitation as Sierra  
snowpack

Complex east-west and  
north-south distribution  
system combining rivers,  
canals and storage reservoirs

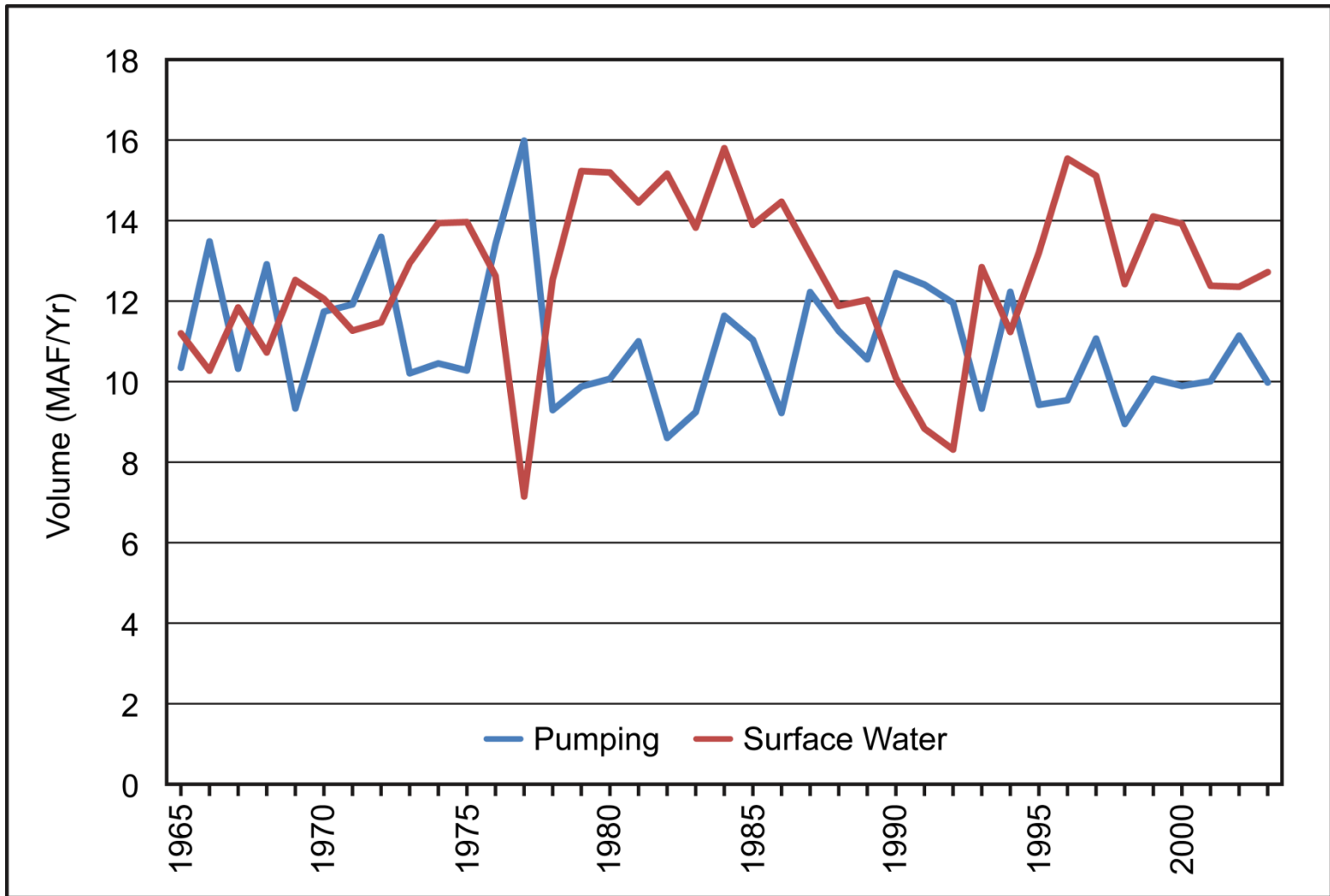
# California's Central Valley

- **55,000 sq. km. (20,000 sq. mi.)**
- **25 MAF/yr surface water discharge**
- **Agricultural Production**
  - 6.8 million acres (27,500 sq. km)
  - 10% of US crops value in 2002
- **Population growth**
  - 1970: 2.9 million
  - 2005: 6.4 million
- **Pumping**
  - ~9 MAF in 2002, or 13% of US pumping
  - Not measured or regulated

