

2^{as} Jornadas Técnicas sobre la
**RECARGA ARTIFICIAL
DE ACUÍFEROS
Y REÚSO DE AGUA**



Jornadas del
AGUA
UNAM



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM



Torre de Ingeniería, UNAM, México D.F.
28 y 29 de agosto de 2013

“Planificación de la recarga artificial
del acuífero Valle de Santo Domingo,
B.C.S. México”.



Jobst Wurl

Universidad Autónoma de Baja California Sur



Introducción

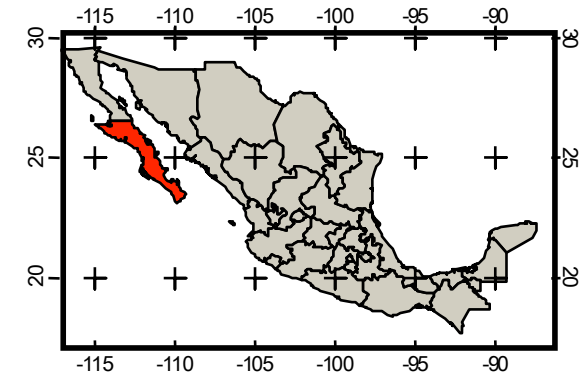
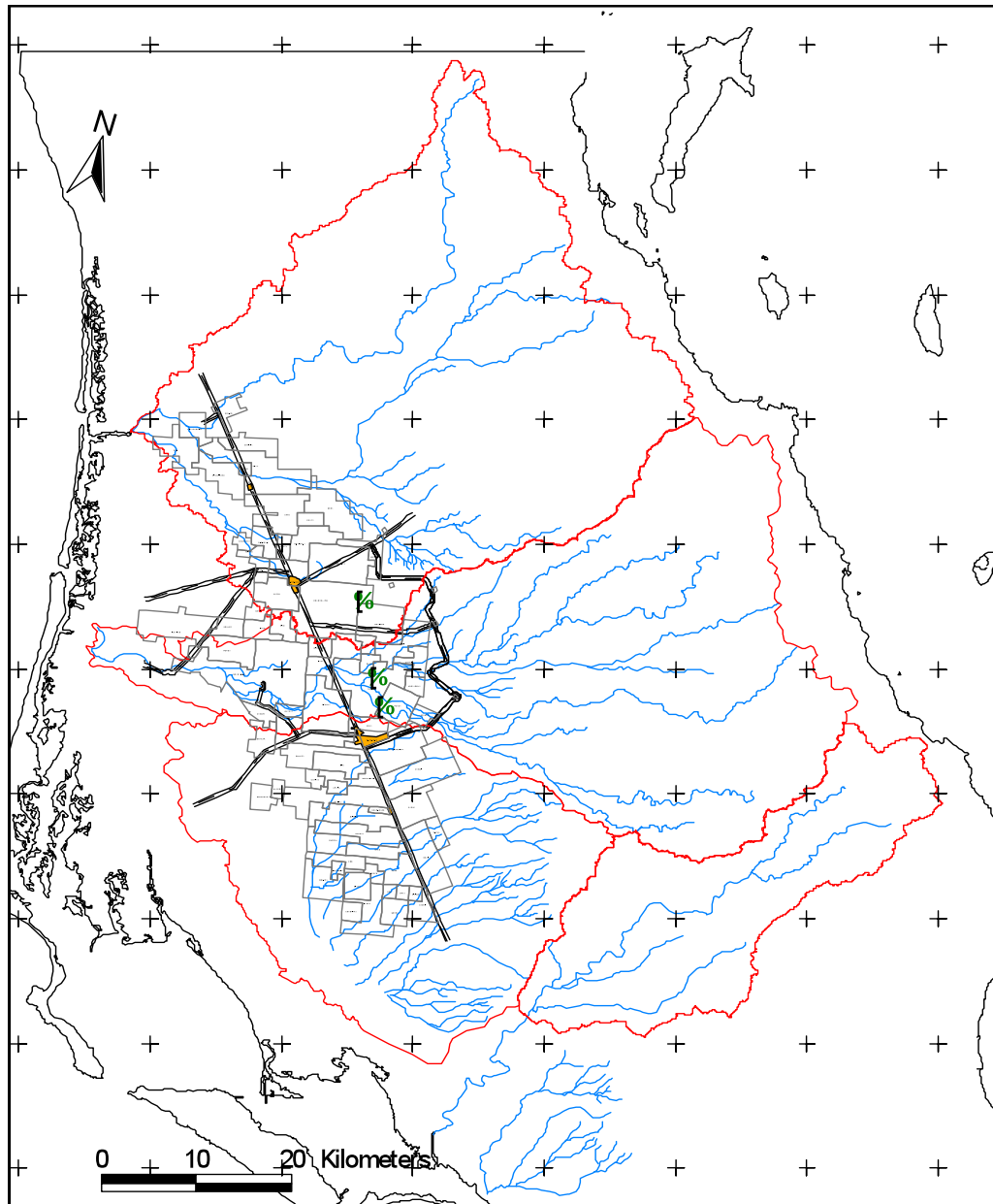
- ❑ Baja California Sur tiene una **escasez crítica de agua**, y por su tamaño y productividad el **acuífero Valle de Santo Domingo** es uno de los mas **importantes**.
- ❑ El recurso hídrico en B.C.S. se obtiene de **fuentes subterráneas que están sobreexplotados**.
- ❑ Representa un **recurso fundamental** para el sostenimiento de las **actividades productivas** y, por tanto, de las poblaciones radicadas en su área de influencia
- ❑ La **mayor** parte del recurso (**94%**) es para **fines agrícolas**, de los cuales 87% es de pequeña propiedad y el restante ejidal



