

# SEMANA DEL AGUA EN LA PAZ

DE LA PROBLEMÁTICA A LAS SOLUCIONES.



**UABCS**

Universidad Autónoma de Baja California Sur



INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES  
**Niparajá**



CICIMAR-IPN

**CONAGUA**  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA



ECOLOGY PROJECT  
INTERNATIONAL

**OCAS** La Paz



ACCORABCS A.C.

CONSEJO DE INGENIEROS  
**ecOTECHNIAS**



Problemas en la determinación de la  
disponibilidad media anual del agua en  
los acuíferos de Baja California Sur

***Jobst Wurl***





El ciclo hidrológico

# Los acuíferos

**Son las únicas fuentes permanentes de agua en las regiones áridas y semiáridas, que ocupan alrededor del 50% del territorio nacional.**

# Ley de Aguas Nacionales

- **Acuífero:** Conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circula o almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

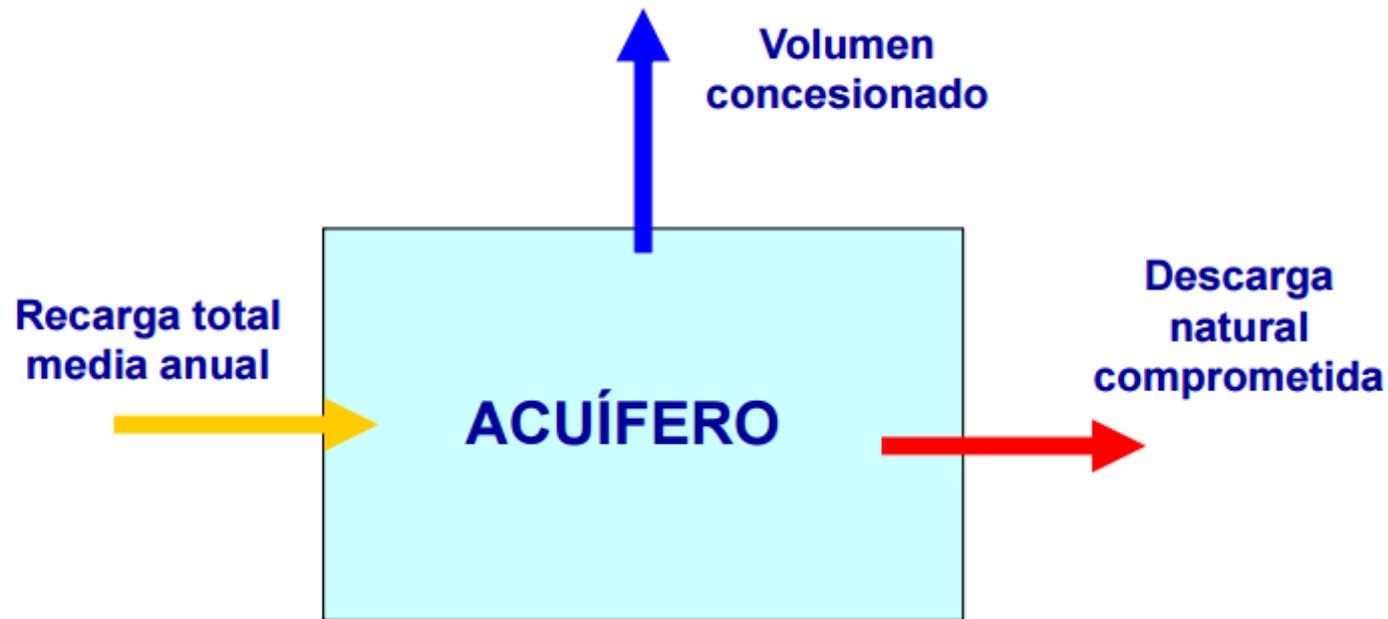
# NOM-011-CNA-2000

- Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2002.

# Ley de Aguas Nacionales

- **Disponibilidad media anual de aguas del subsuelo:**
- Es el volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de una unidad hidrogeológica para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

# Esquema de la determinación de la Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DAS).



$$\text{Disponibilidad de agua subterránea} = \text{Recarga total media anual} - \text{Descarga natural comprometida} - \text{Volumen Concesionado}$$



GOBIERNO FEDERAL  
SEMARNAT



conagua.gob.mx



Conócenos Marco Normativo Aguas Nacionales Programas Trámites y Servicios Cultura del Agua Sala de Prensa Transparencia

23 de Marzo del 2017

39

Acuífero	22	Disponibilidad	Recarga	DNCOM
0301 PUNTA EUGENIA		1,377363	3,3	1,8
0302 VIZCAINO		-0,298443	41,2	3,5
0303 SAN IGNACIO		-3,001242	9,2	4,3
0304 LA PURÍSIMA	17	-1,731734	9,5	9
0305 MEZQUITAL SECO		-0,163044	2,6	0,8
0306 SANTO DOMINGO		1,923188	188	10,4
0307 SANTA RITA		0,436749	3,2	2
0308 LAS POCITAS-SAN HILARIO		1,260612	4	0,3
0309 EL CONEJO-LOS VIEJOS		-0,220295	5,8	3,7
0310 MELITON ALBAÑEZ		-0,1355	2,5	0,4
0311 LA MATANZA		0,31462	5,1	2,6
0312 CAÑADA HONDA		0,321813	2,8	1,8
0313 TODOS SANTOS		1,18196	18,4	14,7
0314 EL PESCADERO		0,150814	8,2	5,1
0315 PLUTARCO ELIAS CALLES		0,02296	2,8	1,8
0316 MIGRIÑO		0,008	0,9	0,6
0317 CABO SAN LUCAS		-4,611382	2,7	2,2
0318 CABO PULMO		-0,68857	2,2	2
0319 SAN JOSÉ DEL CABO		-2,626013	35,9	10,8
0320 SANTIAGO		0,887397	24,5	4,6
0321 SAN BARTOLO		3,011625	10,9	6,9
0322 EL CARRIZAL		2,222419	14,2	0
0323 LOS PLANES		-3,889965	9,4	1
0324 LA PAZ		-1,218892	27,8	0
0325 EL COYOTE		-4,73524	3,2	2,7
0326 ALFREDO V. BONFIL		0,272906	2,4	0
0327 TEPENTU		1,094	3,8	2,7
0328 LORETO		2,524917	3,9	1,3
0329 SAN JUAN B. LONDO		-1,945272	6,7	1
0330 ROSARITO		0,22218	2,5	2,2
0331 BAHÍA CONCEPCIÓN		0,783976	5,7	4,9
0332 MULEGE		2,17438	10,1	3,3
0333 SAN MARCOS-PALO VERDE		-2,169205	1,7	0,5
0334 SAN BRUNO		-0,459015	1,1	0,4
0335 SAN LUCAS		-0,10657	0,5	0,4
0336 SANTA AGUEDA		-0,191036	6,1	5,9
0337 SANTA ROSALÍA		0,046636	0,9	0,8
0338 LAS VÍRGENES		1,437076	4,7	0
0339 PARALELO 28		1,40	5,4	4

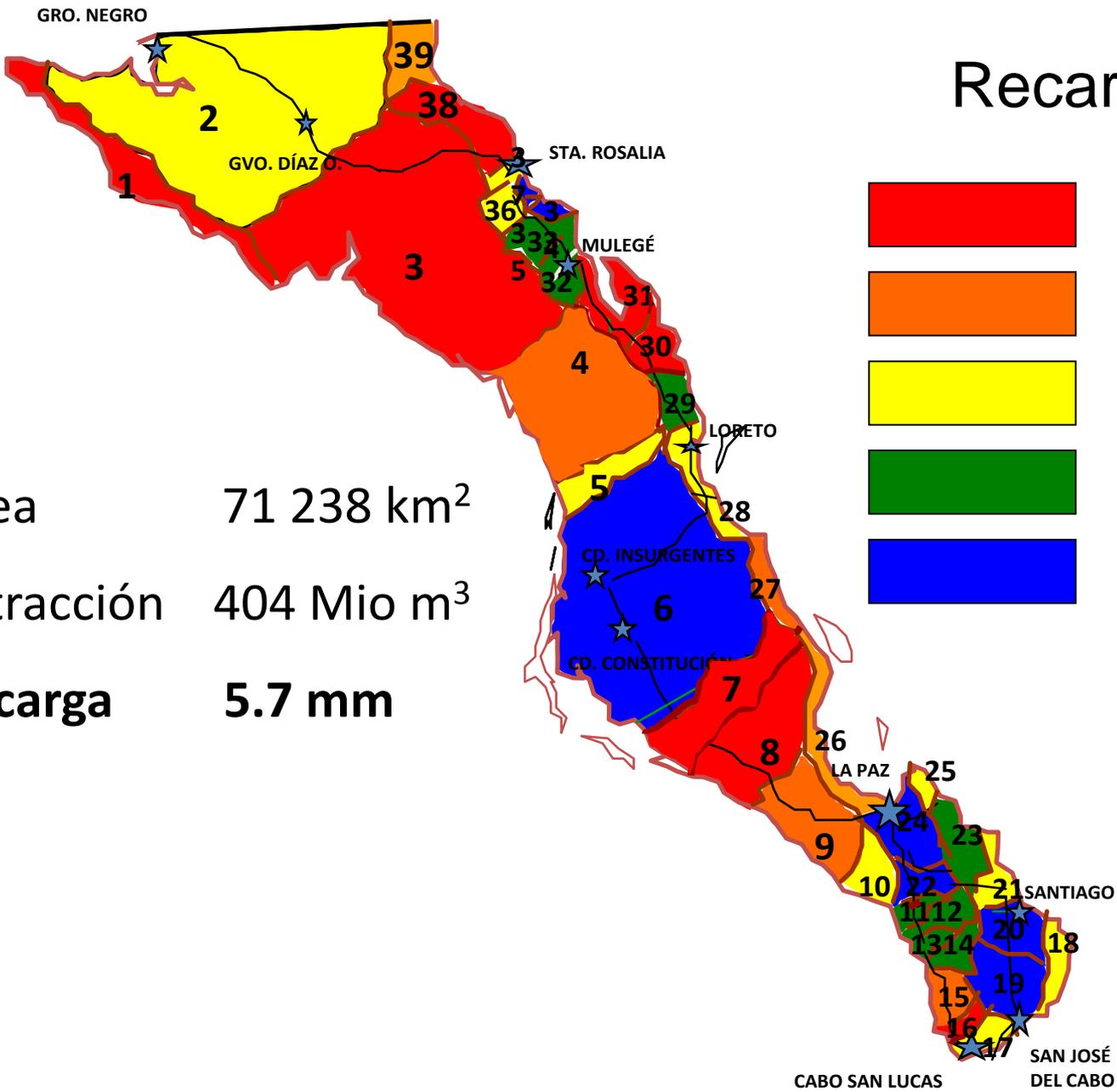
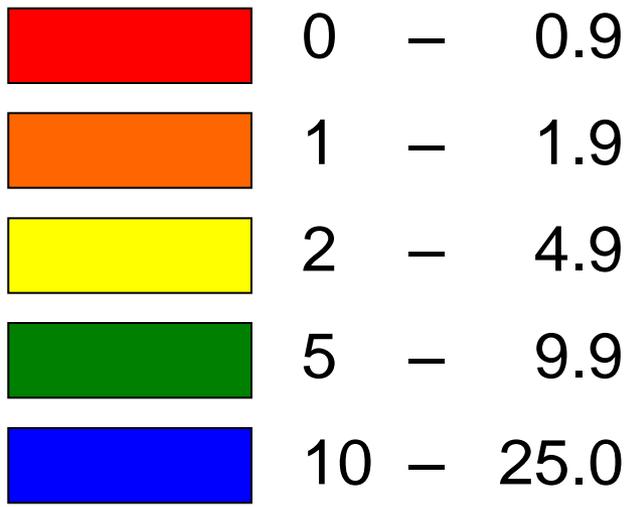
Millones metros cúbicos