# Water Budget



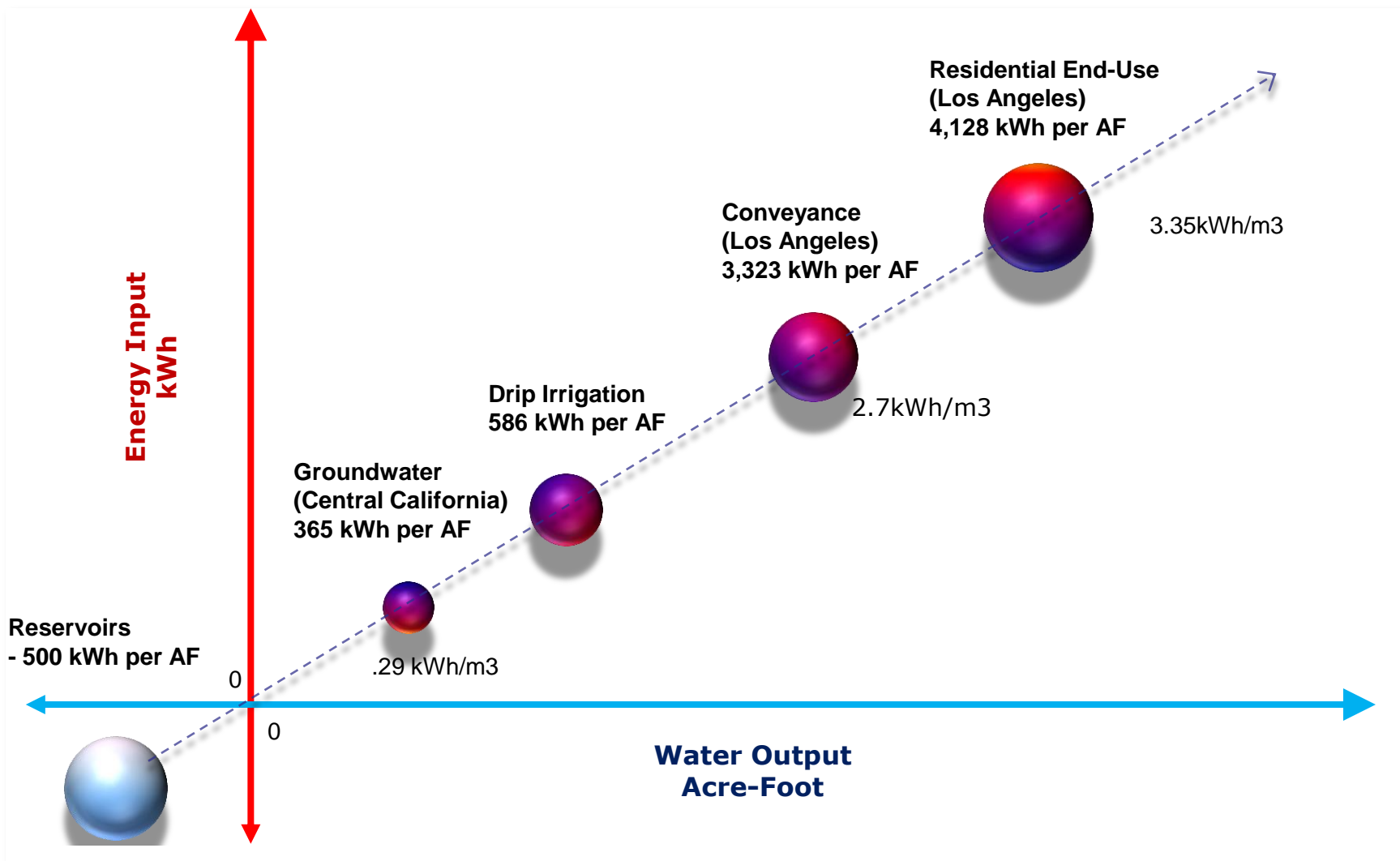
# Pumping and Surface Water





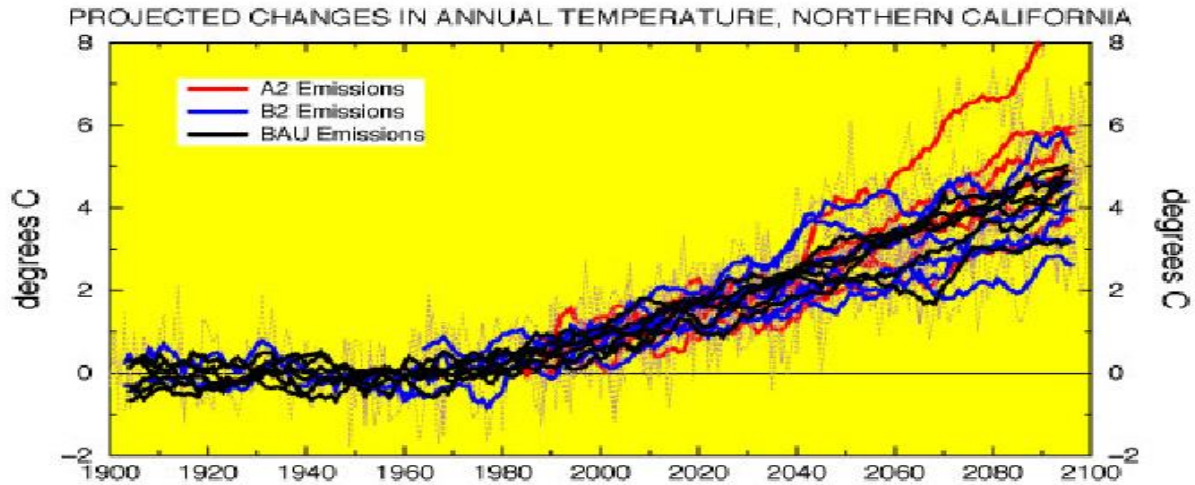
# Historical Energy Water Management in CA

## Cheap Energy to Supply Water

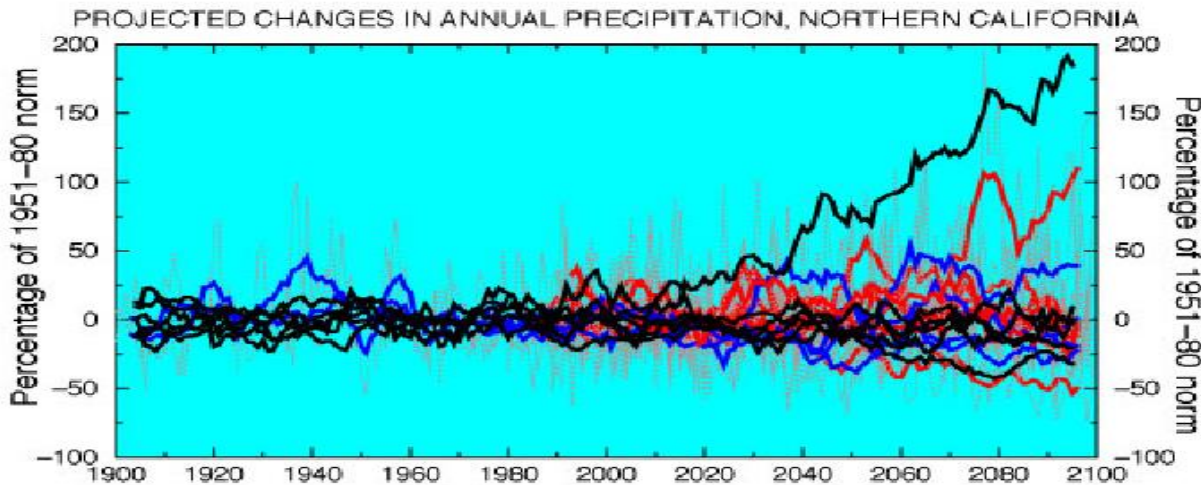


Source: Bulletin 160-2000, CA Department of Water Resources  
Navigant Consulting. "Refining Estimates of Water Related Energy Use in California." California Energy Commission.  
CEC 500-2006-116. 2006.