Imagen de satélite Landsat 7







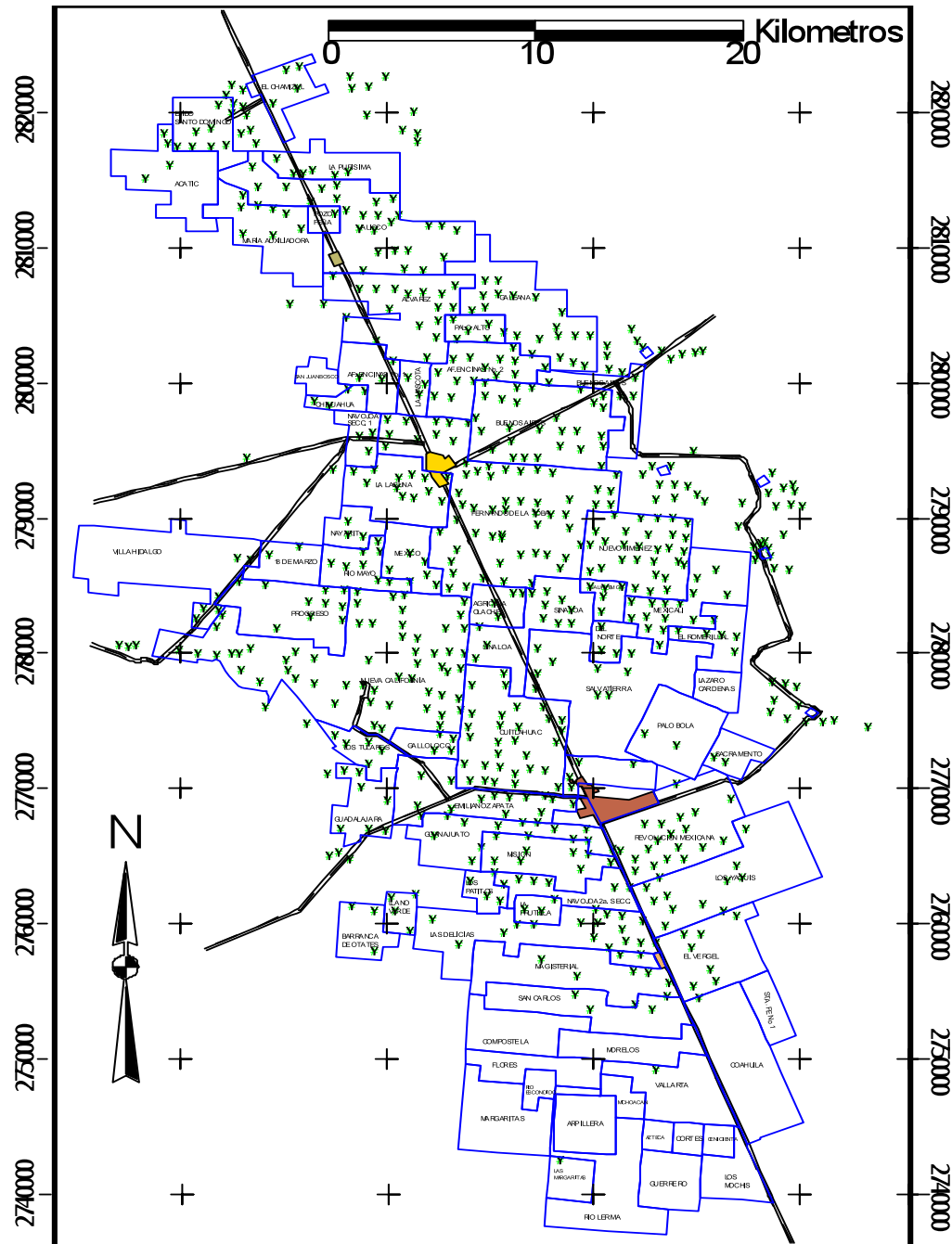
**Superficie del Distrito
1,200,000 ha**

**Superficie dominada
por obras de riego
72,737 ha**

**Superficie regada en el
ciclo 2004 – 2005
29,228 ha**

**Usuarios en uso
agrícola 1,363**

703 Pozos



Leyenda



Carreteras.

Ciudades.



CD. COSTITUCION



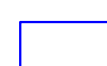
CIUDAD INSURGENTES



IGNACIO ZARAGOZA



VILLA MORELOS

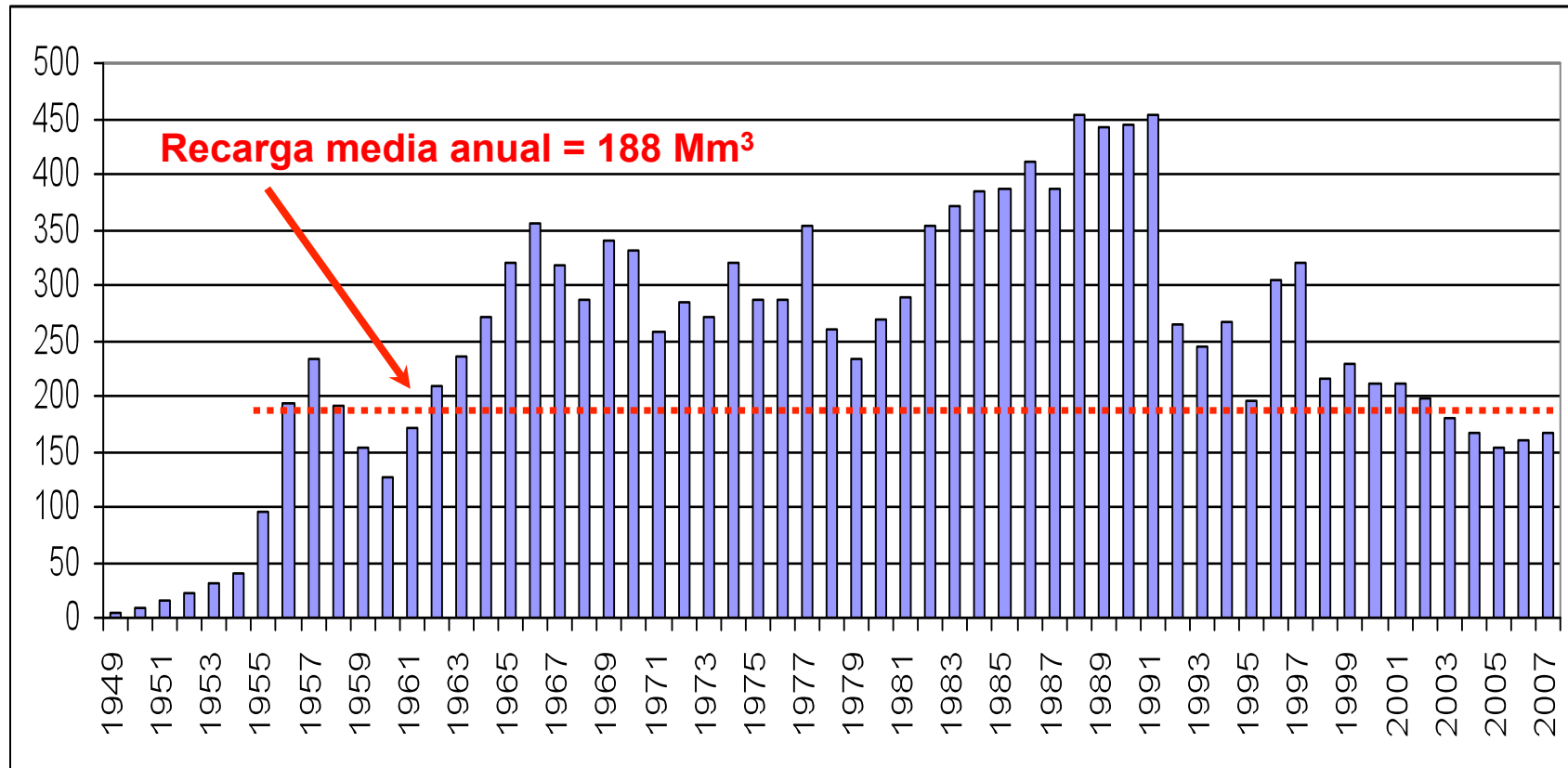


Lotes de m_ego_066.

