

**Extracción del agua subterránea en México:
Análisis de escenarios con un modelo económico inter-regional**

Carlos A. López-Morales

24 de Octubre 2012

IV Encuentro Universitario del Agua. Posgrado de la Facultad de Economía

Instituto Global para la Sostenibilidad, ITESM-ASU

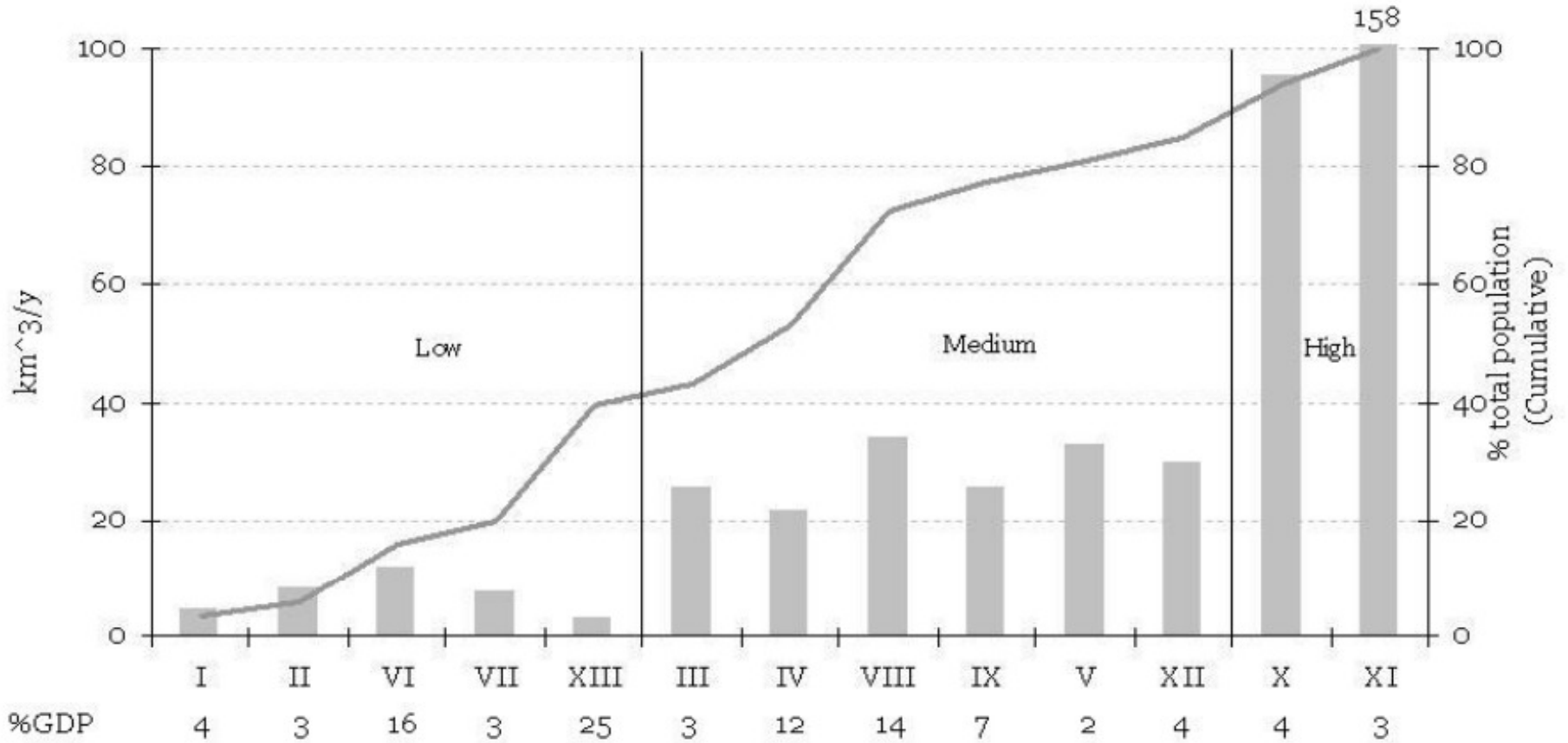
Contenido

- 1. Revisión de la situación del agua en México**
- 2. La explotación por uso, por región y por fuente**
- 3. Objetivos de la modelación económica**
- 4. Escenarios y resultados**