# Climate projections



Clearly warmer



Not certain about precipitation



# Research Issues

## The 'stationarity' assumption

Changes to surface water availability and variability

Physical infrastructure, population, economics

## Climate change impacts

Changes to water supply<sup>1</sup>

Impacts on hydropower<sup>2</sup>

Impacts on agriculture<sup>3</sup>

Strategies for adapting to these changes<sup>4</sup>

Impacts on groundwater

1. [Emissions Pathways, Climate Change, and Impacts on California](#). K. Hayhoe, D. Cayan, C. Field, P. Frumhoff, E. Maurer, N. Miller, S. Moser, S. Schneider, K. Cahill, E. Cleland, L. Dale, F. Davis, R. Drapek, M. Hanemann, L. Kalkstein, J. Lenihan, C. Lunch, R. Neilson, S. Sheridan, J. Verville. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2004.
2. [Climate Change Impacts on High Elevation Hydropower Generation in California's Sierra Nevada: A Case Study in the Upper American River](#). S. Vicuna, R. Leonardson, W. M. Hanemann, L.L. Dale, and J.A. Dracup. *Climatic Change* (2008)
3. [Climate Change Impacts on Water for Agriculture in California: A case study in the Sacramento Valley](#). B. Joyce, S. Vicuna, L. Dale, D. Purkey, M. Hanemann, J. Dracup, D. Yates, *Climatic Change*. In press. June 2007.
4. [Basin Scale Water Systems Operations under Climate Change Hydrologic Conditions: Methodology and Case Studies](#) Sebastian Vicuna, John Dracup, Jay Lund, Larry Dale, Ed Mauer. *Water Resources Research*. February, 2009

# Project 1. Statewide problem.

## Research Questions

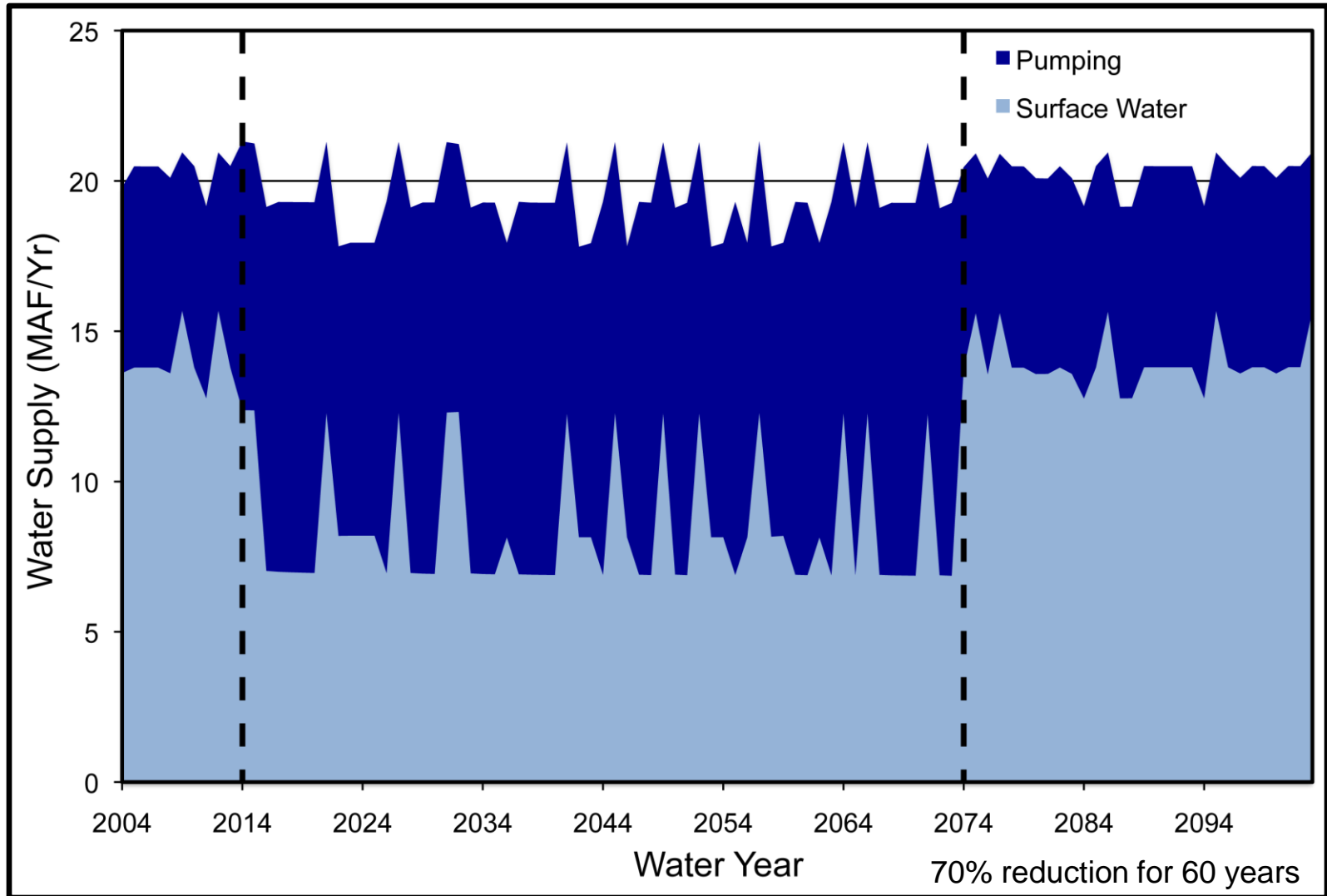
How sensitive are groundwater levels to climate-dependent inputs and groundwater pumping?

Will the surface water-groundwater system reach a new equilibrium after extended surface water reductions?

To what extent will changes in cropping patterns reduce impacts on groundwater levels?

How will changes in energy prices and bio-fuel crop acreage impact groundwater levels?