8

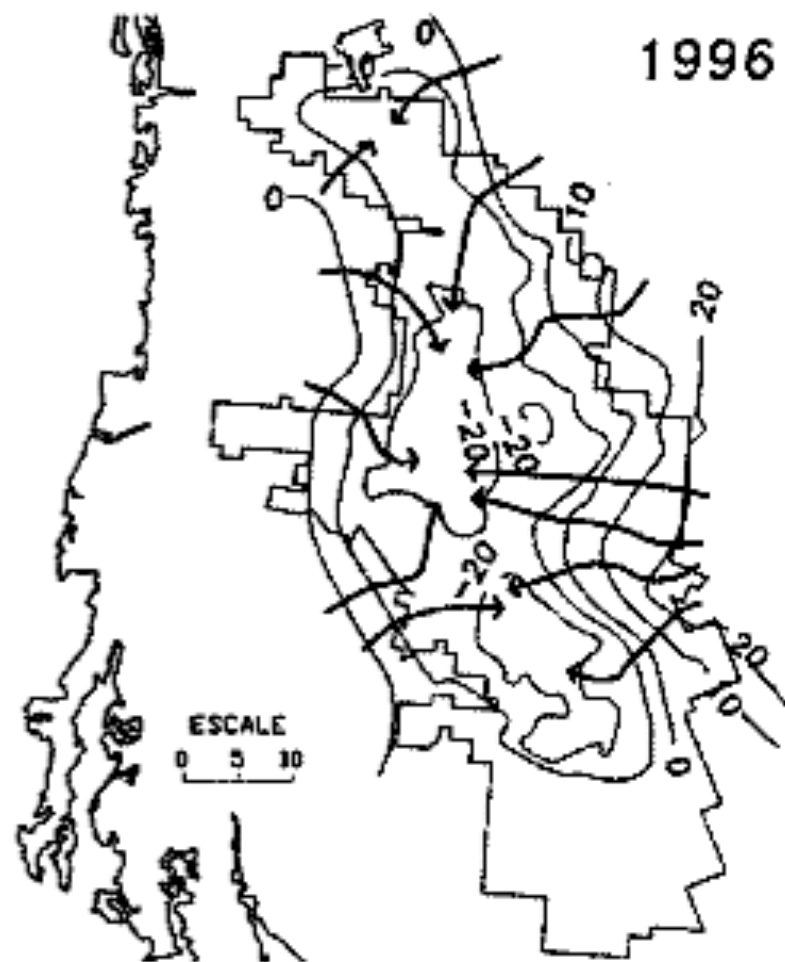
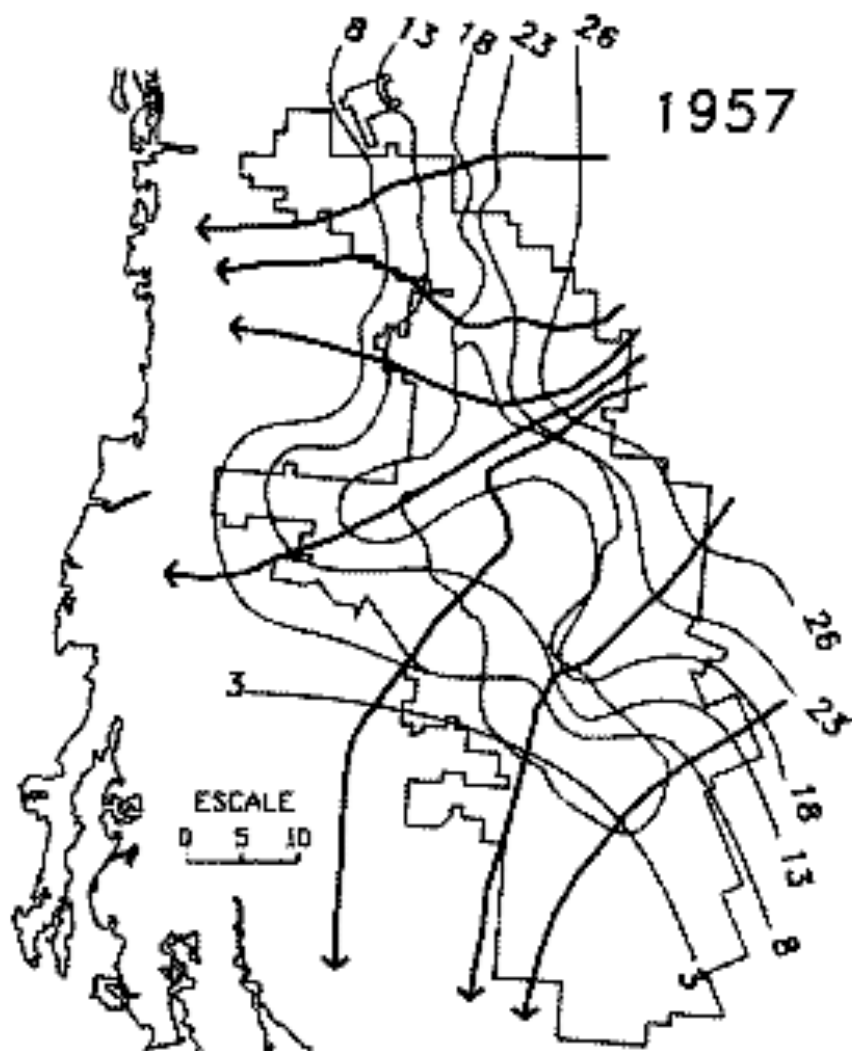
No de pozos.shp

Extracciones entre 1949 y 2007



La sobreexplotación provocó un déficit de 5,213 Mio m³ de agua en el acuífero, de lo cual resulta un déficit anual en promedio de 88.4 Mio m³.