23,1 -28,2

493,8

120,4

# Recarga (mm)



**Área** 71 238 km<sup>2</sup>  
**Extracción** 404 Mio m<sup>3</sup>  
**Recarga** 5.7 mm

Fuente:  
 CONAGUA datos  
 publicados en  
 DOF, corregidos



GOBIERNO FEDERAL

SEMARNAT



conagua.gob.mx

Google Busqueda personalizada

Conócenos

Marco Normativo

Aguas Nacionales

Programas

Trámites y Servicios

Cultura del Agua

Sala de Prensa

Transparencia

23 de Agosto del 2012

39

ACUIFERO	DISPONIBILIDAD	DEFICIT	ARCHIVO
0301 PUNTA EUGENIA	1.377363	0	
0302 VIZCAINO	0	-0.127523	
0303 SAN IGNACIO	0	-3.212522	
0304 LA PURISIMA	0	-2.393991	
0305 MEZQUITAL SECO	1.272771	0	
0306 SANTO DOMINGO	0.837258	0	
0307 SANTA RITA	0.473646	0	
0308 LAS POCITAS-SAN HILARIO	2.142456	0	
0309 EL CONEJO-LOS VIEJOS	0	-0.374815	
0310 MELITON ALBAÑEZ	0.9355	0	
0311 LA MATANZA	0	-0.936068	
0312 CAÑADA HONDA	0.098413	0	
0313 TODOS SANTOS	0	-0.151039	
0314 EL PESCADERO	0.725371	0	
0315 PLUTARCO ELIAS CALLES	0.22062	0	
0316 MIGRIÑO	0	-0.03271	
0317 CABO SAN LUCAS	0	-3.871599	
0318 CABO PULMO	0	-0.727018	
0319 SAN JOSE DEL CABO	0	-5.90985	
0320 SANTIAGO	4.153033	0	
0321 SAN BARTOLO	2.972986	0	
0322 EL CARRIZAL	3.736703	0	
0323 LOS PLANES	0	-4.028117	
0324 LA PAZ	0	-2.586662	
0325 EL COYOTE	0	-4.72479	
0326 ALFREDO V. BONFIL	3.690574	0	
0327 TEPENTU	1.094	0	
0328 LORETO	2.444383	0	
0329 SAN JUAN B. LONDO	0	-2.24895	
0330 ROSARITO	0.21068	0	
0331 BAHIA CONCEPCION	0.703975	0	
0332 MULEGE	2.016508	0	
0333 SAN MARCOS-PALO VERDE	0	-2.175235	
0334 SAN BRUNO	0	-0.398149	
0335 SAN LUCAS	0	-0.10813	
0336 SANTA AGUEDA	0	-0.192846	
0337 SANTA ROSALIA	0	-0.059314	
0338 LAS VIRGENES	1.433309	0	
0339 PARALELO 28	1.4	0	

20

19

Millones metros cúbicos

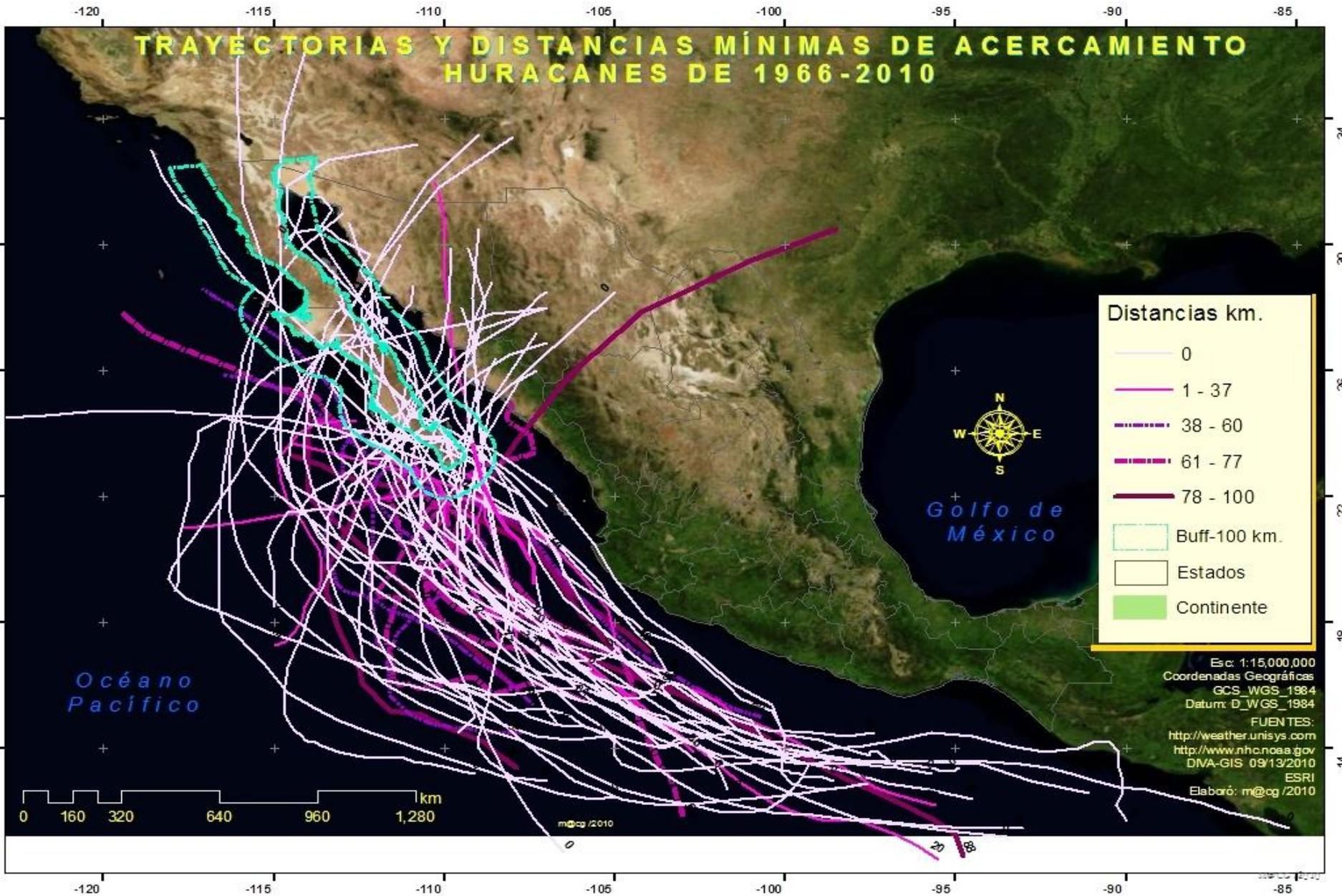
31.9

-34.2

# Problema

- La recarga en BCS no es un promedio sino varía de la manera importante:

# TRAYECTORIAS Y DISTANCIAS MÍNIMAS DE ACERCAMIENTO HURACANES DE 1966-2010



**Distancias km.**

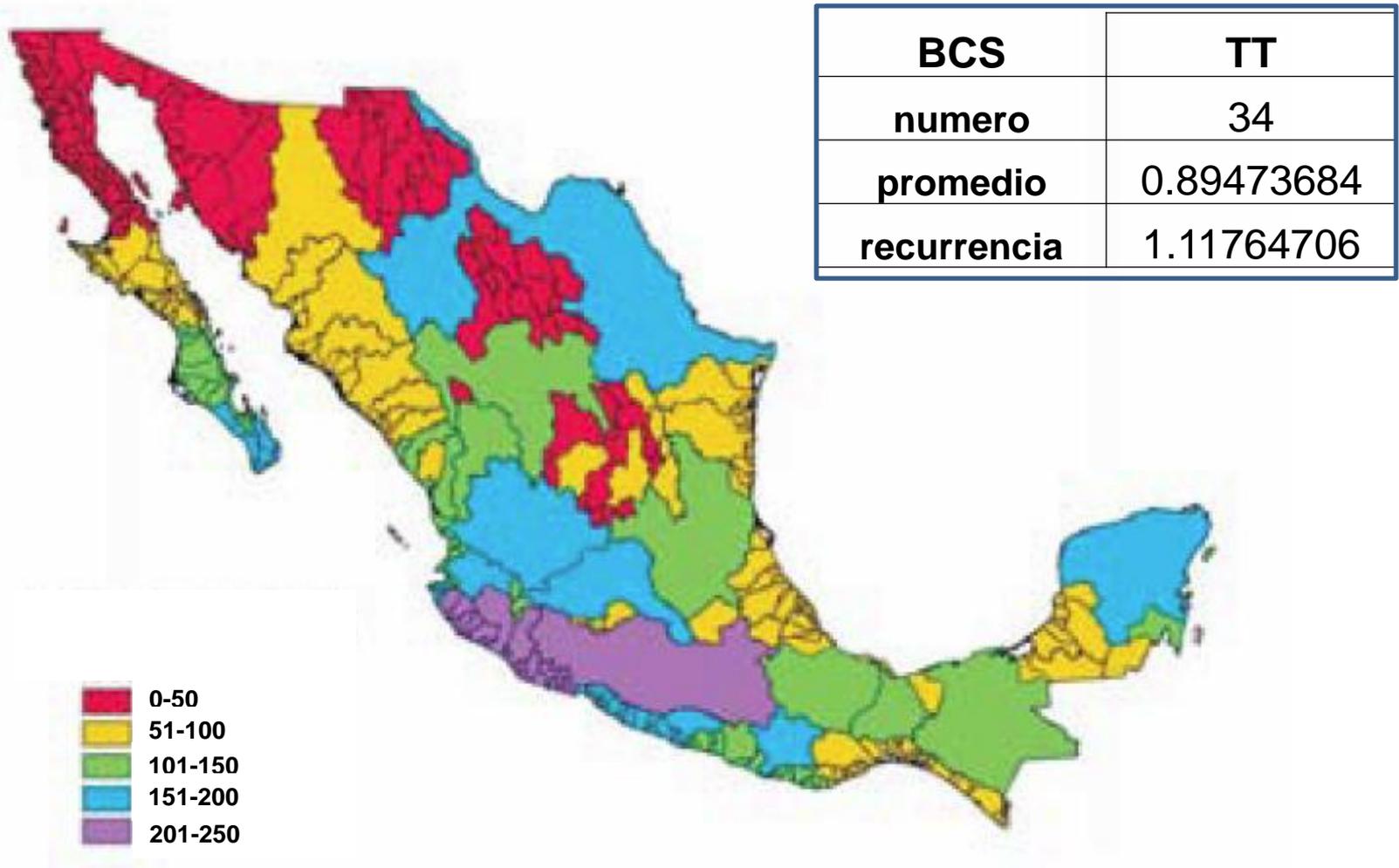
- 0
- 1 - 37
- 38 - 60
- 61 - 77
- 78 - 100
- Buff-100 km.
- Estados
- Continente

Esc: 1:15,000,000  
Coordenadas Geográficas  
GCS\_WGS\_1984  
Datum: D\_WGS\_1984  
FUENTES:  
<http://weather.unisys.com>  
<http://www.nhc.noaa.gov>  
DVA-GIS 09/13/2010  
ESRI  
Elaboró: m@cg/2010