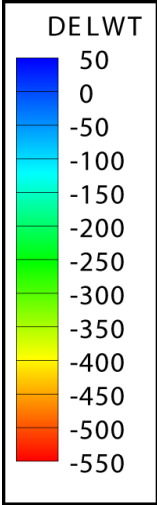
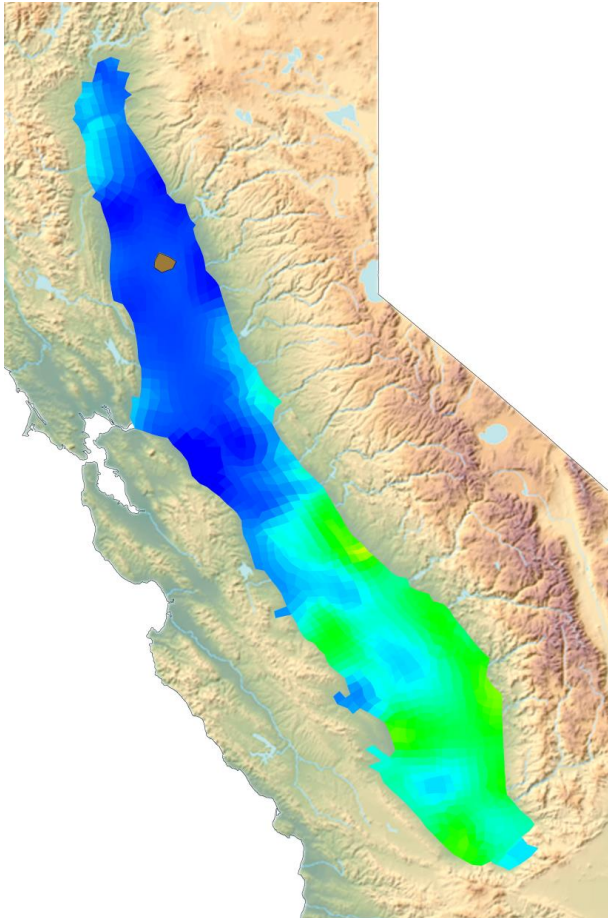
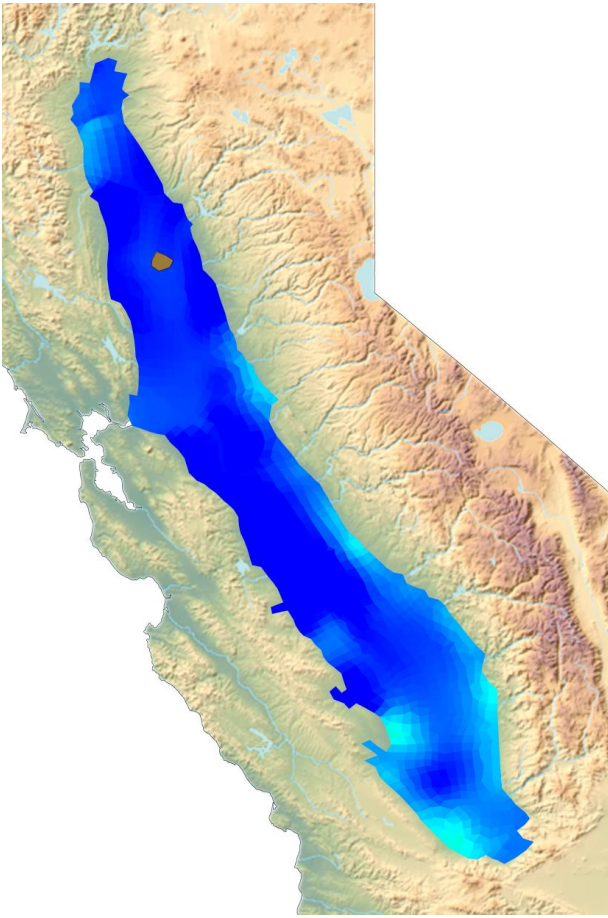
# Water Sources



# Relative Water Level Change

30% for 10 years

70% for 60 years



Relative WT Change (Feet)