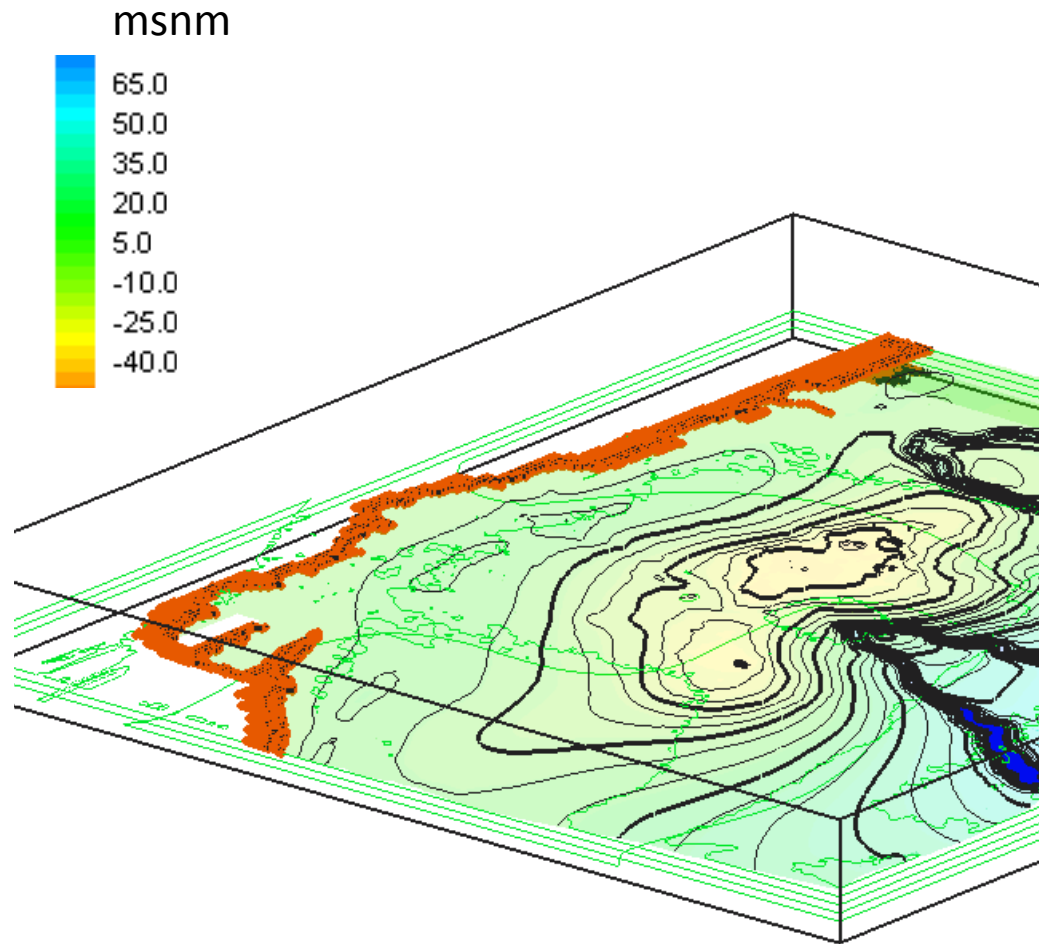
Nivel estático y líneas de flujo según DESISA 1997

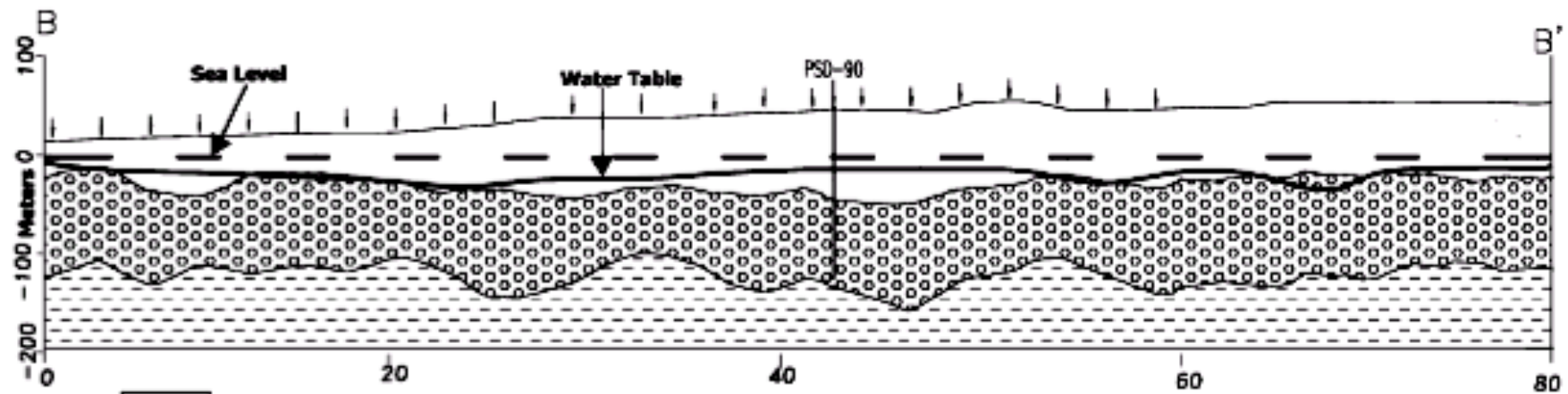
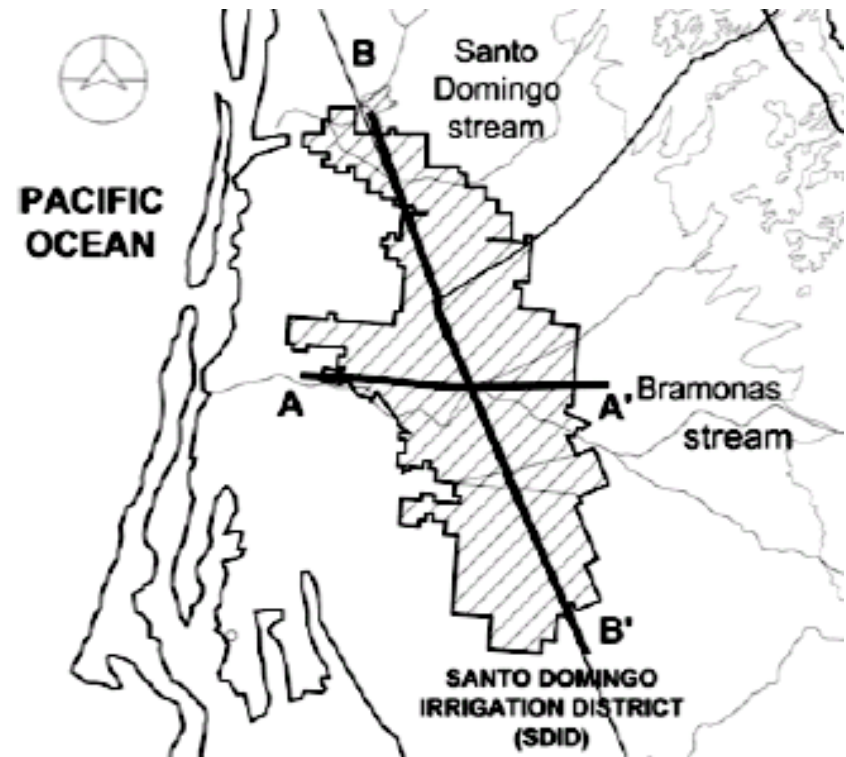
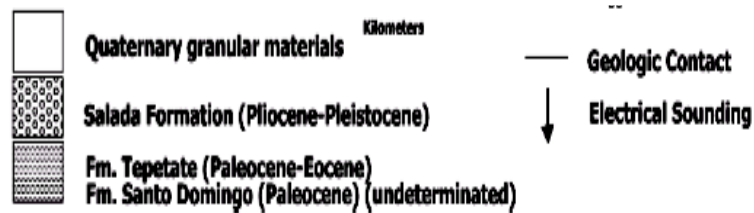
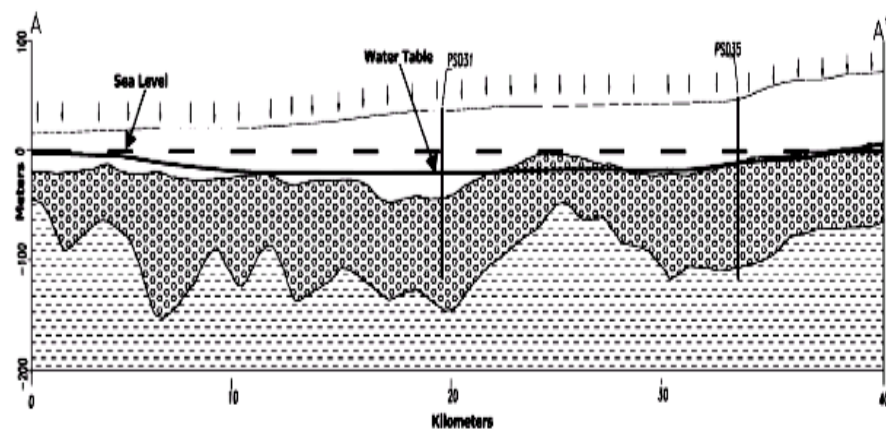