0 160 320 640 960 1,280 km

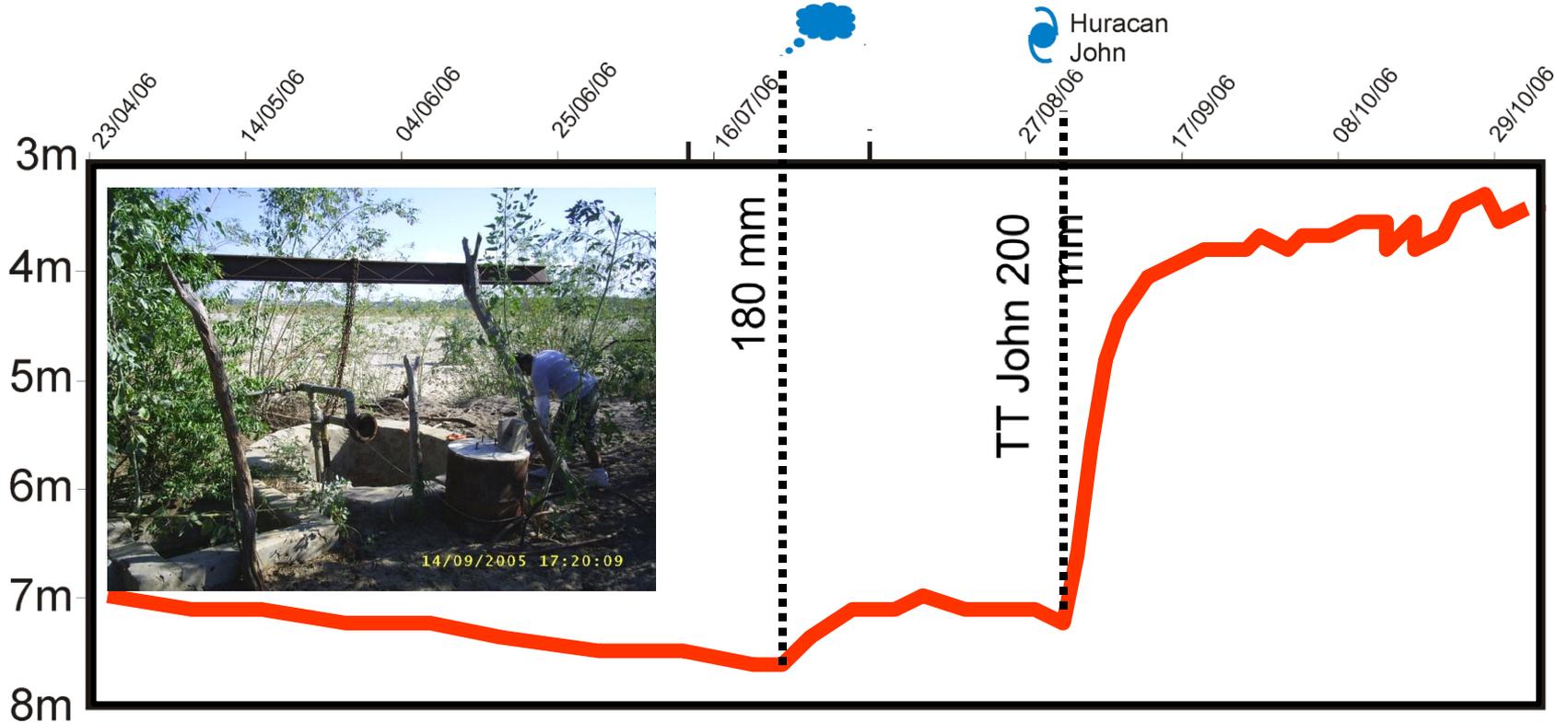
m@cg/2010

# Tormentas tropicales 1980-2001



Mapa 3. Afectación de las cuencas por ciclones que pasan a menos de 300 km.

# Arroyo Las Cuevas

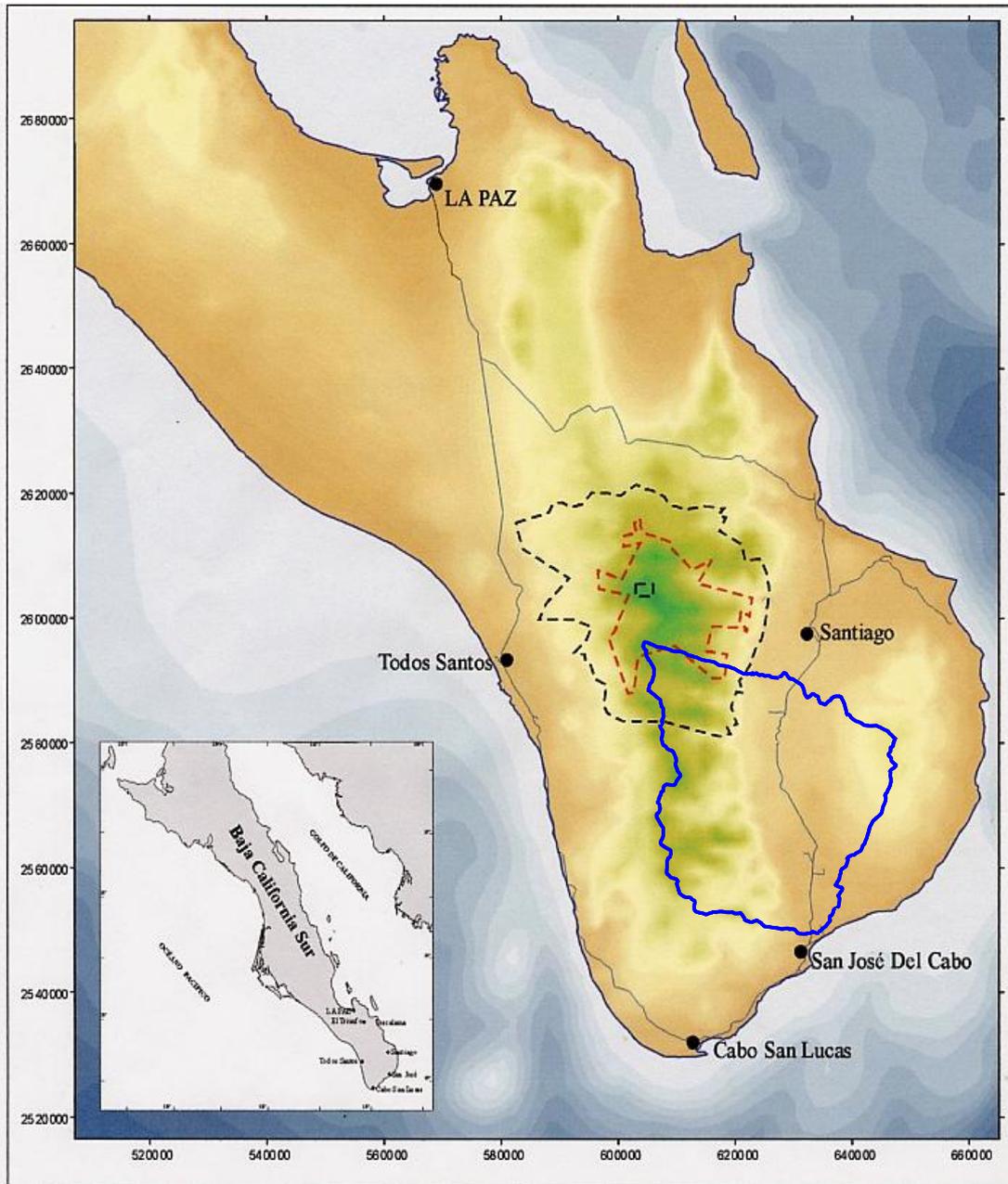


Cambio del nivel freático en el arroyo Las Cuevas durante de la temporada de huracanes 2006

**SAN JOSE DEL CABO**

# Cuenca San José del Cabo

La cuenca hidrológica más importante con respecto a la extracción de agua subterránea en la región del Cabo es la cuenca San José del Cabo, la cual tiene una superficie de 1,278 km<sup>2</sup>. Debido a este crecimiento, la extracción de agua en la cuenca en el año 2002 fue, según datos de la CNA (2002), 11 % mayor que su recarga natural.



***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero San José Del Cabo  
(0319), Estado de Baja California Sur***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación*  
*20 de abril de 2015*



# DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO SAN JOSÉ DEL CABO (0319), ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

## 2008

CLAVE	ACUIFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CUBICOS ANUALES					

ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

0319	SAN JOSE DEL CABO	24.0	3.0	26.909850	26.2	0.000000	-5.909850
------	-------------------	------	-----	-----------	------	----------	-----------

## 2015

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

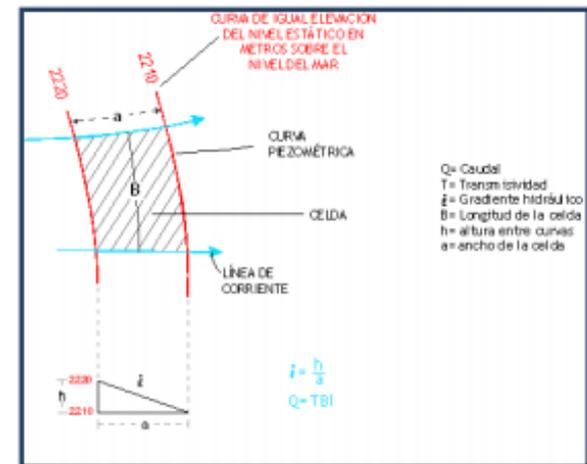
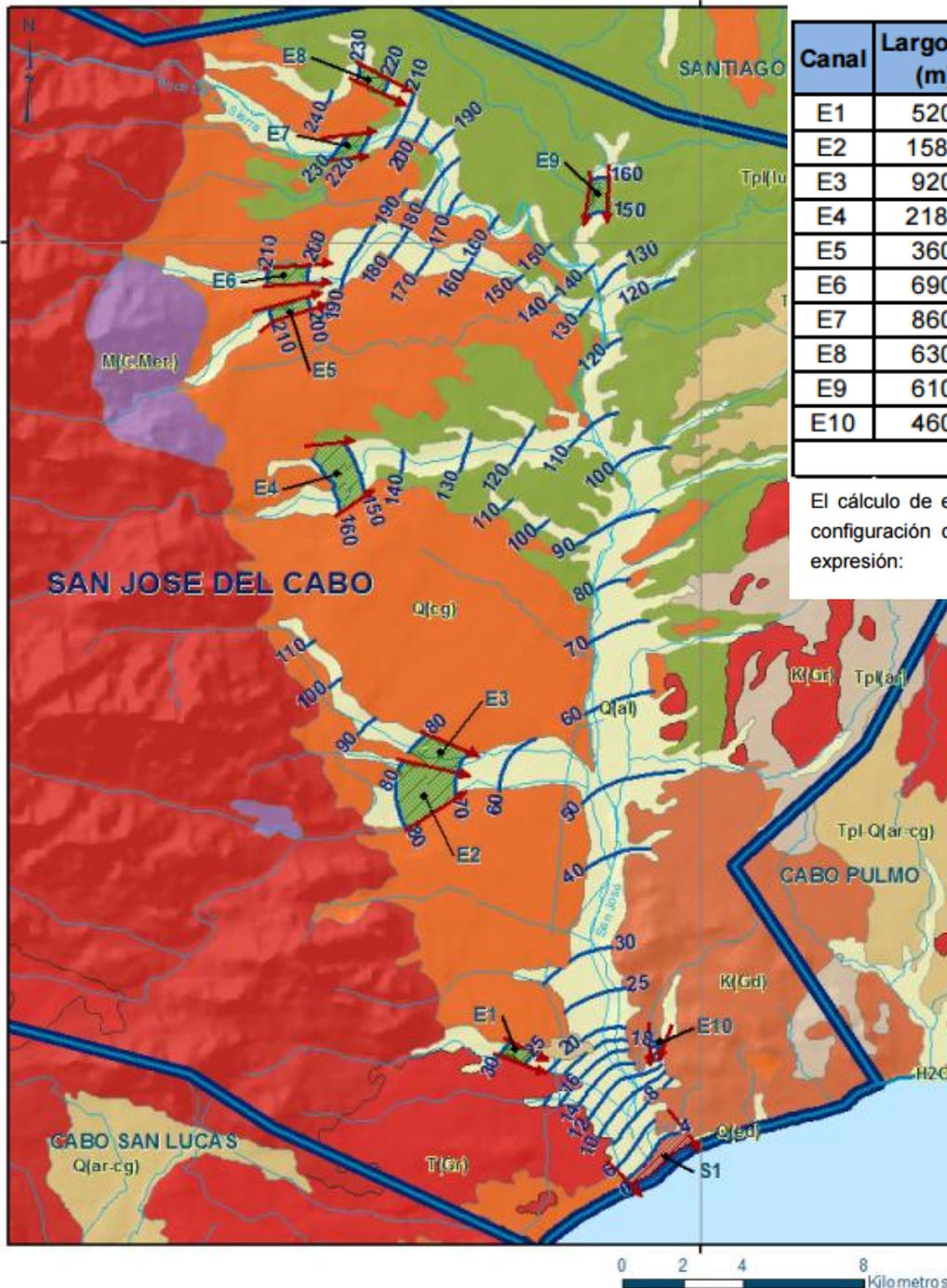
0319	SAN JOSÉ DEL CABO	35.9	10.8	27.723013	29.0	0.000000	-2.623013
------	-------------------	------	------	-----------	------	----------	-----------