Regiones hidrológico-administrativas



Desajuste entre disponibilidad y extracción



N  S

Agua



**Actividad
económica /
Población**

El análisis regional muestra un problema de escasez

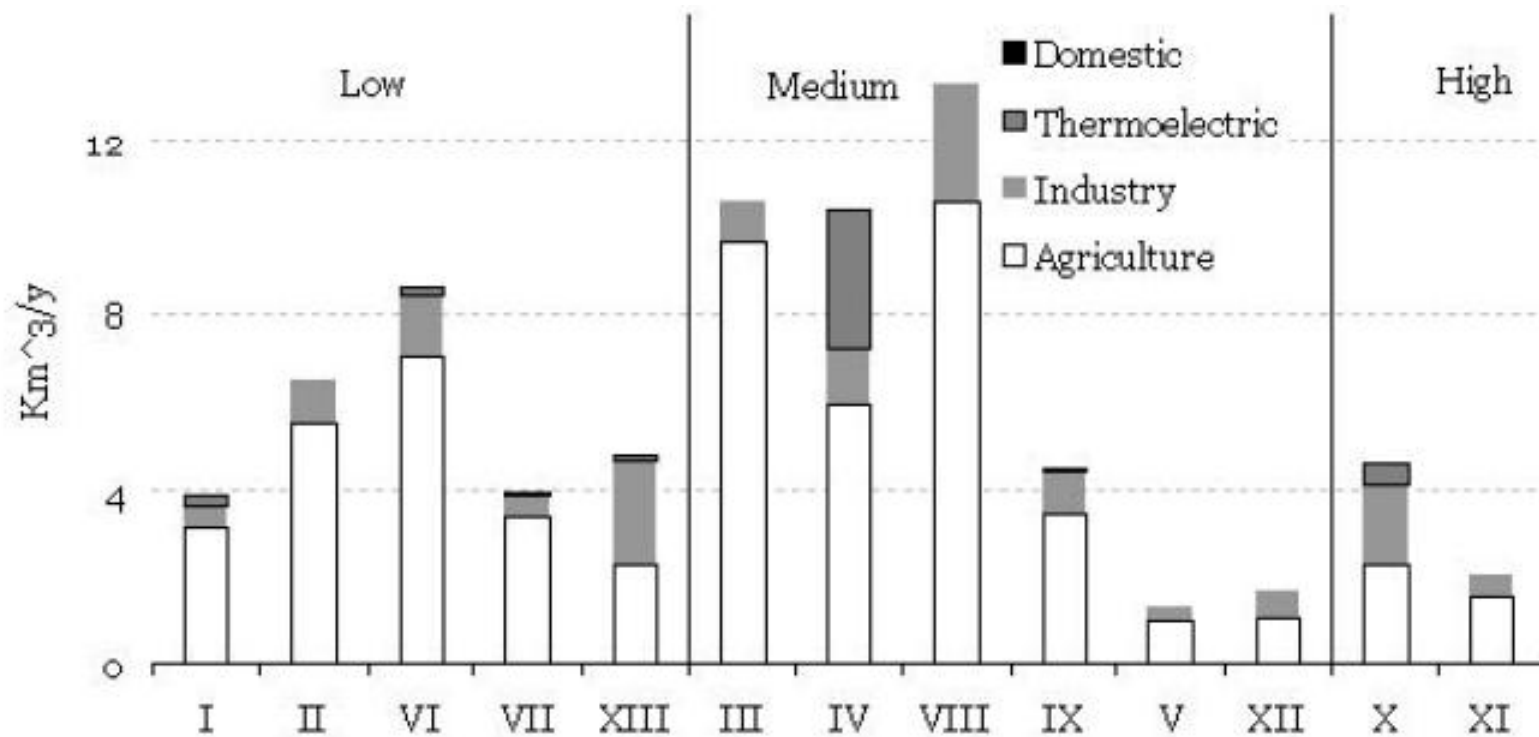
Table 1.2: Mexico: renewable supply, GDP distribution, total uses, and WEI per hydrological-administrative region

Region	Availability Group	Share in GDP %	Renewable Supply km ³	Total uses km ³	WEI
XI	high	3	158	2.1	.01
X	high	4	95	4.9	.05
V	medium	2	33	1.3	.04
XII	medium	4	30	2.1	.07
IX	medium	7	25	4.7	.19
III	medium	3	27	10.4	.39
VIII	medium	14	34	13.9	.41
IV	medium	12	22	10.8	.49
VII	low	3	8	3.8	.47
I	low	4	5	3.5	.70
VI	low	16	12	9.2	.77
II	low	3	8	7.6	.95
XIII	low	26	3	4.7	1.57
National			428	78.1	
Method 1					0.17
Method 2					0.47

Note: Numbers do not add up to totals due to rounding. Regions ordered by increasing WEI among availability groups.

Source: Based on data from CNA (2008a).