Modelo Hidráulico MODFLOW

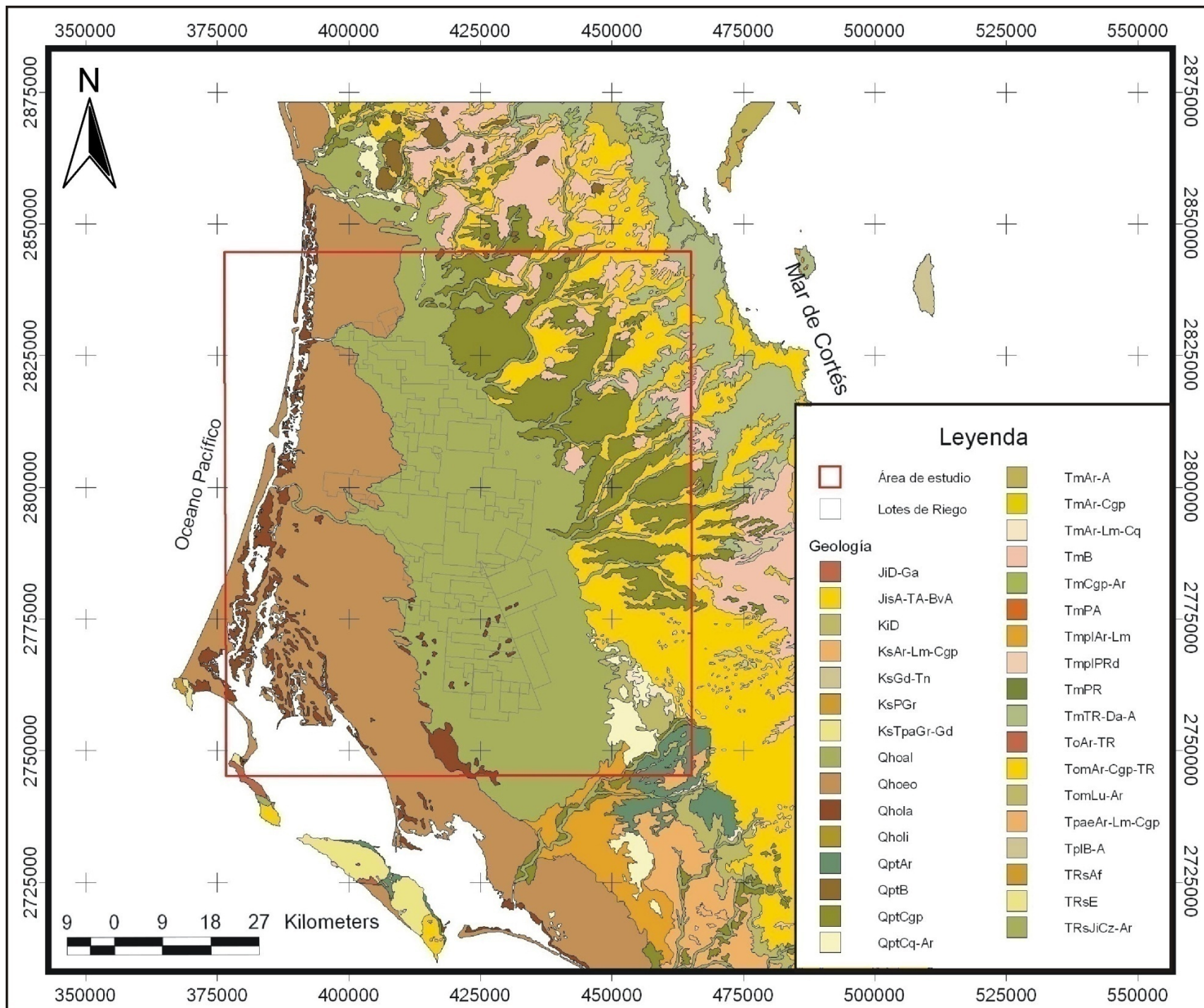
Combinado con HEC – 1 (via streamflow)