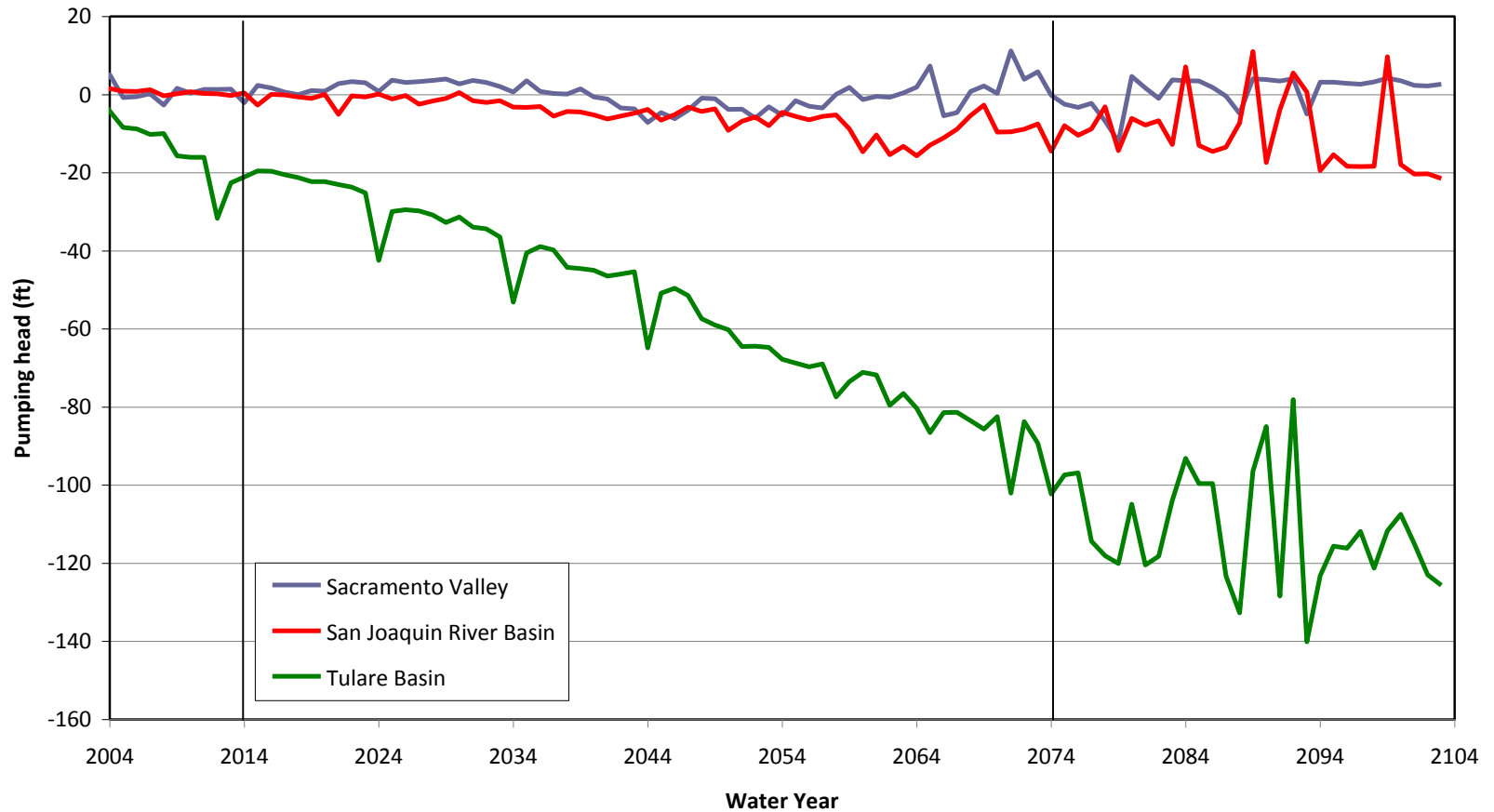
# Water Use

## Fixed and Adjustable-Crop Simulations



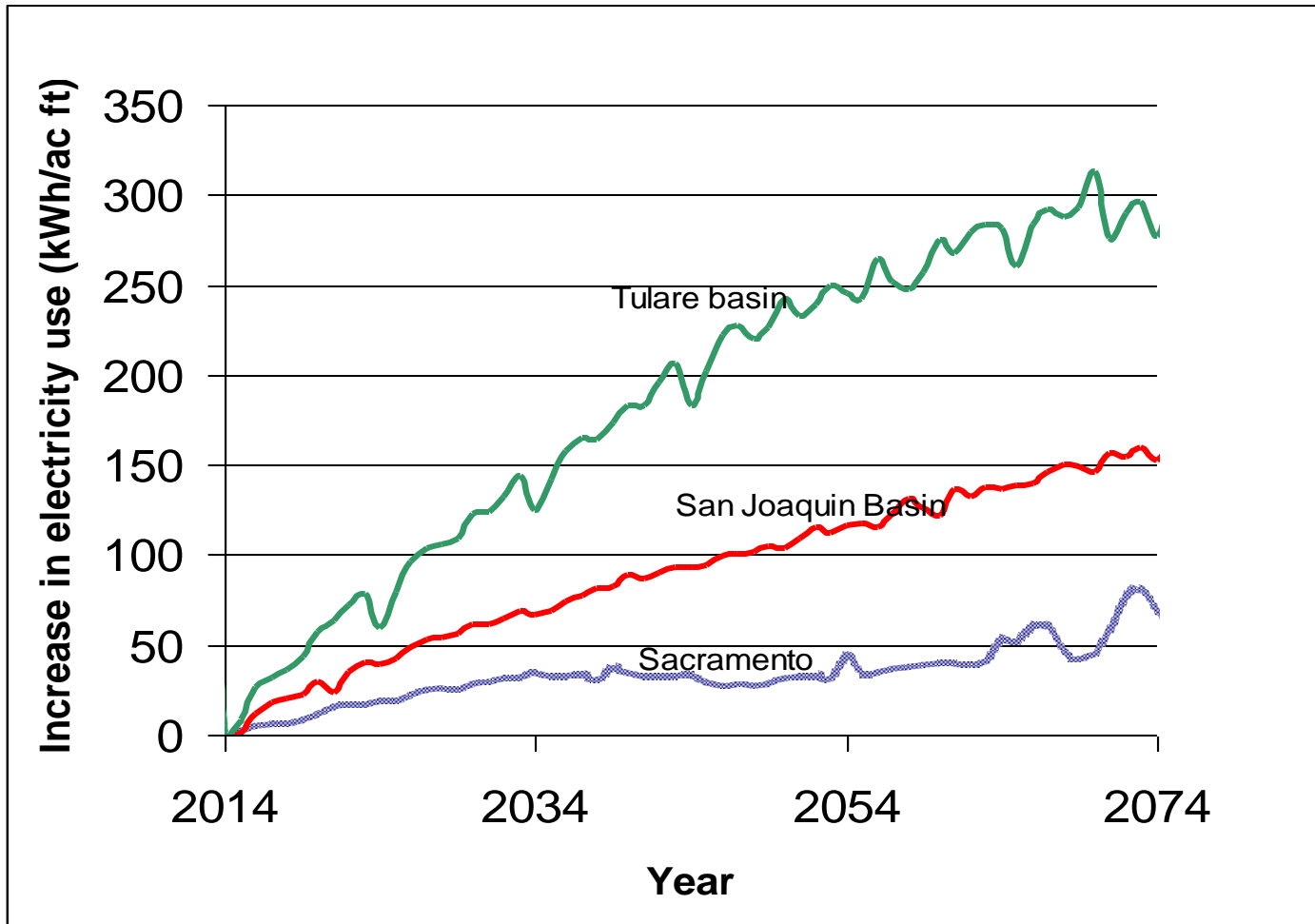
# Difference in Pumping Head

Fixed-Crop and Adjustable-Crop Simulations



# Drought Impact on Electricity Use

Rise in groundwater electricity cost (kWh/ac ft)



# Project 2. Basin-wide problem.

## Research Questions

Determine the water-energy nexus in an “almost” closed system – the American River basin

Determine how the linkages between water and energy are sensitive to changes in climate