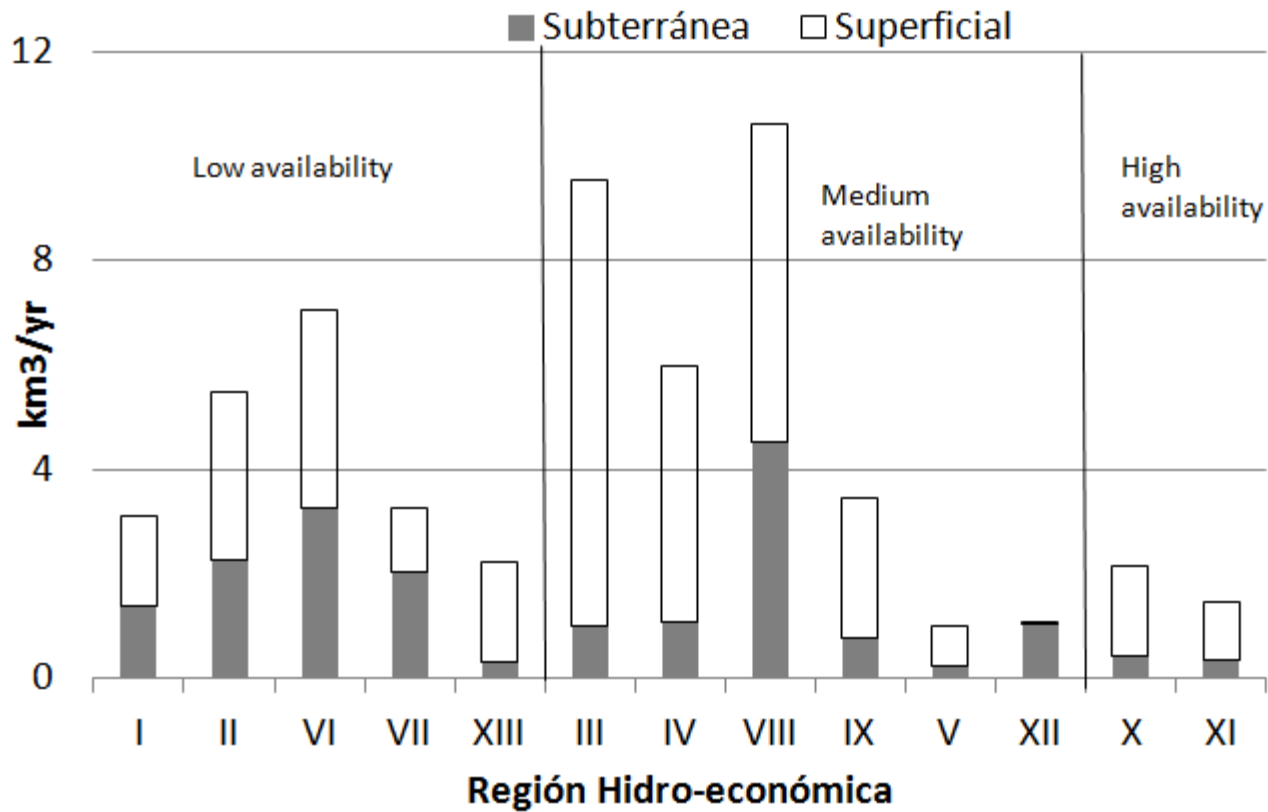
El uso agrícola reclama la mayor parte de las extracciones en todas las regiones (2008 data):



- **Nacional:**

- **Agricultura de irrigación : 70% de extracción total**
- **Industria y servicios : 23%**
- **Generación termoeléctrica: 5%**
- **Consumo en hogares: 2%**