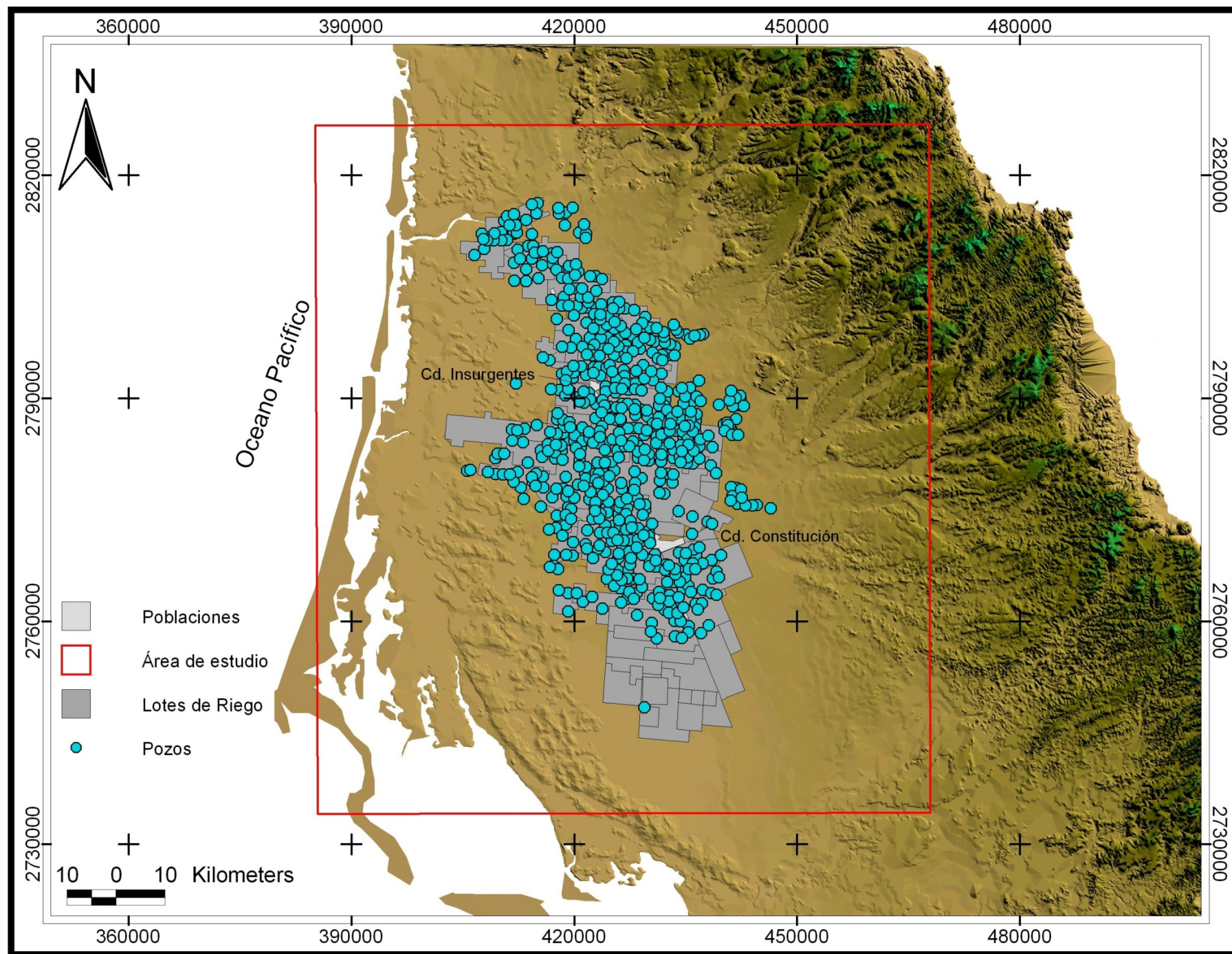
- ❑ Modelo de diferencias finitas de 43,500 celdas con resolución de 500m.
- ❑ Calibrado con bases de datos de la CONAGUA para los años 1996 a 2007.
- ❑ Utilizado para formular pronósticos del agua subterránea con base en:
 - Variación de las extracciones.
 - Efectos de obras de recarga.
 - Infiltración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