Determine different water and energy management strategies and their trade-offs

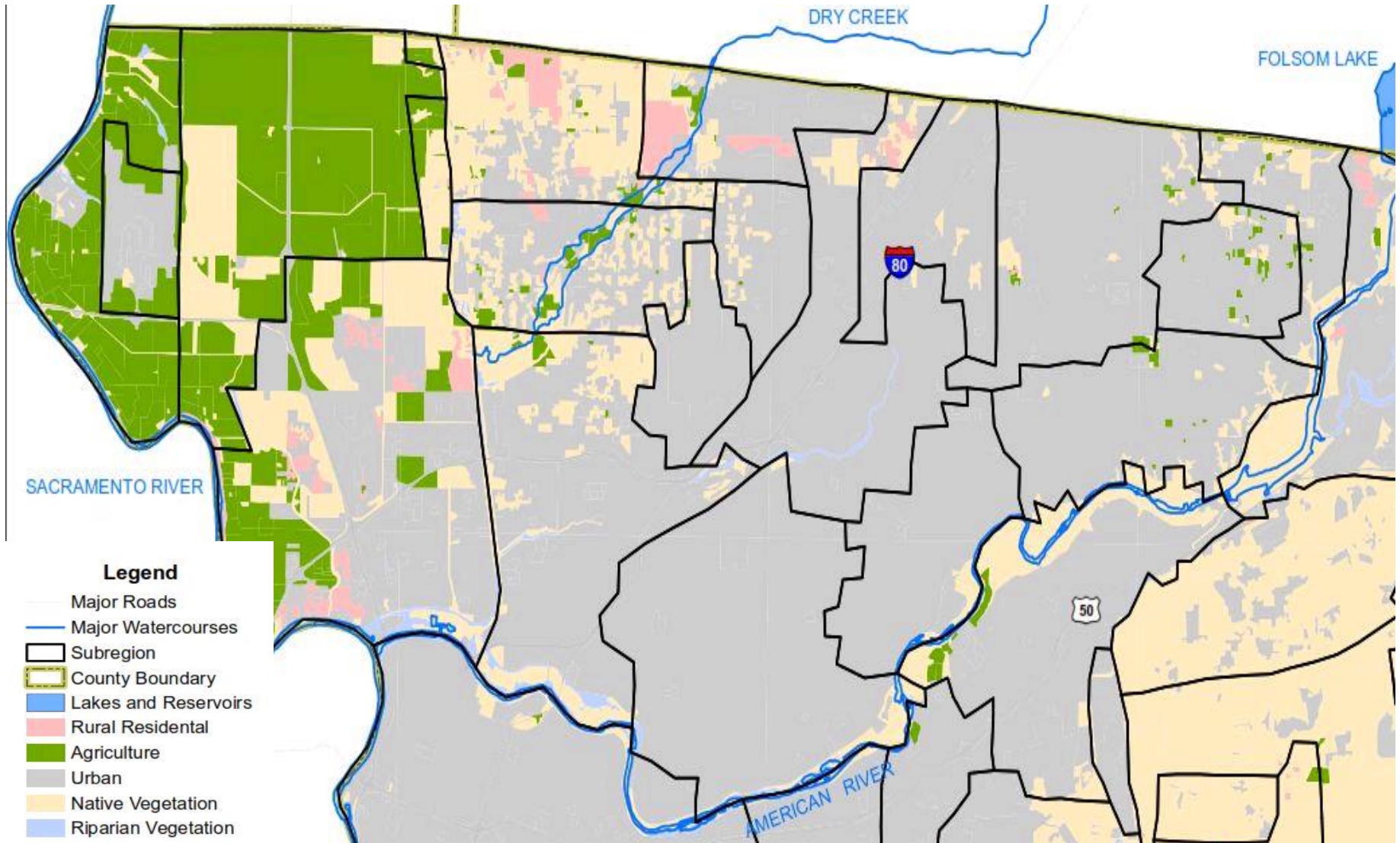


# The American River



# Sacramento Area Land-Use

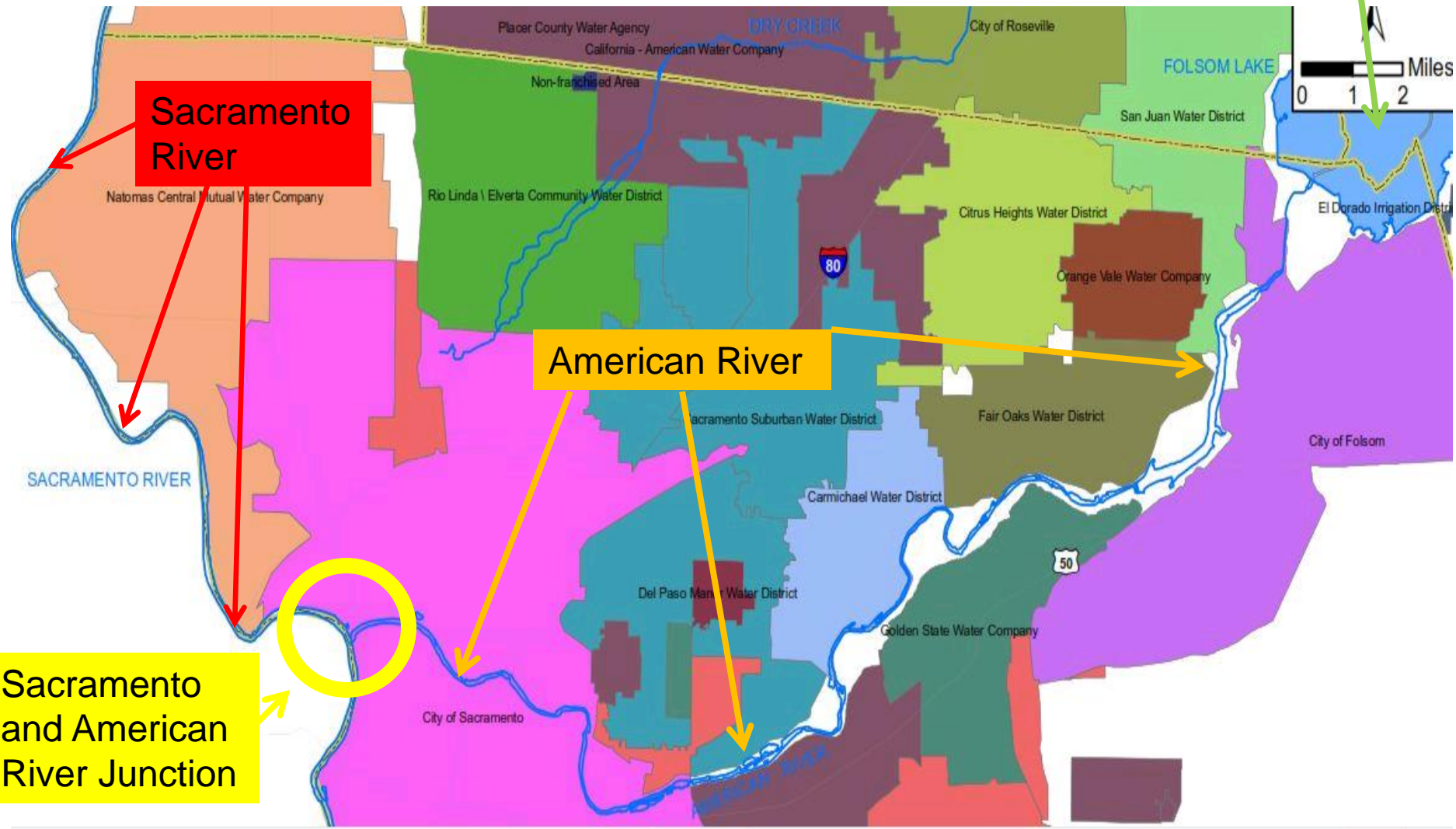
## Area of Study



# Area of Study

## Water Purveyors of Sacramento Area

Folsom Reservoir





# WEAP-LEAP Data Requirements

## Climate-Driven Changes to Water-Energy

### WATER DATA

#### Demand

- Water Customer Profile (RWA utility billing data)
  - Aggregate Monthly Water Use by Customer Class (RWA utilities, for residential, commercial, industrial, **Power sector**)