Agua para irrigación por fuente y por región



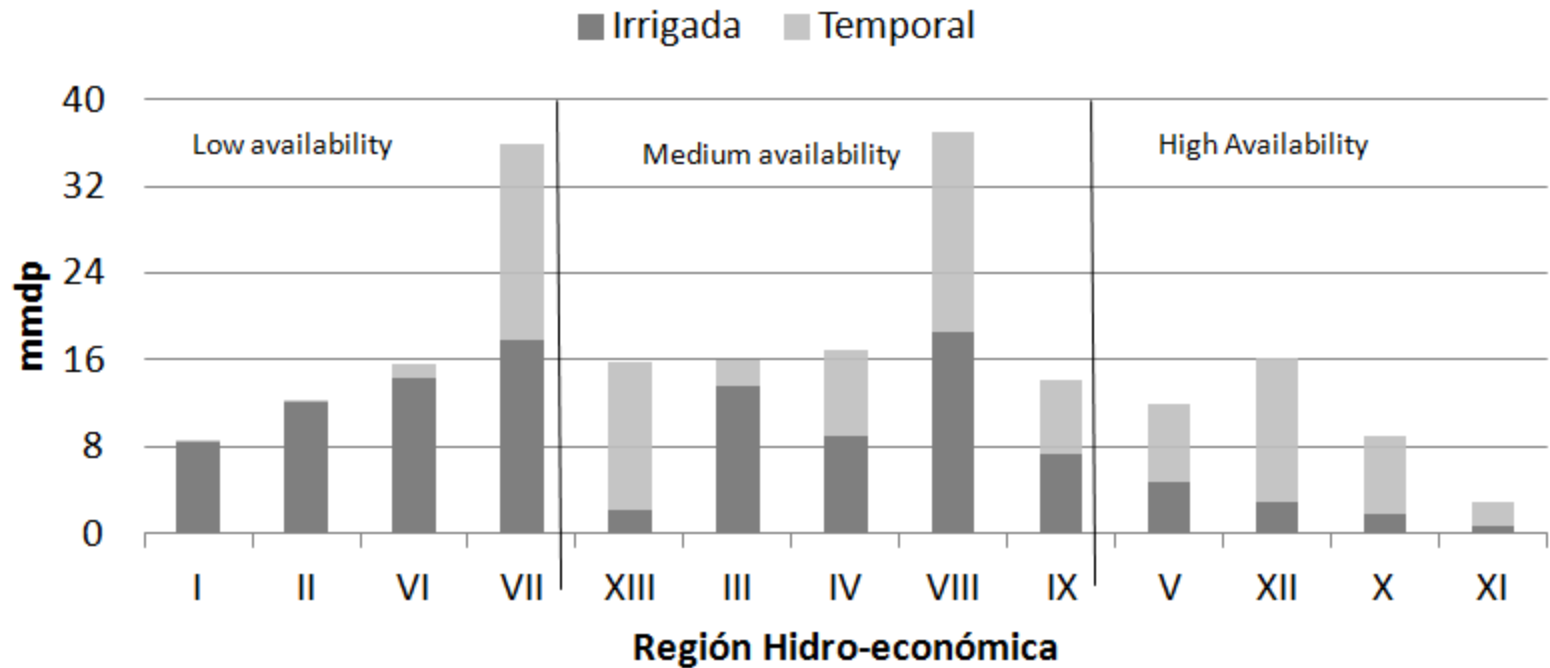
Nacional:

Subterránea: 33%

Superficial: 67%

Producto agrícola por tipo de agricultura y por región

Producto agrícola por tipo de agricultura



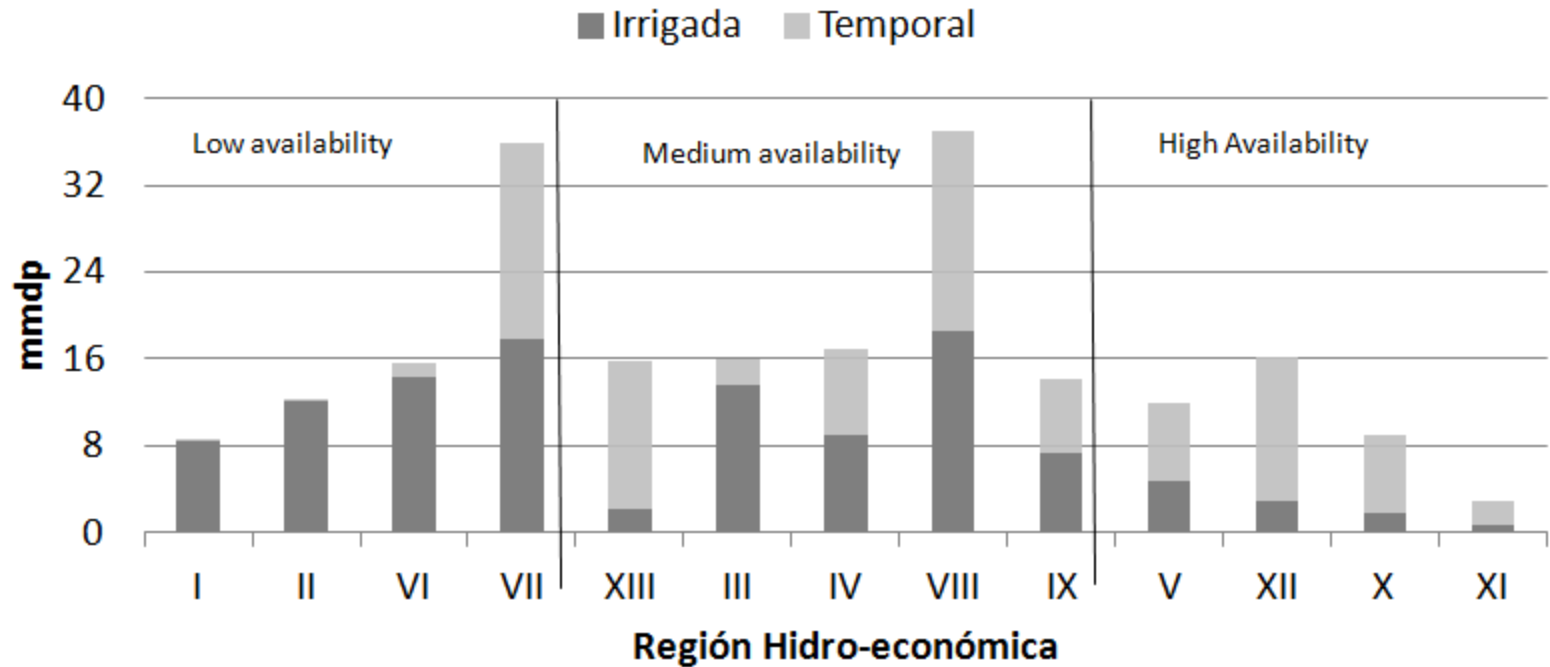
Nacional:

Irrigado: 53%

Temporal: 47%

Producto agrícola por tipo de agricultura y por región

Producto agrícola por tipo de agricultura



Nacional:

Irrigado: 53%

Temporal: 47%

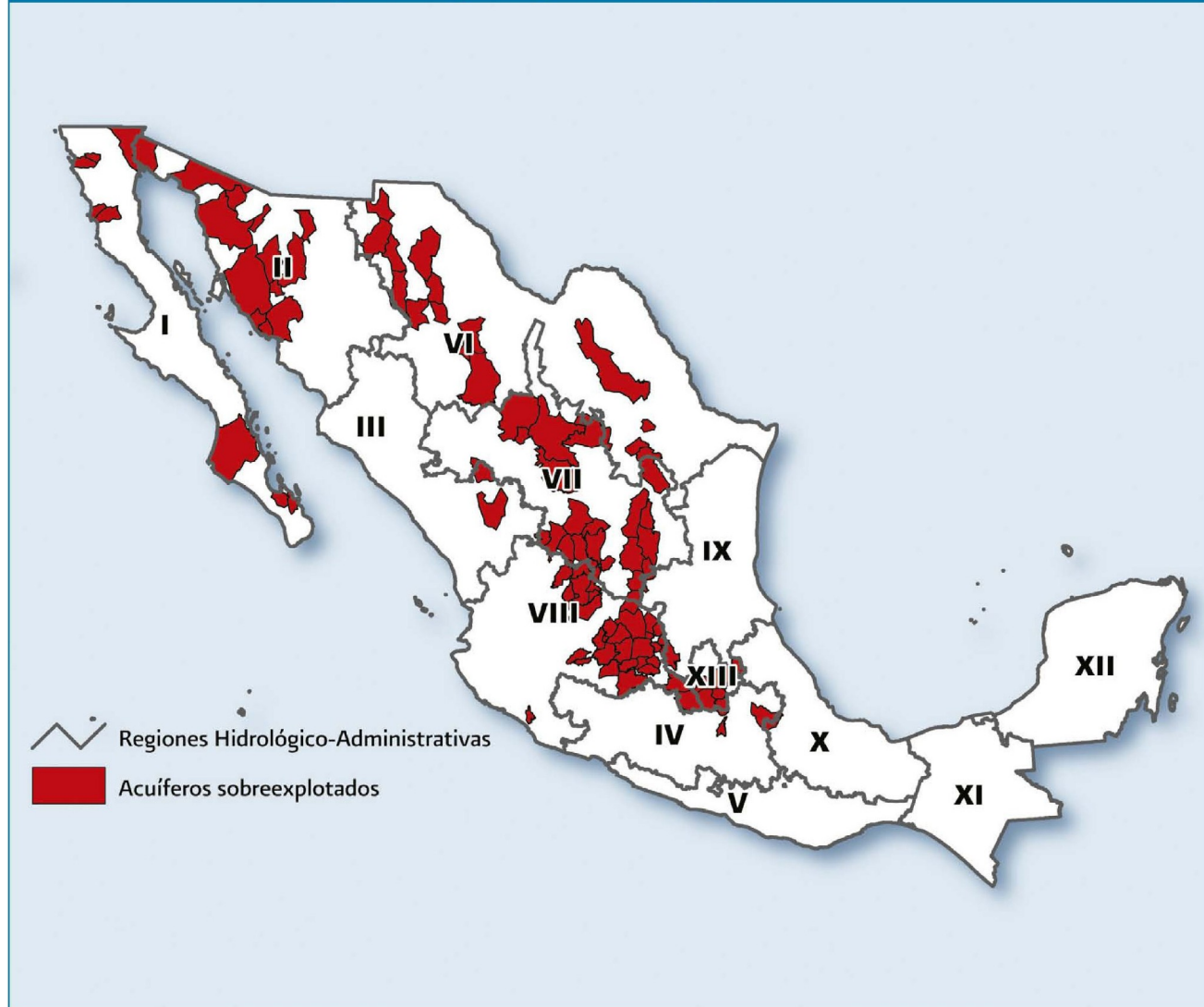


35% del PIB agrícola se obtiene con agua superficial.

18% del PIB agrícola se obtiene con agua subterránea.