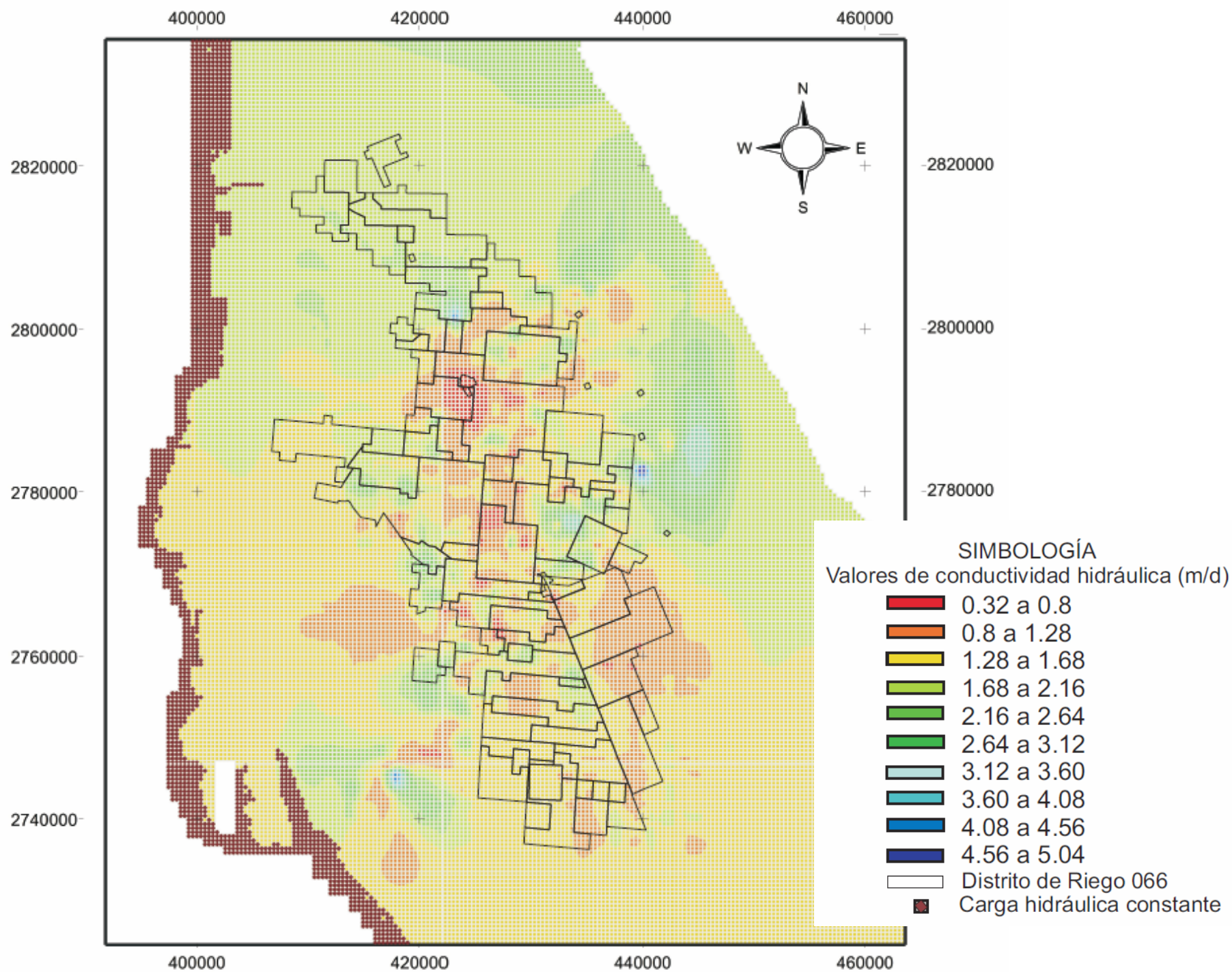


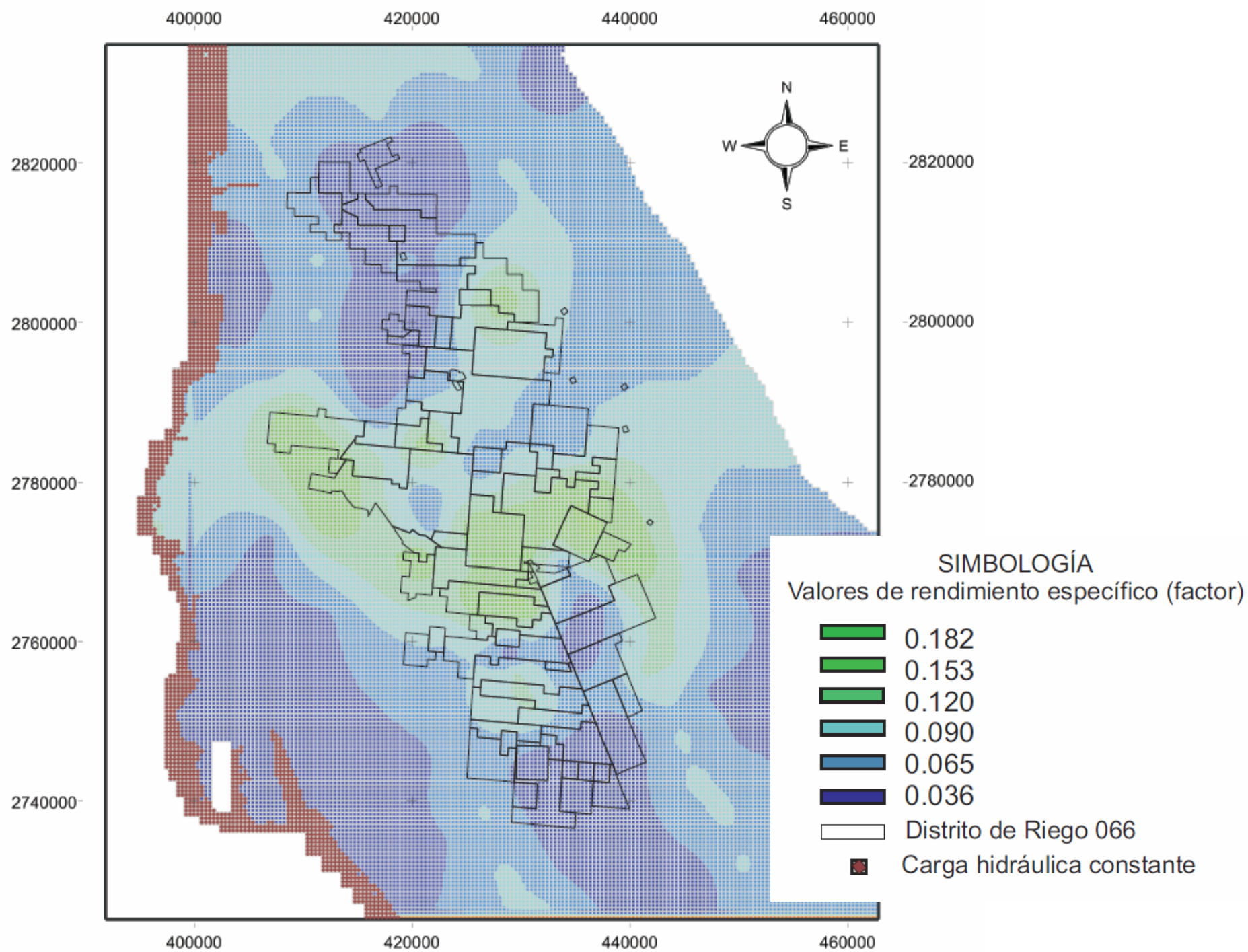


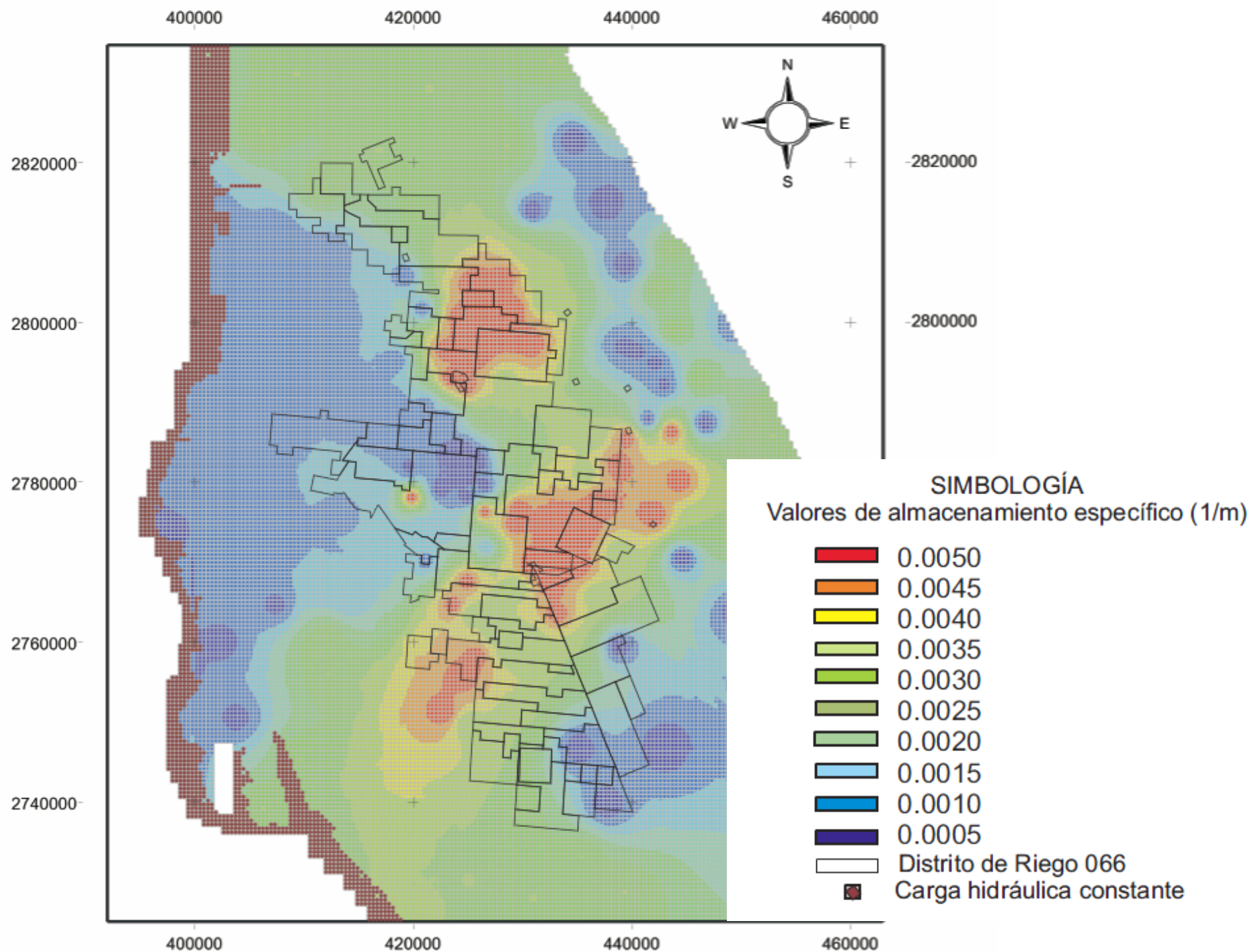