#### Supply

- Water Use & Electricity Load Profile (SMUD billing data combined with water utility water use, kWh per mil gal)
  - Pumping Loads
    - Amt of Water Processed
    - Amt of Electricity Consumed
  - Treatment water and electricity use (estimate?)

### ENERGY DATA

#### Demand

- Energy Customer Load Profile
  - Electricity Use by Customer Class (SMUD users, for residential, commercial, industrial, **water utility**)

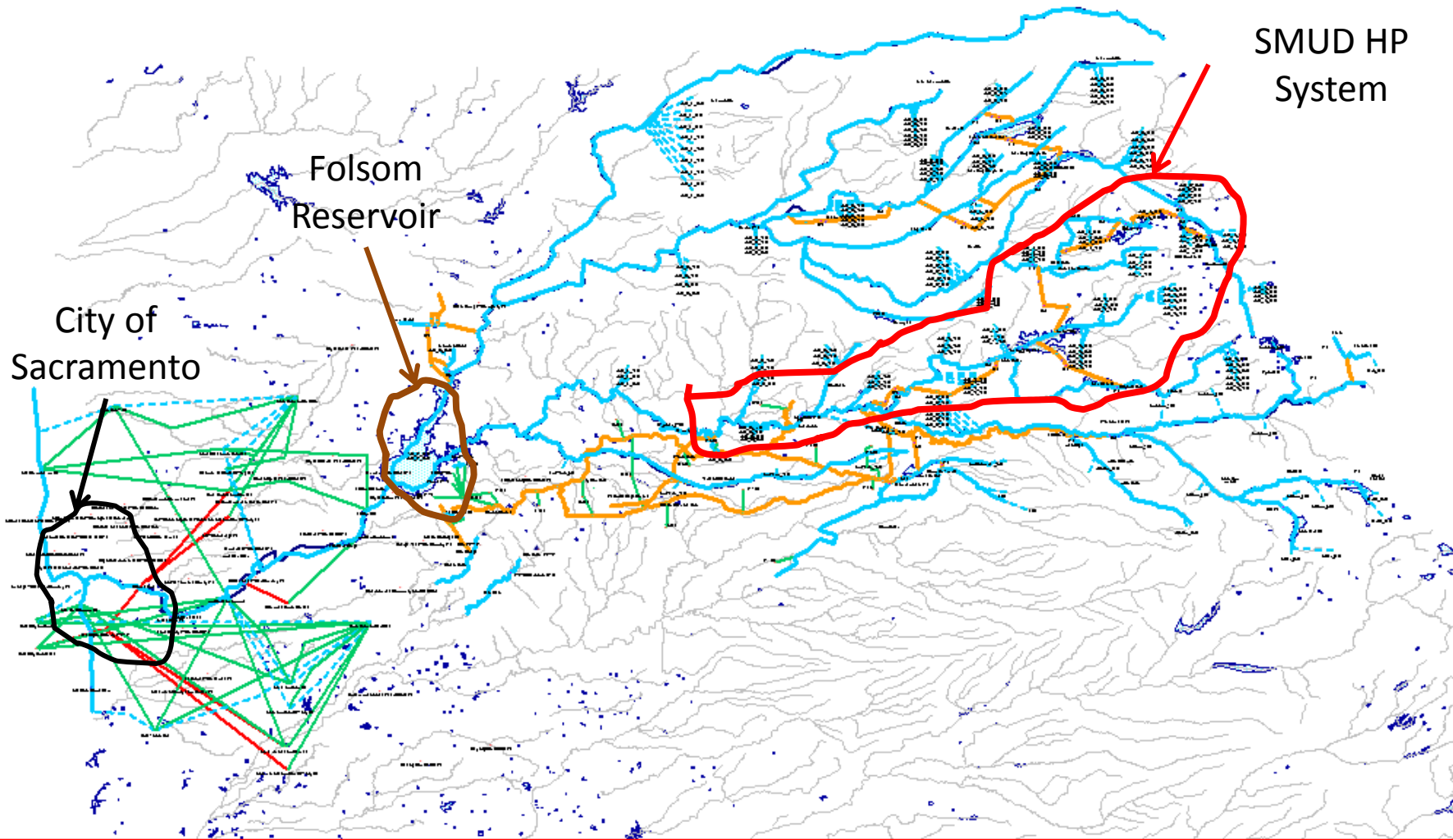
#### Supply

- Electricity Supply Load Profile
  - Hydropower Generation and Release Schedule (million gal/kWh)
  - Thermal generation
  - Purchased power