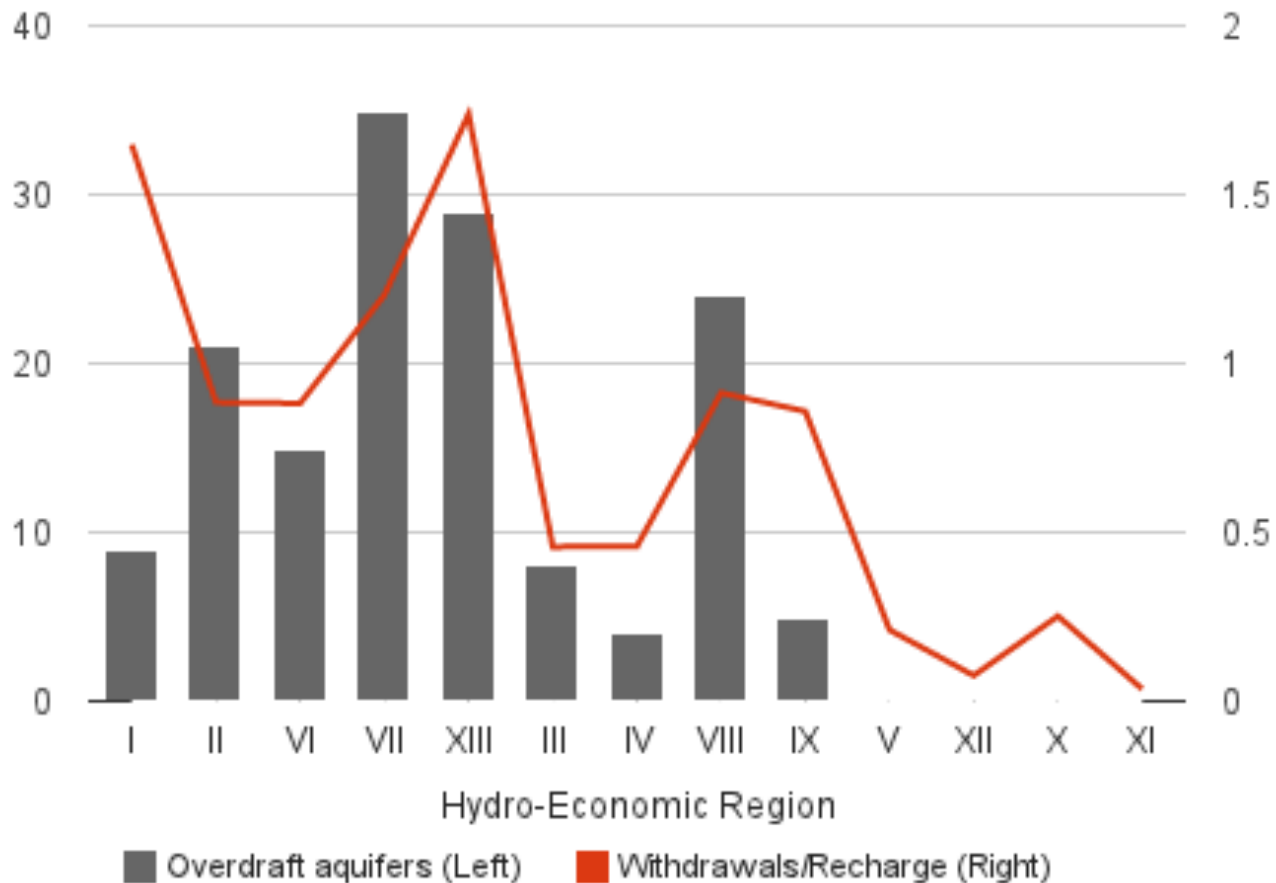
¿Cómo se manifiesta la escasez?

M2.8 Acuíferos sobreexplotados por Región Hidrológico-Administrativa, 2008



¿Cómo se manifiesta la escasez?

Acuíferos sobreexplotados y relación extracción/recarga por región hidro-económica