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2011)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente hidráulico i (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Volúmen (hm <sup>3</sup> /año)
E1	520	850	5	0.005882	0.012	0.037624	1.2
E2	1580	1870	10	0.005348	0.012	0.103925	3.3
E3	920	1500	10	0.006667	0.012	0.075440	2.4
E4	2180	970	10	0.010309	0.012	0.276433	8.7
E5	360	1270	10	0.007874	0.012	0.034866	1.1
E6	690	1300	10	0.007692	0.012	0.065285	2.1
E7	860	680	10	0.014706	0.012	0.155559	4.9
E8	630	950	10	0.010526	0.012	0.081568	2.6
E9	610	1150	10	0.008696	0.012	0.065243	2.1
E10	460	220	2	0.009091	0.012	0.051436	1.6
<b>Total de Entradas</b>							<b>30.0</b>

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5), mediante la siguiente expresión:



$$Q = T * B * i$$

Dónde:

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)

**B** = Longitud de la celda (m)

**i** = Gradiente Hidráulico (adimensional)

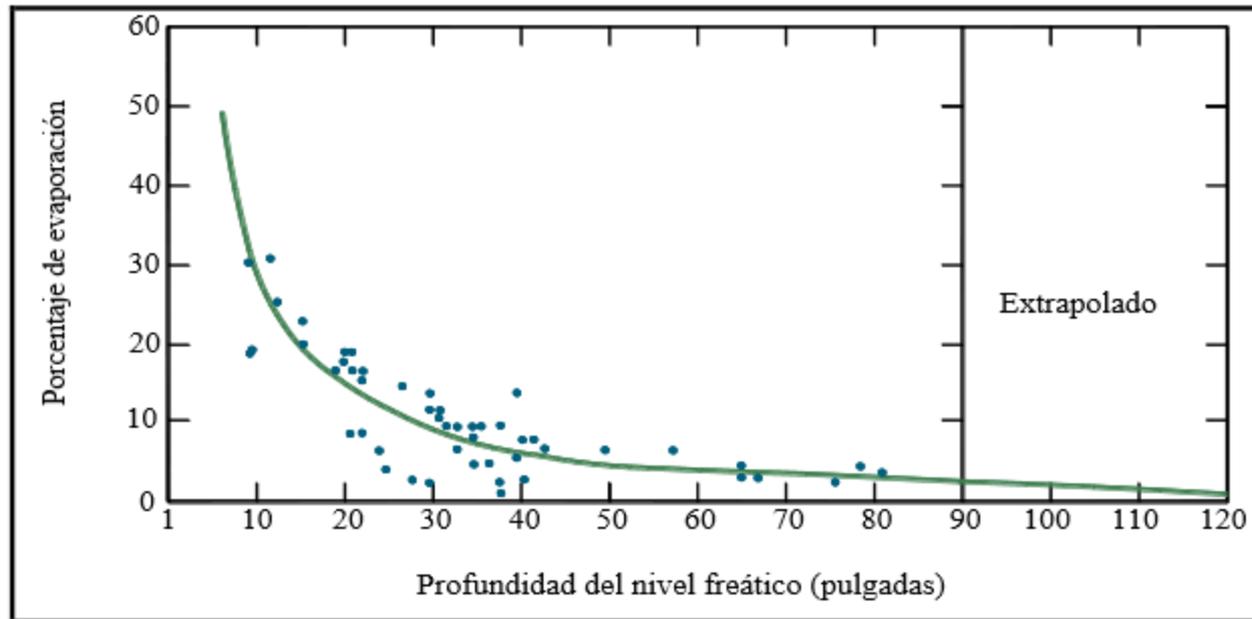


Figura 7. Evaporación del Agua subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km <sup>2</sup> )	% de la Evaporación Potencial	Volumen Evaporación (hm <sup>3</sup> /año)
<b>2.1315</b>	<b>17.0</b>	<b>0.03</b>	<b>1.1</b>

Por lo tanto el valor de la evaporación es igual a **ETR = 1.1 hm<sup>3</sup>/año**.

7/14/2009



Manantial Sta. Rosa



7/14/2007

Image © 2013 GeoEye

GOOG

1543 m

Fecha de las imágenes: 7/14/2009

2004

12 Q 635340.50 m E 2550954.30 m N elev. 0 m

## 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

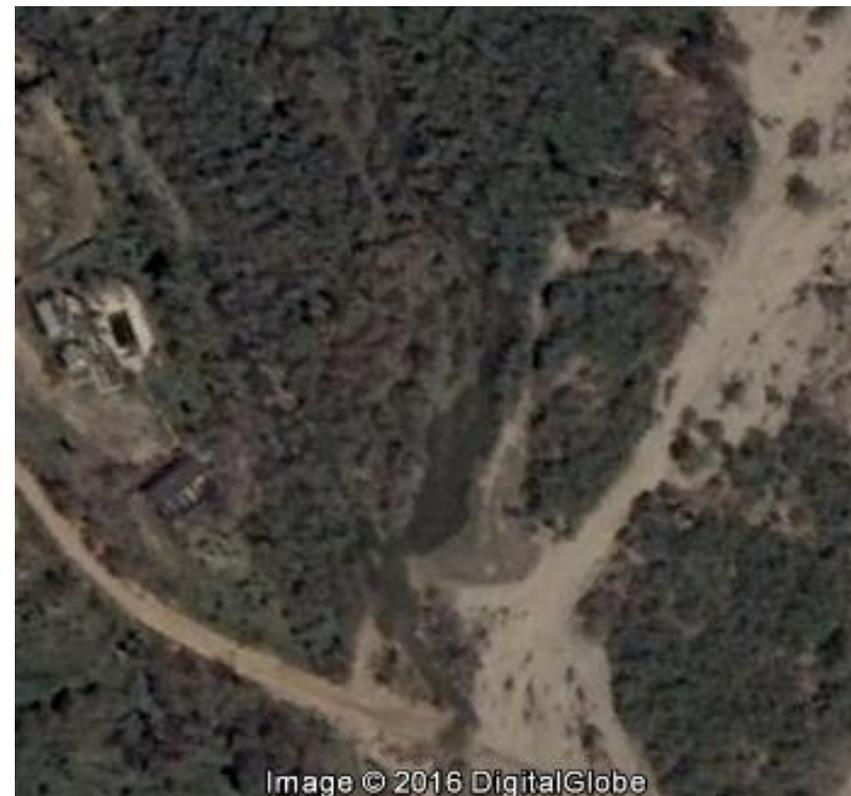
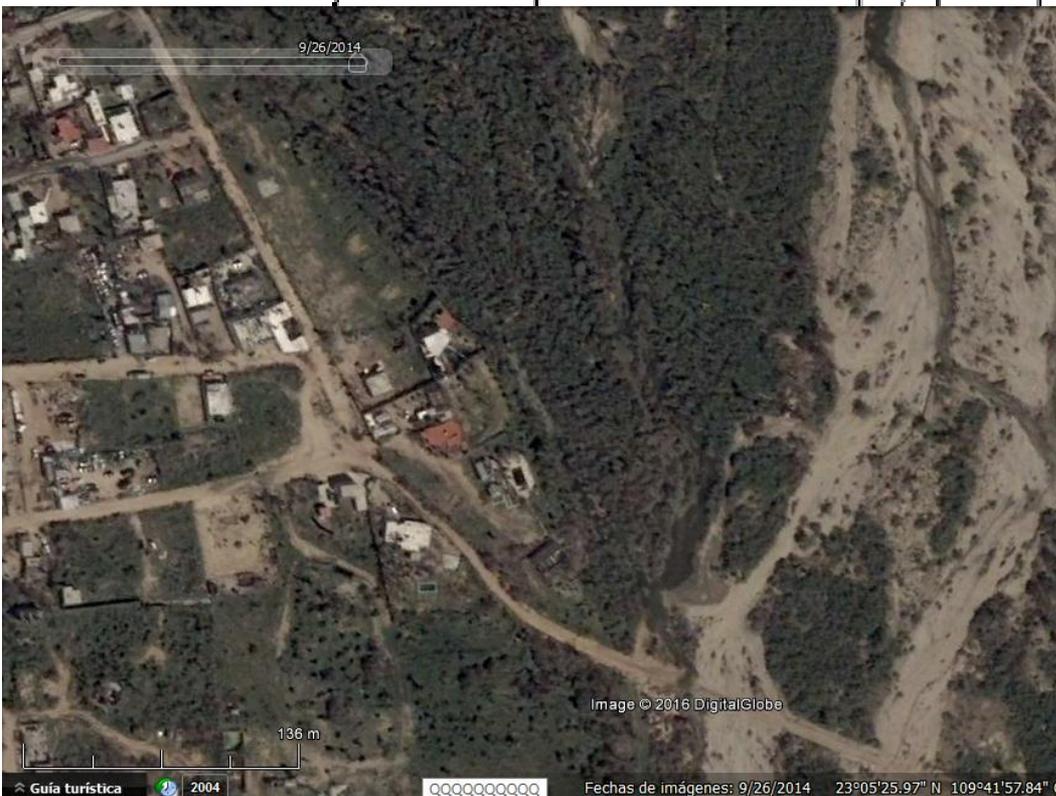
La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero San José del Cabo se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **10.8 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 4.0 hm<sup>3</sup> corresponden a la salida por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interface marina, 5.7 hm<sup>3</sup> a la descarga del manantial de Santa Rosa, comprometida como flujo base de agua superficial que debe drenar aguas abajo hacia el estero para sostener el gasto ecológico y los 1.1 hm<sup>3</sup> restantes a la evapotranspiración que debe comprometerse para preservar el ecosistema ribereño del Estero San José del Cabo.

# Manantial Santa Rosa

## 7.2.3. Descarga por manantiales (Dm)

Esta componente corresponde a la descarga natural a través del manantial "Santa Rosa" que alimenta al arroyo San José, cuyo escurrimiento descarga en el Estero San José. El aforo realizado en 2011 arrojó un valor promedio es 180 lps, que equivalen a **5.7 hm<sup>3</sup> anuales**.



# Manantial Santa Rosa en Abril 2016



# Manantial Santa Rosa en Abril 2016



### 7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2010-2011 mostrada en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y$  de 0.15 se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

$S$ = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

$A$ = Área entre curvas de igual evolución del nivel estático ( $\text{km}^2$ );

$h$ = Valor medio de la variación piezométrica en el período (m);

Si consideramos que en la superficie de balance de  $125 \text{ km}^2$  el valor de la evolución media es de  $-0.21 \text{ m}$  y un rendimiento específico de 0.15, el valor del cambio de almacenamiento es  $\Delta V(S) = 0.15 (125 \text{ km}^2) (-0.21 \text{ m}) = -3.9$ .

Por lo tanto,  $\Delta V(S) = -3.9 \text{ hm}^3$  anuales.

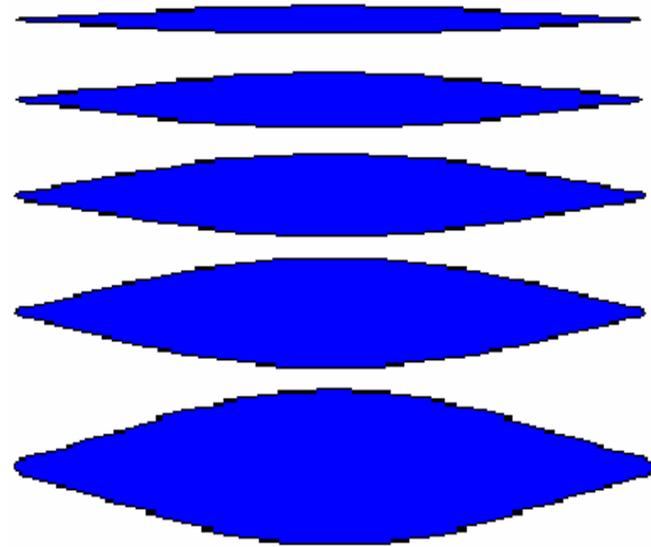
# PROBLEMAS

- Fugas incluidas como en el caso de San José del Cabo de 35% incluyen perdidas por mayor consumo en casas con cuota fijo.



Espécimen bajo una presión de 38 mca

## Recarga inducida



Evolución de la geometría de la grieta con respecto a la presión.

Perdidas estimadas de  
35 % o mas

Estudio UNAM Inst. Ing.