SMUD HP  
System

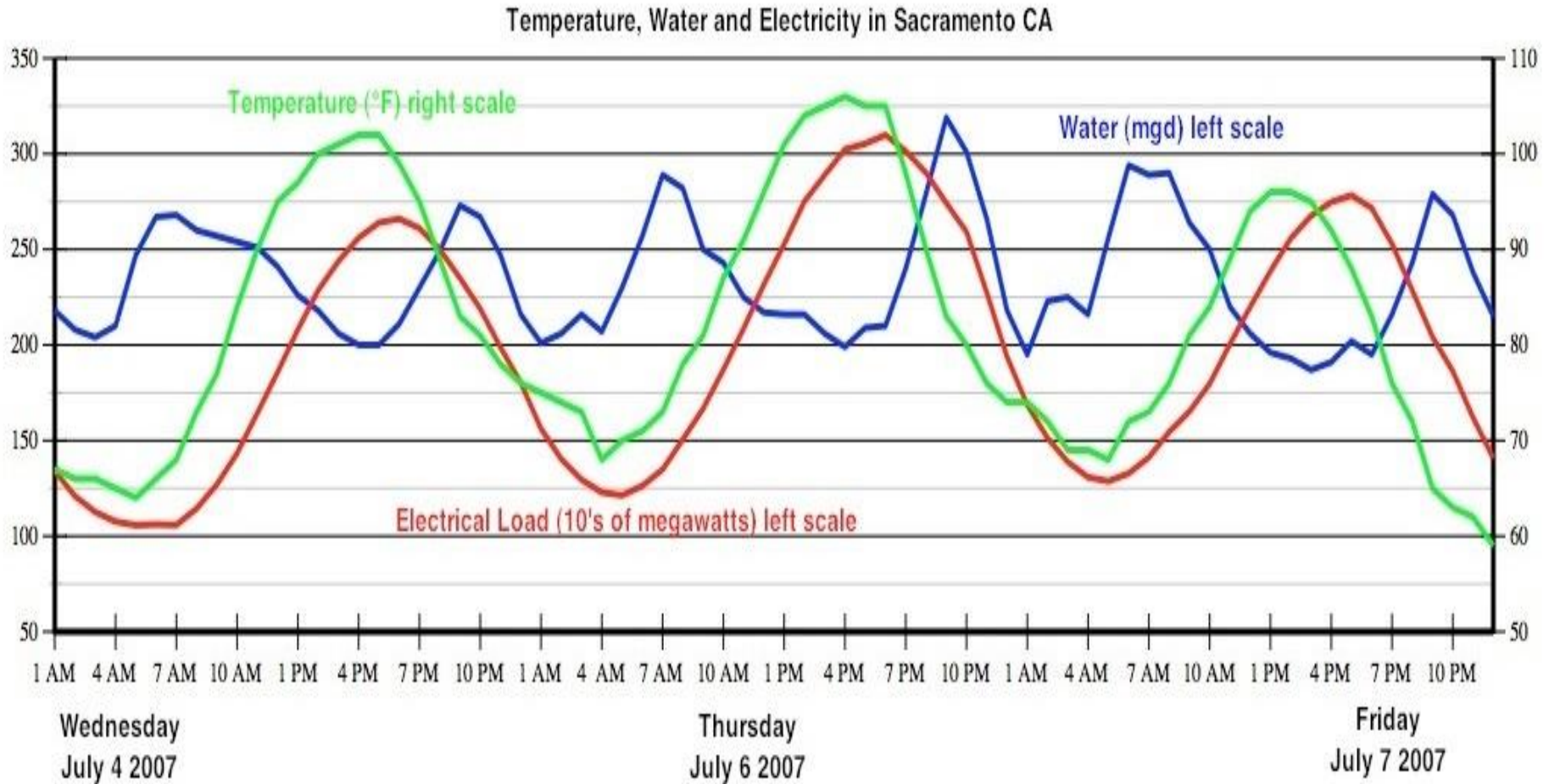
Folsom  
Reservoir

City of  
Sacramento



# Data Requirements

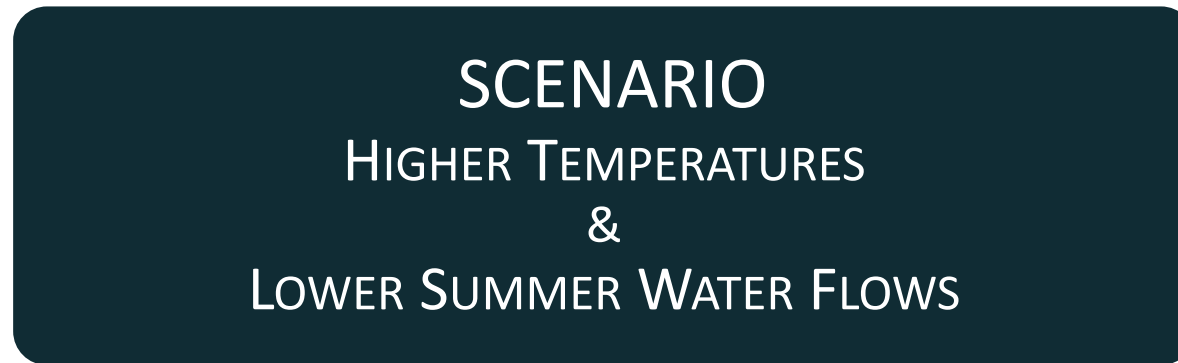
## Climate-Driven Changes to Water-Energy



City of Sacramento Water Demand (Million Gallons per Day)  
SMUD Total Hourly Electrical Load (10's of Megawatts)  
Temperature at the Sacramento Airport (Degrees Farenheit)

# WEAP-LEAP Scenario Analysis

## Climate Scenario, System Impacts and Management Responses



### IMPACT ON WATER

1. Higher Summer Demand
2. Lower Groundwater Levels
3. Higher Prices

### IMPACT ON ENERGY

1. Constrained Hydropower
2. Higher Cooling Demand (AC)
3. More Groundwater Pumping
4. Higher Prices





# Evaluate Scenarios

## Streamflow and pumping

- Stream Flow:

Change Rainfall	Change Temperature		
	0	2	4
-15%	-28%	-31.5%	-35%
0%	0%	-4.4%	-9%
15%	45%	40.1%	35%

- Urban Pumping:

Change Rainfall	Change Temperature		
	0	2	4
-15%	1.3%	3.1%	5.3%
0%	0%	1.5%	2.8%
15%	-1.5%	-0.1%	1.3%

# Evaluate Mitigation Options

## GHG Emissions

- Clean Imports:

Change Rainfall	Change Temperature		
	0	2	4
-15%	-0.1%	-0.8%	-2.1%
0%	0.0%	-0.1%	-0.03%
15%	-2.8%	-0.4%	-0.2%

- Thermal Imports:

Change Rainfall	Change Temperature		
	0	2	4
-15%	3%	5.7%	10%
0%	0%	1.9%	6%
15%	0%	-1.7%	3%

# Conclusion

- Water Energy interactions
  - Pervasive energy to supply water link
  - More region specific water to supply energy link
- Climate change impact on energy and water prices
  - Helps determine direction of adaptive response
- Modeling efforts to explore
  - Size of energy and water linkages
  - Impact of climate change on linkages
  - Management options