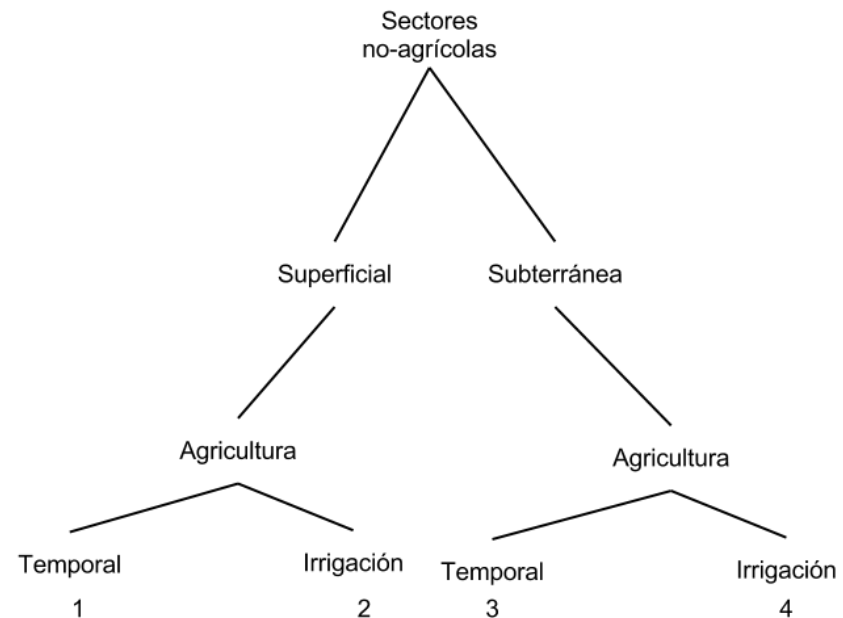


Objetivos de la modelación económica

- **Representar la dependencia económica a la disponibilidad regional de agua**
- **Representar las diferencias entre el uso agrícola, el uso industrial, y el uso doméstico (repercute sobre costo de oportunidad)**
- **Representar la relación entre uso y disponibilidad de agua y de tierra agrícola**
- **Representar el proceso de adopción tecnológica con base en la escasez relativa de los insumos**
- **Representar escenarios de restricción de extracciones a nivel regional por motivos de sustentabilidad**
 - **Requerimientos ecosistémicos de agua superficial**
 - **Tasa de recarga de acervos subterráneos**

Modelo inter-regional, multi-sectorial, multi-factorial de la economía mexicana

- 15 sectores (basados en la matriz insumo-producto)
- 13 regiones hidro-económicas
- 6 factores de la producción (tierra irrigada, tierra no-irrigada, trabajo, capital, agua superficial y agua subterránea)
- 4 opciones tecnológicas por cada región



Modelo inter-regional, multi-sectorial, multi-factorial de la economía mexicana

$$\text{Min } Z_p = \sum_{m=1}^{13} \sum_{l=1}^4 \pi'_m \mathbf{F}_m^l \mathbf{x}_m^l$$

Subject to :

$$\sum_{m=1}^{13} \sum_{l=1}^4 (\mathbf{I} - \mathbf{A}_m^l) \mathbf{x}_m^l \geq \mathbf{y}$$

$$\sum_{l=1}^4 \mathbf{F}_m^l \mathbf{x}_m^l \leq \mathbf{f}_m; \forall m$$

$$\mathbf{x}_m^l \geq \mathbf{0}; \forall m, \forall l$$

$$\text{Max } Z_D = \mathbf{p}' \mathbf{y} - \sum_{m=1}^{13} \mathbf{r}'_m \mathbf{f}_m$$

Subject to :

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A}'_m) \mathbf{p} - \mathbf{F}'_m \mathbf{r}_m \leq \mathbf{F}'_m \boldsymbol{\pi}_m$$

$$\mathbf{p} \geq \mathbf{0}; \mathbf{r}_m \geq \mathbf{0}, \forall m$$

Modelo primal: (Asignación)

Minimizar Costos de producción a nivel nacional

Sujeto a:

Satisfacer demanda final

Disponibilidad regional de los factores

Modelo Dual: (Valuación)

Maximizar el valor de la demanda final neto de rentas de escasez

Sujeto a:

Precio unitario de los bienes finales no mayor al costo de los factores evaluados por rentas de escasez

Mecanismos de ajuste ante restricciones de agua subterránea

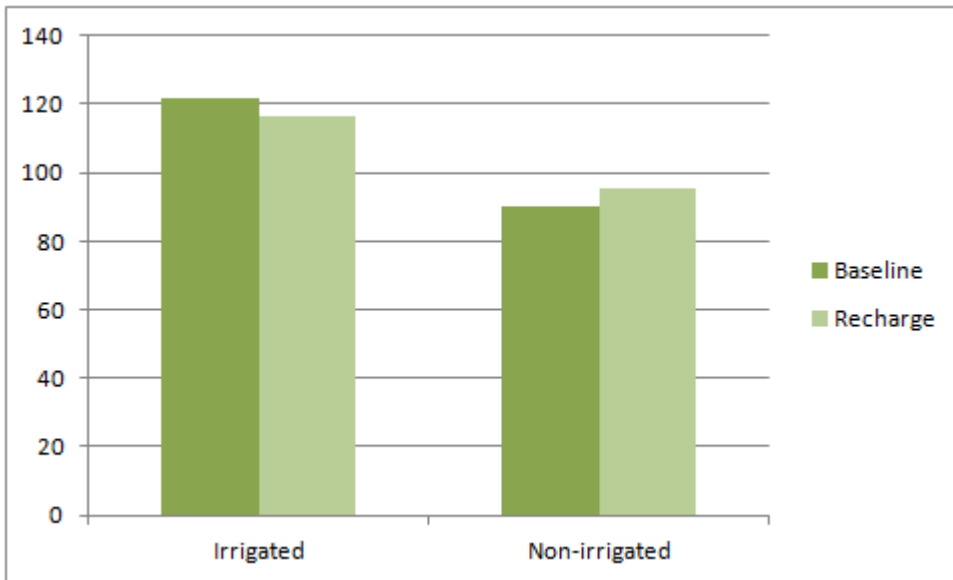
2 mecanismos esperados:

- **Sustituir extracciones subterráneas por superficiales**
- **Sustituir agricultura de irrigación por de temporal**

2 escenarios modelados:

- **Línea base: ausencia de restricciones a extracción subterránea (status-quo, BAU)**
- **"Recarga": limitar las extracciones subterráneas en cada región por las tasas de recarga subterráneas regionales**

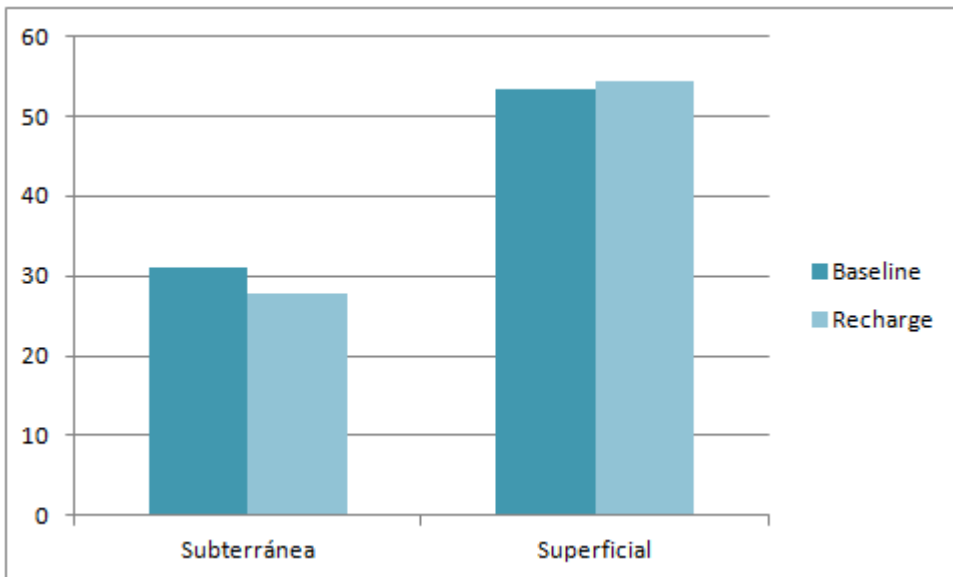
Resultados



Mecanismo de ajuste 1:

El producto agrícola irrigado cae en 5 mmdp (4%) y el no-irrigado aumenta en ese monto (6%).

Se sustituye agricultura de irrigación por agricultura de temporal.



Mecanismo de ajuste 2:

Las extracciones subterráneas caen 3 km³/año, y las superficiales aumentan 1 km³/año.

La diferencia se explica por el uso más intensivo de agricultura de temporal

Resultados

El uso más intensivo de la agricultura de temporal (en general menos eficiente) se traduce en un aumento de los precios agrícolas de 11%

	Sector	$\Delta\%$
1	Agricultura	1.11
2	Ganadería	1.02
3	Petróleo y gas	1.01
4	Minería	1
5	Electricidad	1.01
6	Construcción	1.02
7	Alimentos procesados	1.03
8	Manufactura ligera	1.02
9	Plásticos y químicos	1.01
10	Manufactura pesada	1.02
11	Comercio	1.04
12	Transporte	1.04
13	Servicios no-financieros	1.02
14	Servicios financieros	1.02
15	Otros servicios	1.04

Conclusiones

- **Existen dos mecanismos de ajuste ante las restricciones de agua subterránea**
 - **Se sustituye agricultura de irrigación por agricultura de temporal. Debido a los menores rendimientos de la segunda, se incorporan más hectáreas a la producción y se eleva el precio de los alimentos**
 - **Se sustituye agua subterránea con agua superficial, aunque el intercambio no es lineal debido al mayor uso de la agricultura de temporal**

¡Gracias!

- **Más información**

econecol.googlepages.com

- **En prensa:**

2012, Mecanismos de ajuste ante restricciones en el uso de agua subterránea en México: análisis de escenarios con un modelo económico inter-regional, *Natura@Economía* 1.

- **Contacto**

- **lopezc3@alum.rpi.edu**

- **Twitter: [@calm77](https://twitter.com/calm77)**

- **Blog: refutacionesyartificios.blogspot.mx**