# Recarga inducida

Para este caso particular, no se cuenta con información de superficies y láminas de riego por cultivo; sin embargo, debido a la profundidad a la que se localiza el nivel del agua en la zona agrícola, se considera que el 20% del volumen utilizado en la agricultura ( $6.0 \text{ hm}^3$  anuales) recarga de manera efectiva al acuífero. Para el caso de la red de agua potable y de alcantarillado de San José del Cabo, se considera que un 20% del volumen de agua destinada al abastecimiento público-urbano ( $22.0 \text{ hm}^3$  anuales) recarga al acuífero.

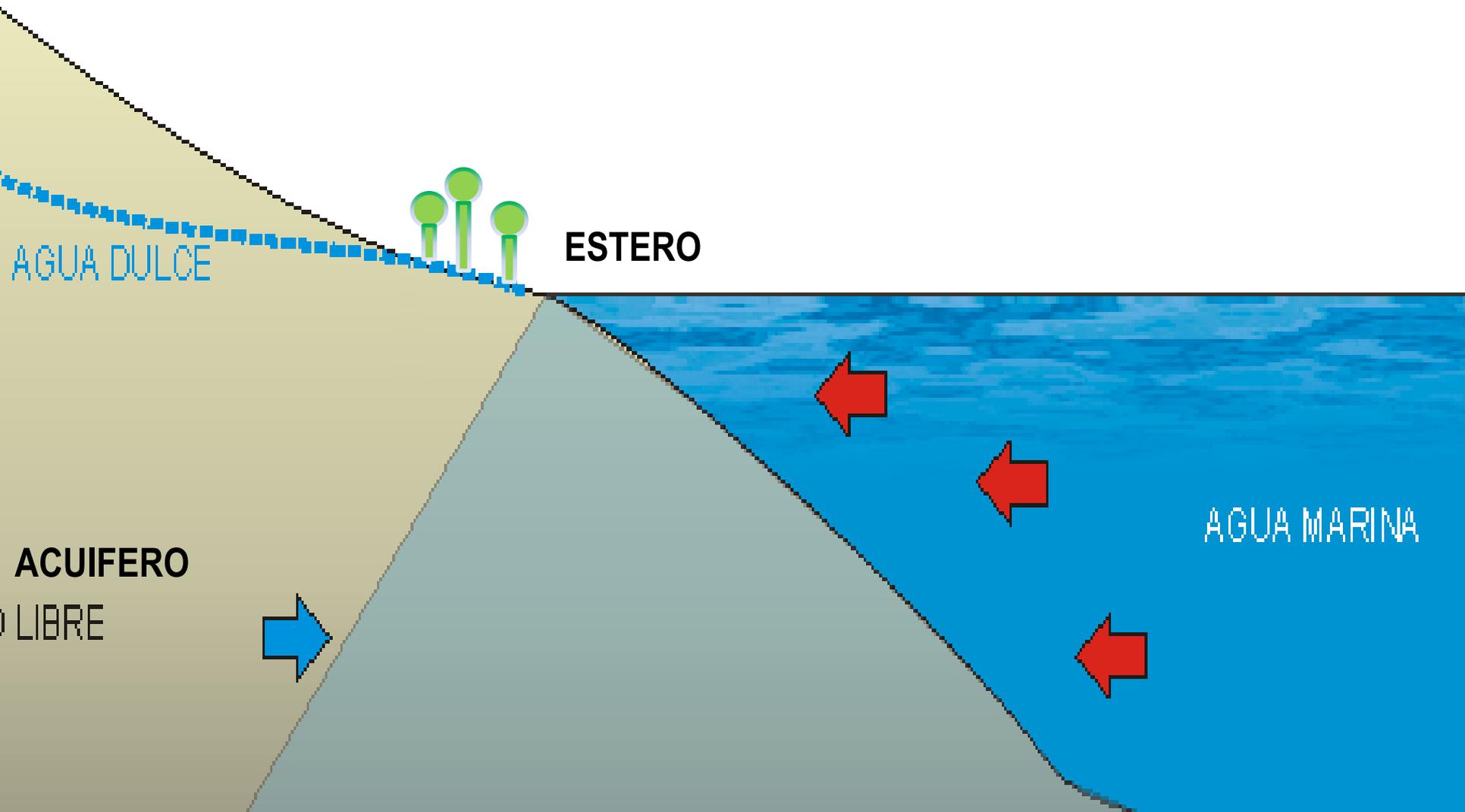
De esta manera, si consideramos que del volumen conjunto de agua para uso público-urbano y agrícola ( $28.0 \text{ hm}^3$  anuales) y el 20 % recarga de manera efectiva el acuífero, el valor de la recarga inducida es  **$R_i = 5.6 \text{ hm}^3$  anuales.**

LA PAZ

# Problema

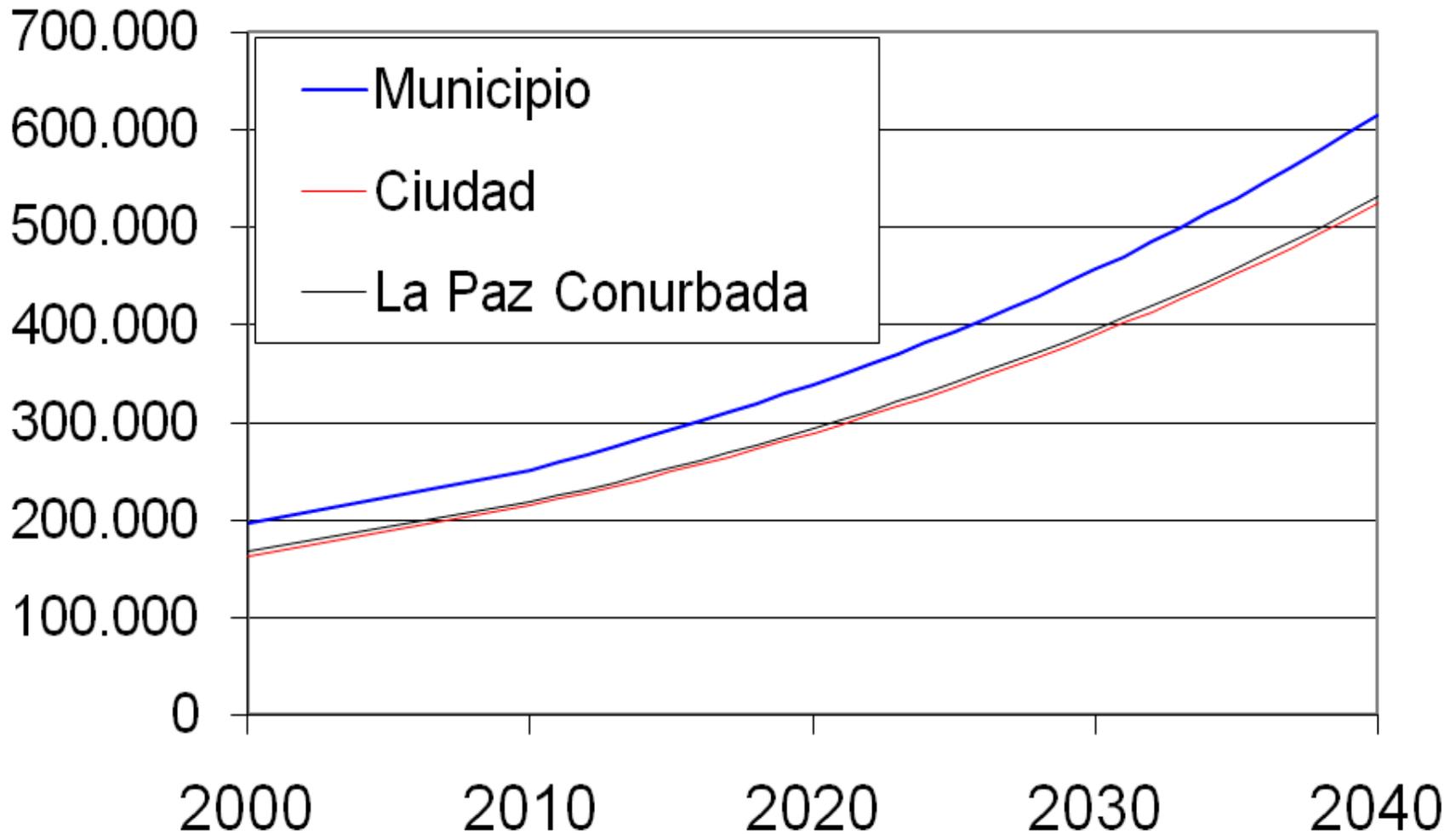
- No se toma en cuenta la calidad del agua

# Efectos de la sobre explotación de un acuífero





# Pronostico del consumo de agua en La Paz



**SAN JUAN B. LONDO**

# Problema

- En caso de un sobre-bombeo es difícil estimar este exceso de agua porque depende del volumen

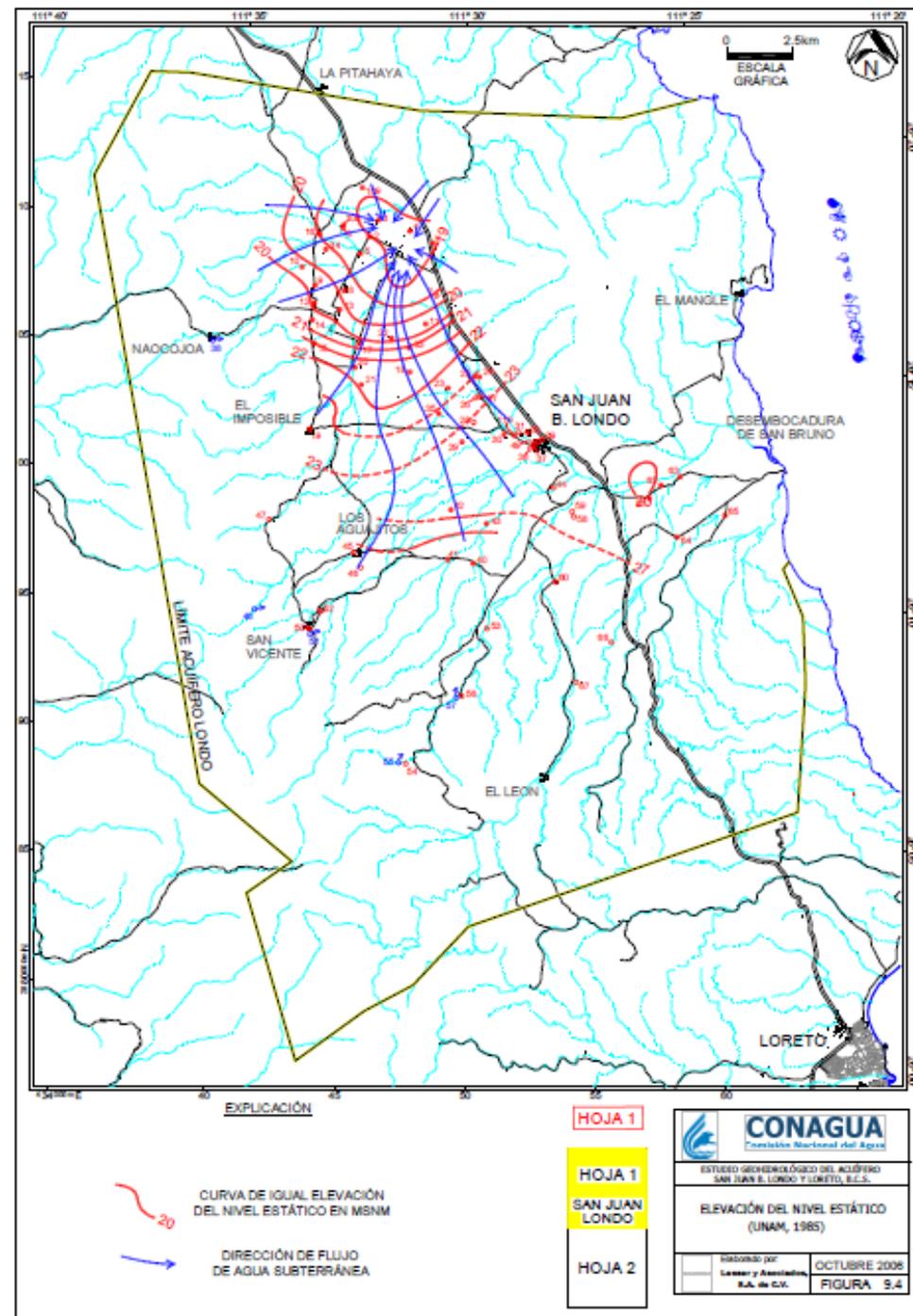
# Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero San Juan B. Londó, B.C.S. (CONAGUA 2015)

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
<b>ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR</b>							
0329	SAN JUAN B. LONDÓ	6.7	1.0	7.645272	6.3	0.000000	-1.945272

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales “3” y “4” de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Existe una inseguridad respecto de los valores de nivel freático, fuera de la zona equipada con pozos. Por tal motivo se definió un área central del acuífero con un tamaño de 91.5 km<sup>2</sup>, en la cual los niveles freáticos son bien documentados. En esta zona se observó entre 1985 y 2006 un descenso del nivel freático de 2.02 metros en promedio.



# Compilación de la extracción y recarga estimada entre 1978 y 2006 según varios autores

<b>Reporte</b>	<b>Año</b>	<b>Extracción anual</b>	<b>Recarga anual</b>	<b>Déficit</b>
SARH dentro del Programa PIDER.	1978	10.873 Mm <sup>3</sup> /año	8.00 Mm <sup>3</sup> /año	-2.873 Mm <sup>3</sup> /año
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	1986	12.5 Mm <sup>3</sup> /año	10 Mm <sup>3</sup> /año	-2.5 Mm <sup>3</sup> /año
Gerencia de Aguas Subterráneas de la CNA en el año 2005.	2005	7 Mm <sup>3</sup> /año	6 Mm <sup>3</sup> /año	-1.0 Mm <sup>3</sup> /año
Universidad de Arizona	2005	4 Mm <sup>3</sup> /año para la zona agrícola de San Juan Londó	2 Mm <sup>3</sup> /año como recarga máxima	-2.0 Mm <sup>3</sup> /año
Lesser et al. 2007 método 1: cálculo del flujo subterráneo mediante secciones "celdas"	2006	6.1 Mm <sup>3</sup> /año	4.8 Mm <sup>3</sup> /año como recarga total (RT)	-1.3 Mm <sup>3</sup> /año
Lesser et al. 2007 método 2: cambio de almacenamiento para el periodo de 27 años	2006	6.1 Mm <sup>3</sup> /año	= 5.3 Mm <sup>3</sup> /año	-0.8 Mm <sup>3</sup> /año

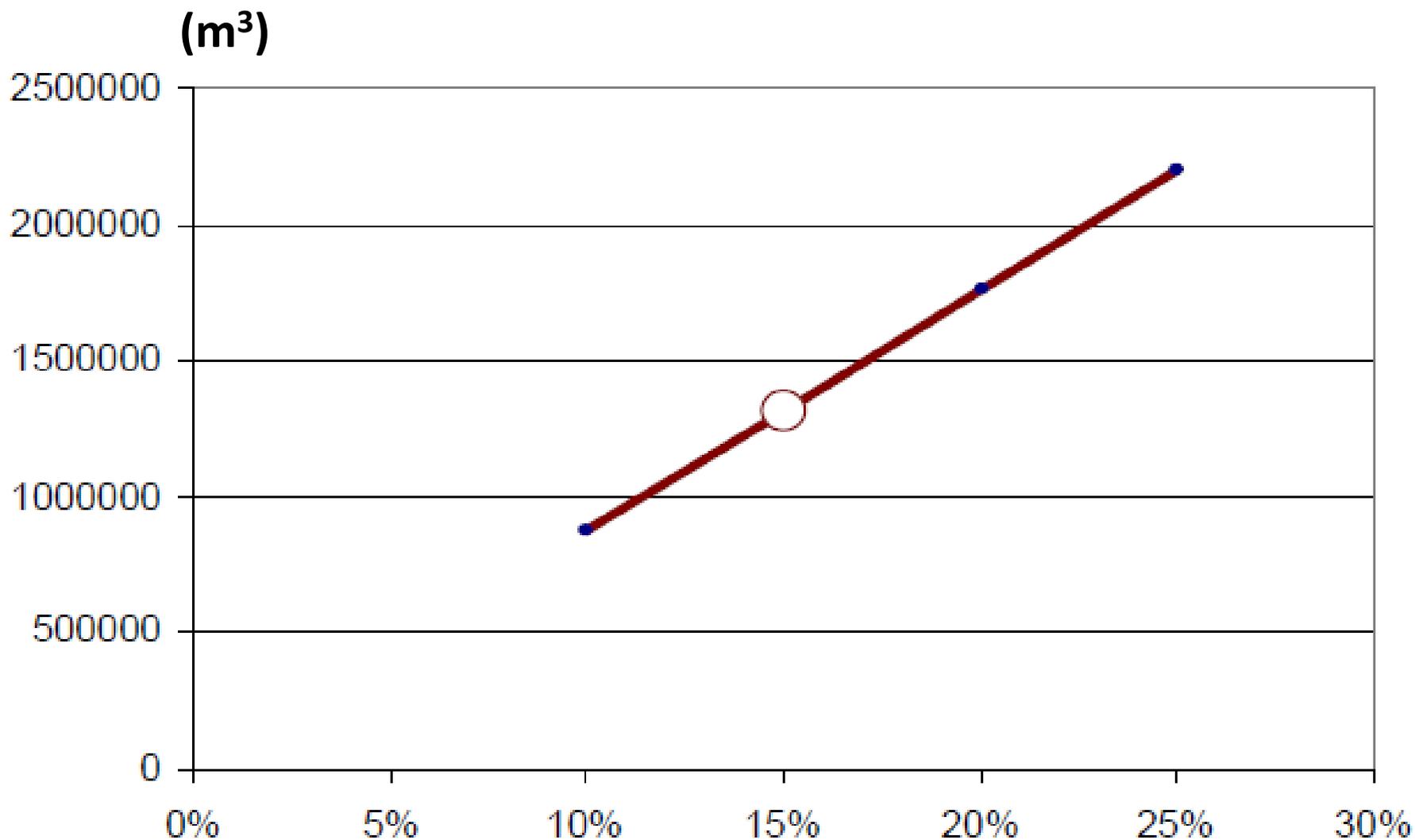
# Cambio de Almacenamiento ( VS)

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

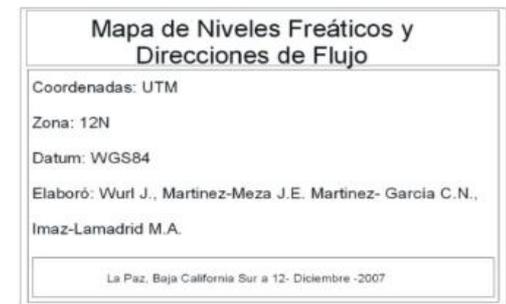
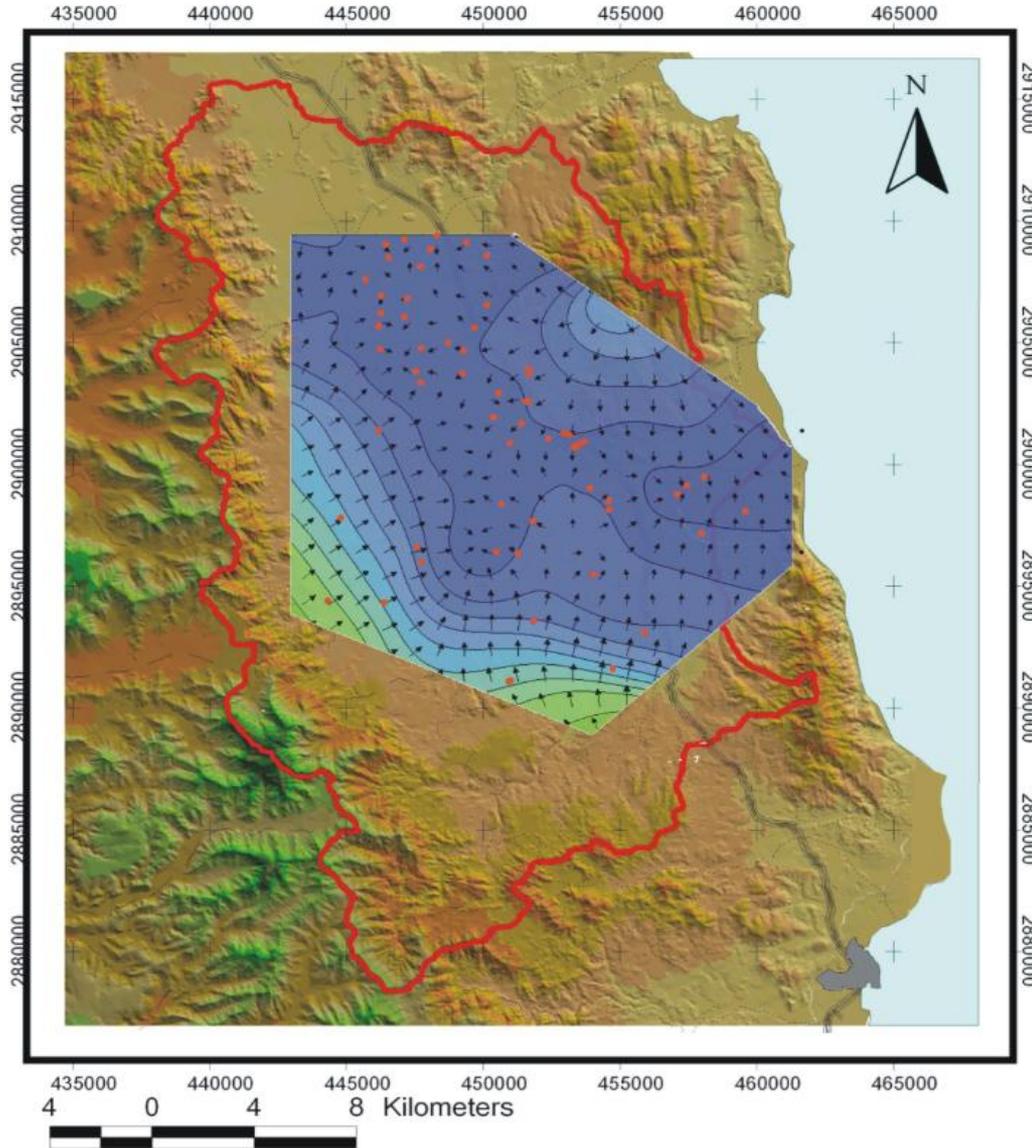
Donde:

- $\Delta V(S)$  Coeficiente de almacenamiento en el tiempo de análisis en  $Mm^3$ .
- S Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance adimensional.
- A Área entre las curvas de igual evolución del nivel estático en  $Km^2$ ).
- h Valor medio de la variación Piezométrica en el período m.

# Relación entre el rendimiento específico y el déficit calculado (m<sup>3</sup>) para la zona central del acuífero San Juan Londó.



# Ground water level 2006



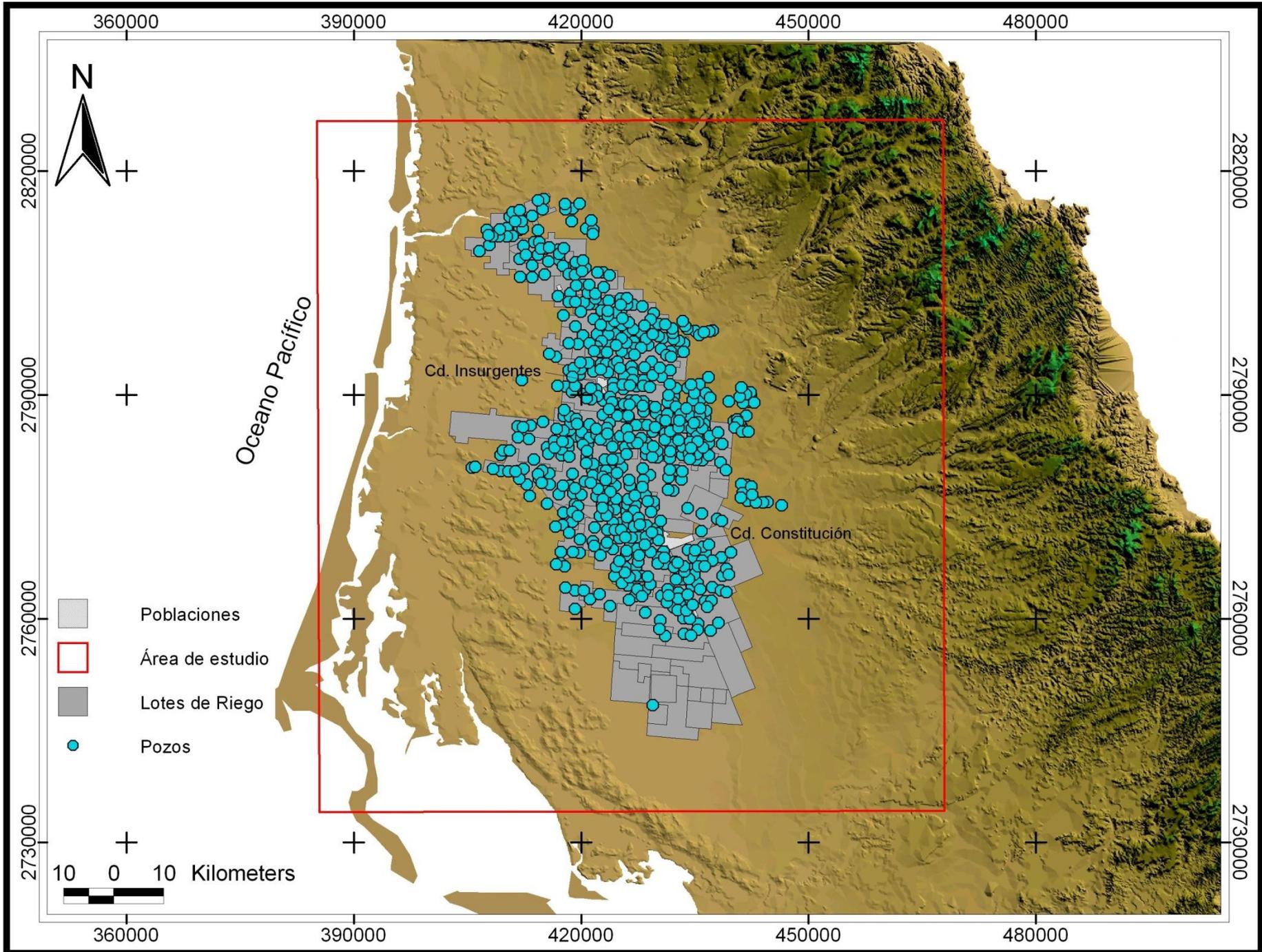
## Compilación de la extracción y recarga estimada entre 1978 y 2006 según varios autores

<b>Reporte</b>	<b>Año</b>	<b>Extracción anual</b>	<b>Recarga anual</b>	<b>Déficit</b>
SARH dentro del Programa PIDER.	1978	10.9 Mm <sup>3</sup> /año	8.0 Mm <sup>3</sup> /año	-2.9 Mm <sup>3</sup> /año
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	1986	12.5 Mm <sup>3</sup> /año	10 Mm <sup>3</sup> /año	-2.5 Mm <sup>3</sup> /año
Gerencia de Aguas Subterráneas de la CNA en el año 2005.	2005	7 Mm <sup>3</sup> /año	6 Mm <sup>3</sup> /año	-1.0 Mm <sup>3</sup> /año
Universidad de Arizona	2005	4 Mm <sup>3</sup> /año para la zona agrícola de San Juan Londó	2 Mm <sup>3</sup> /año como recarga máxima	-2.0 Mm <sup>3</sup> /año
Lesser et al. 2007 método 1: cálculo del flujo subterráneo mediante secciones "celdas"	2006	6.1 Mm <sup>3</sup> /año	4.8 Mm <sup>3</sup> /año como recarga total (RT)	-1.3 Mm <sup>3</sup> /año
Lesser et al. 2007 método 2: cambio de almacenamiento para el periodo de 27 años	2006	6.1 Mm <sup>3</sup> /año	= 5.3 Mm <sup>3</sup> /año	-0.8 Mm <sup>3</sup> /año
NIPARAJA CIBNOR UABCS	2008	6 Mm <sup>3</sup> /año	4.7 Mm <sup>3</sup> /año	-1.3 Mm <sup>3</sup> /año

**VALE DE SANTO DOMINGO**

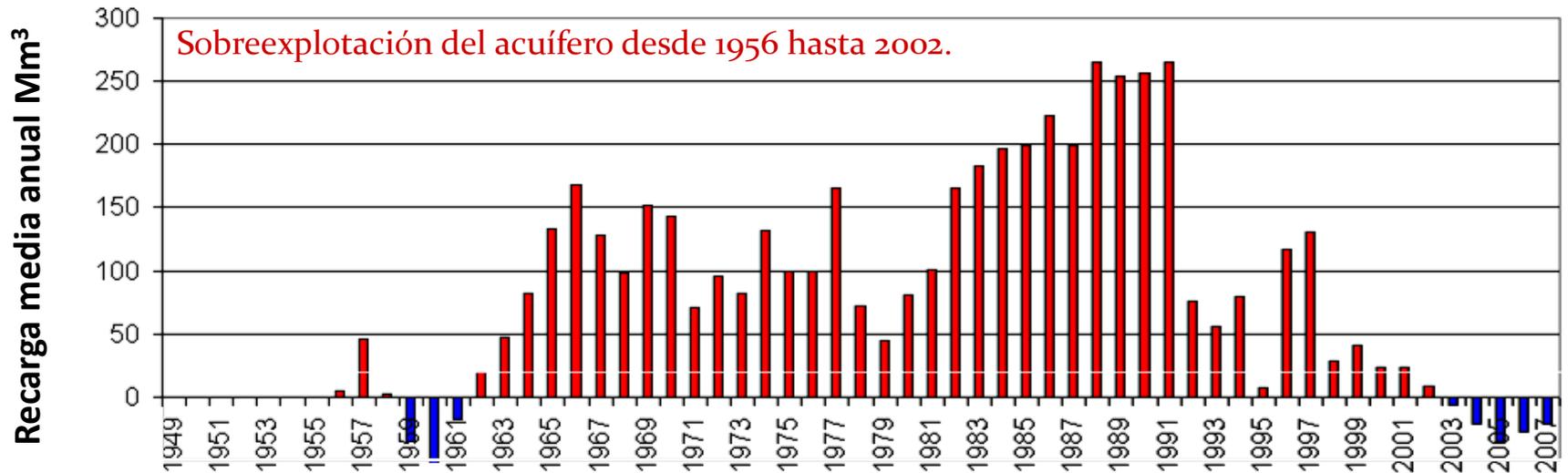
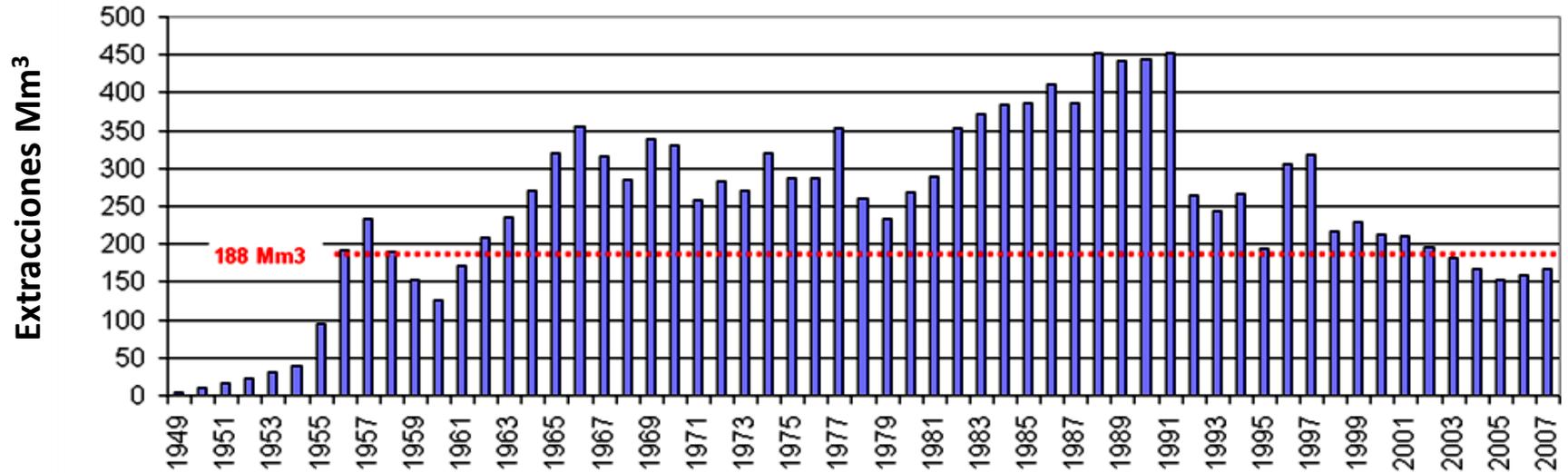
# Problema

- Igualdad entre recarga y descarga mas extracción no es igual a un equilibrio

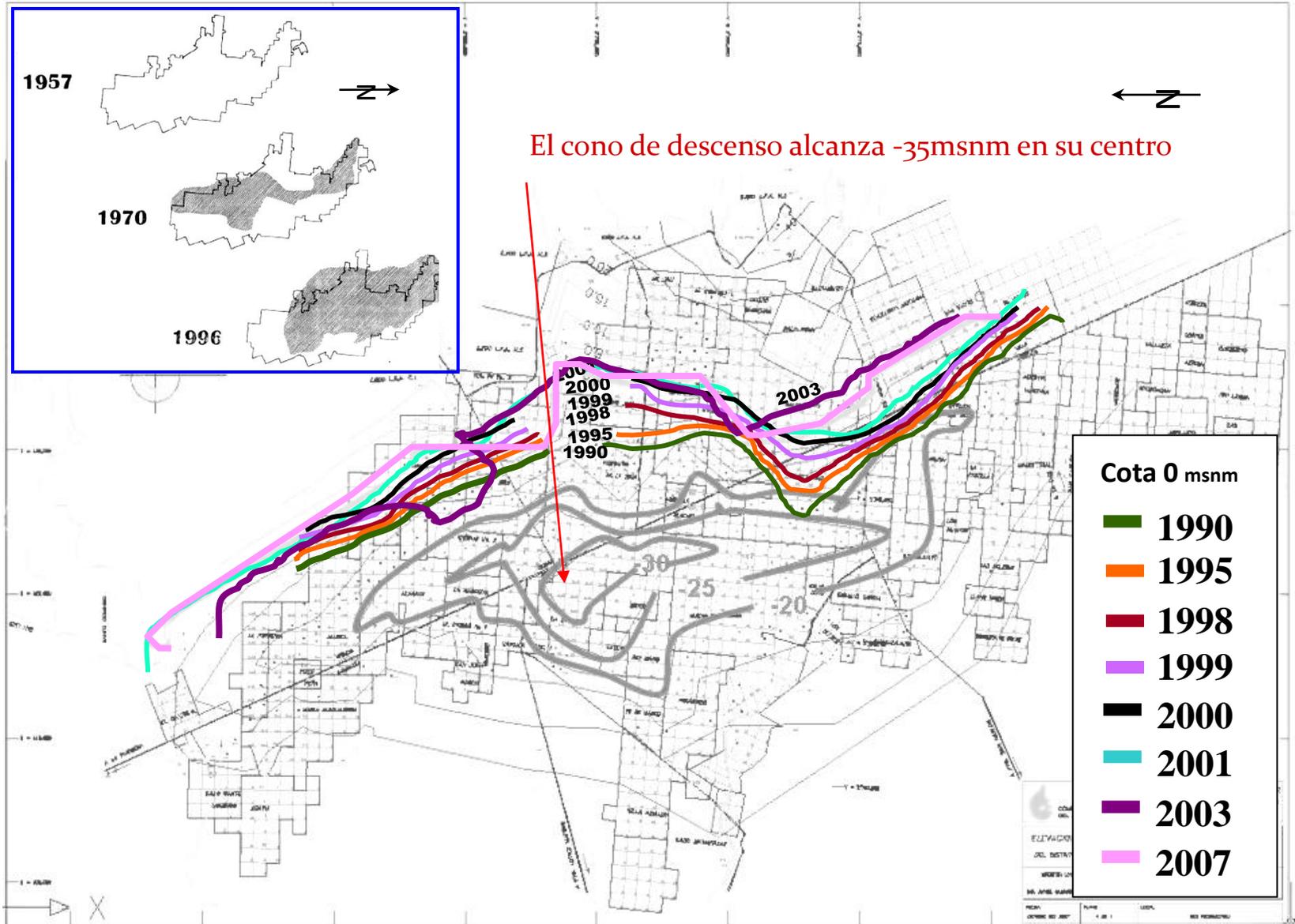


# Problemática

## Extracciones históricas y su diferencia con la recarga media anual.



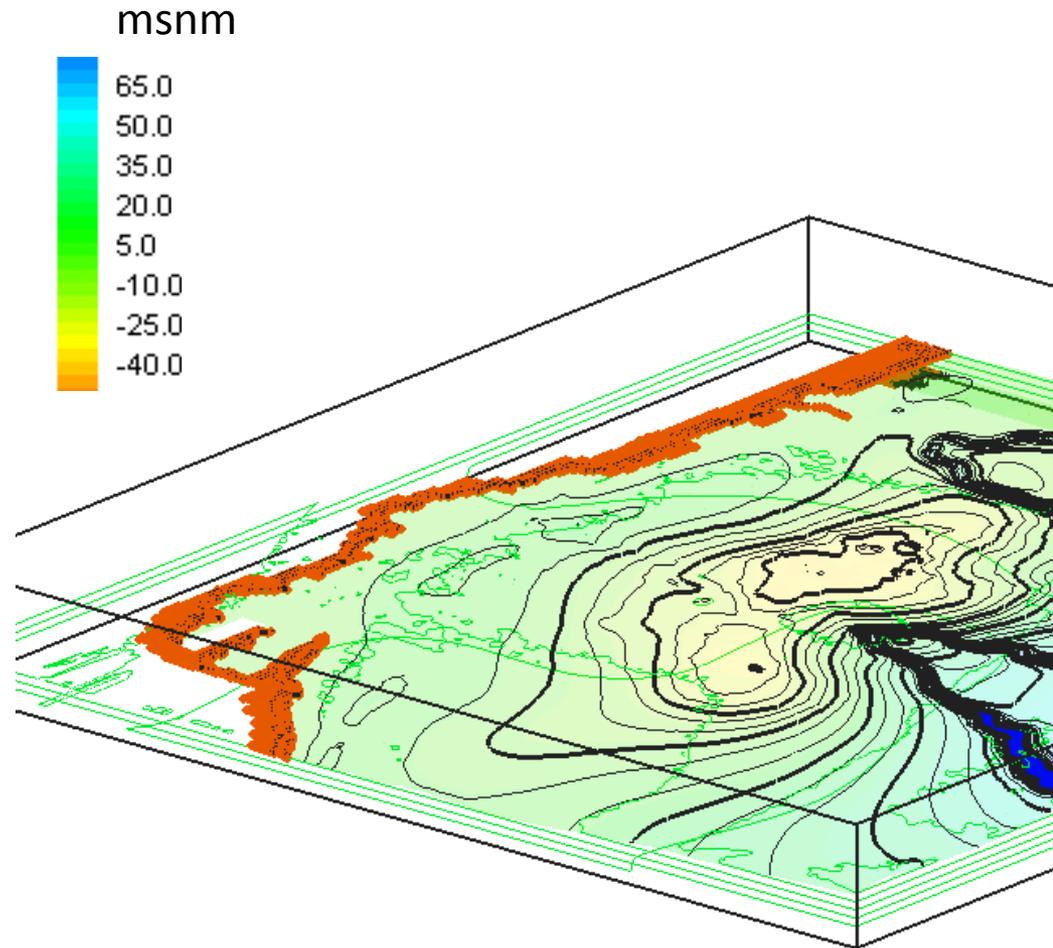
# Problemática



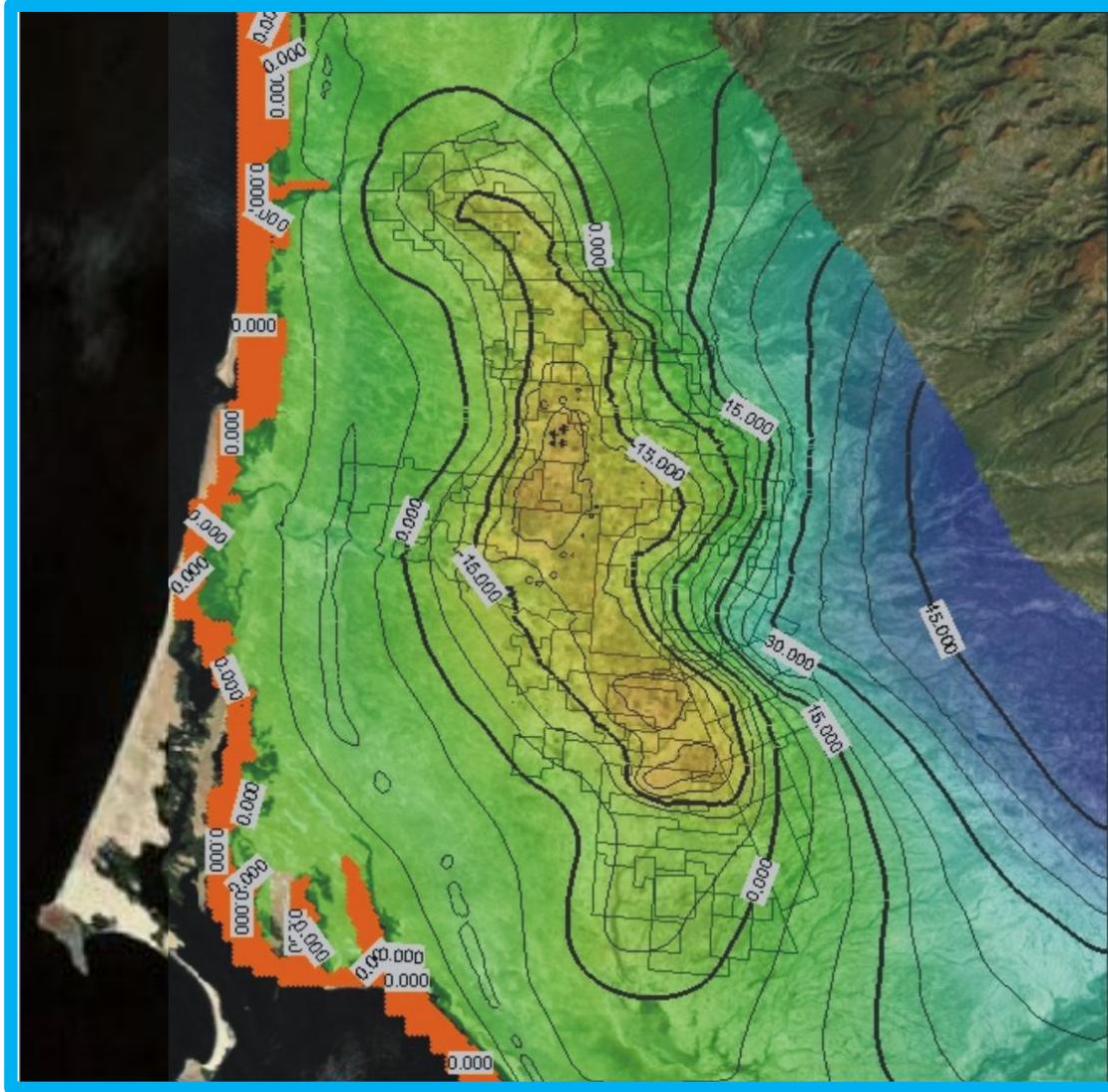
Evolución de la cota 0 msnm (1990-2007)

# Modelo Hidráulico MODFLOW.

- ❑ Modelo de diferencias finitas de 43,500 celdas con resolución de 500m.
- ❑ Calibrado con bases de datos de la CONAGUA para los años 1996 a 2007.
- ❑ Utilizado para formular pronósticos del agua subterránea con base en:
  - Variación de las extracciones.
  - Efectos de obras de recarga.
  - Infiltración natural en los arroyos.



1996

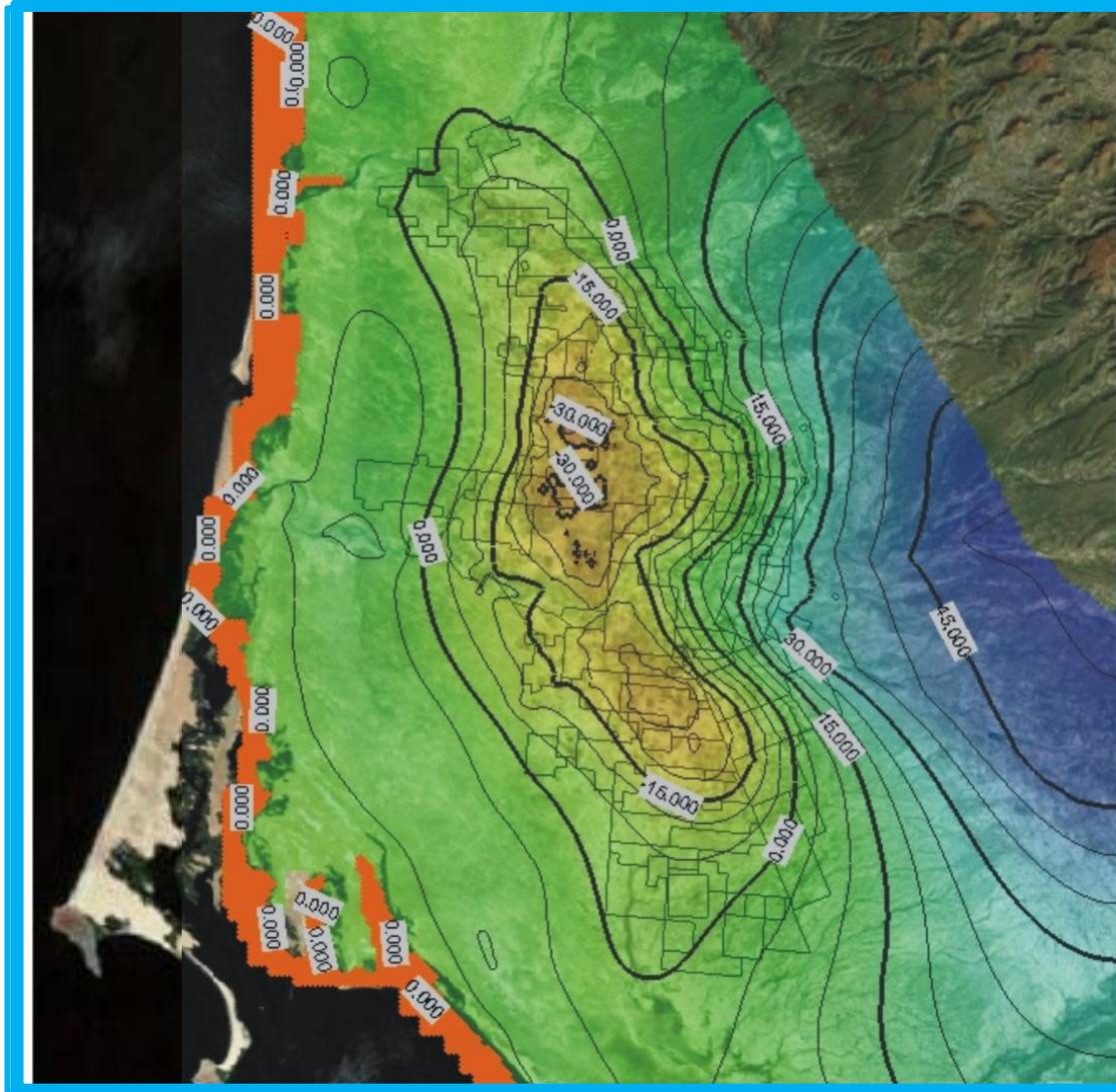


Niveles

50 40 30 20 10 0 -10 -20 -30 -40



2007



Niveles

50 40 30 20 10 0 -10 -20 -30 -40



# PROBLEMAS

- VSD no tiene equilibrio, calidad del agua va disminuirse y cono de descenso crece mas

• **FIN**