Fuente: Cardonas et al. 2003

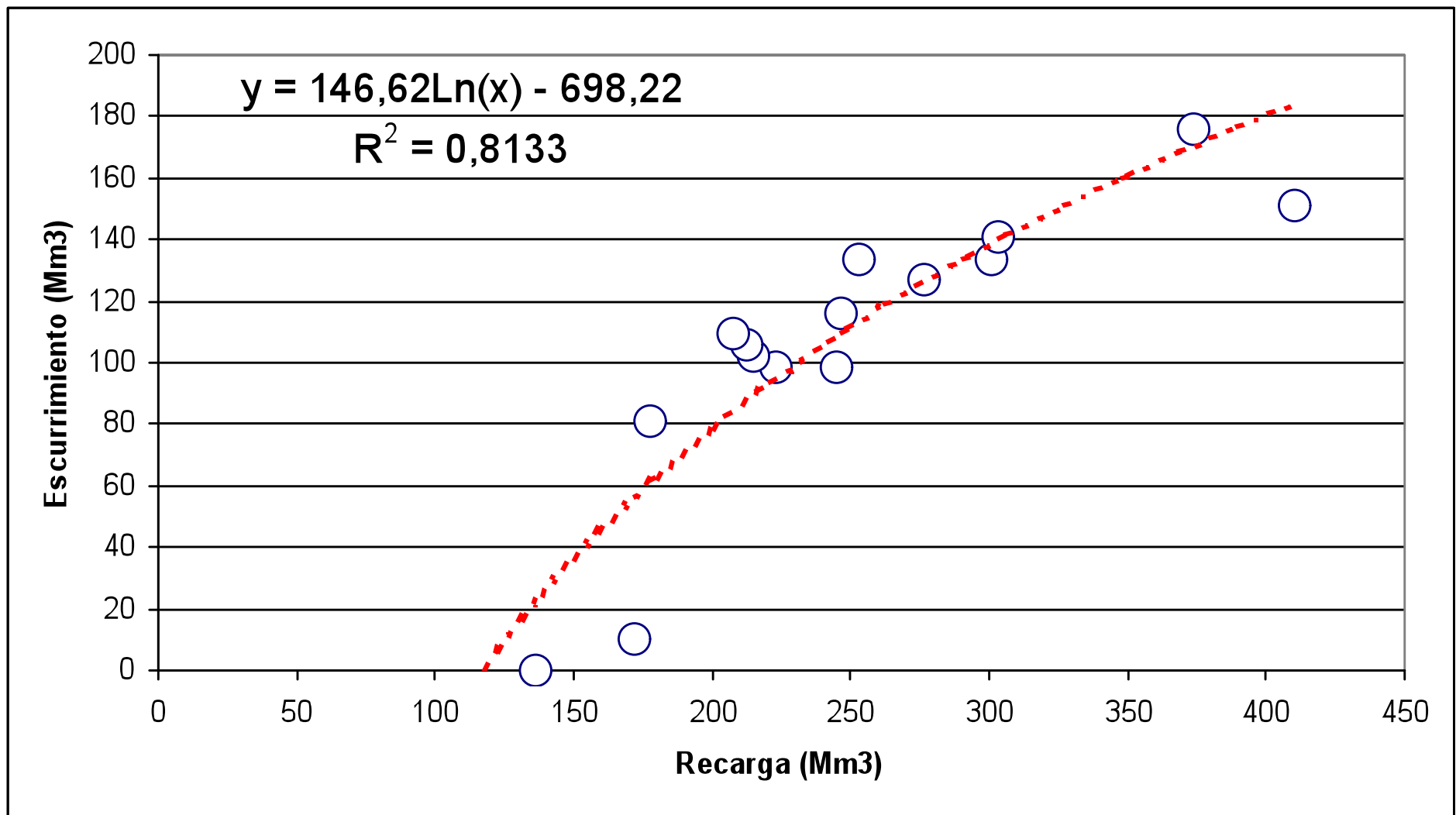








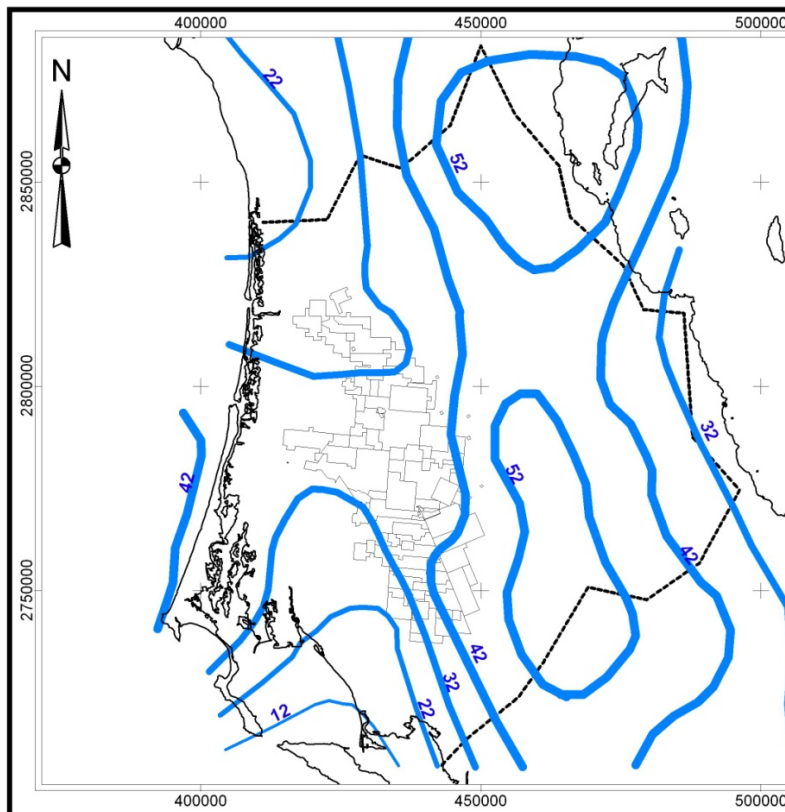




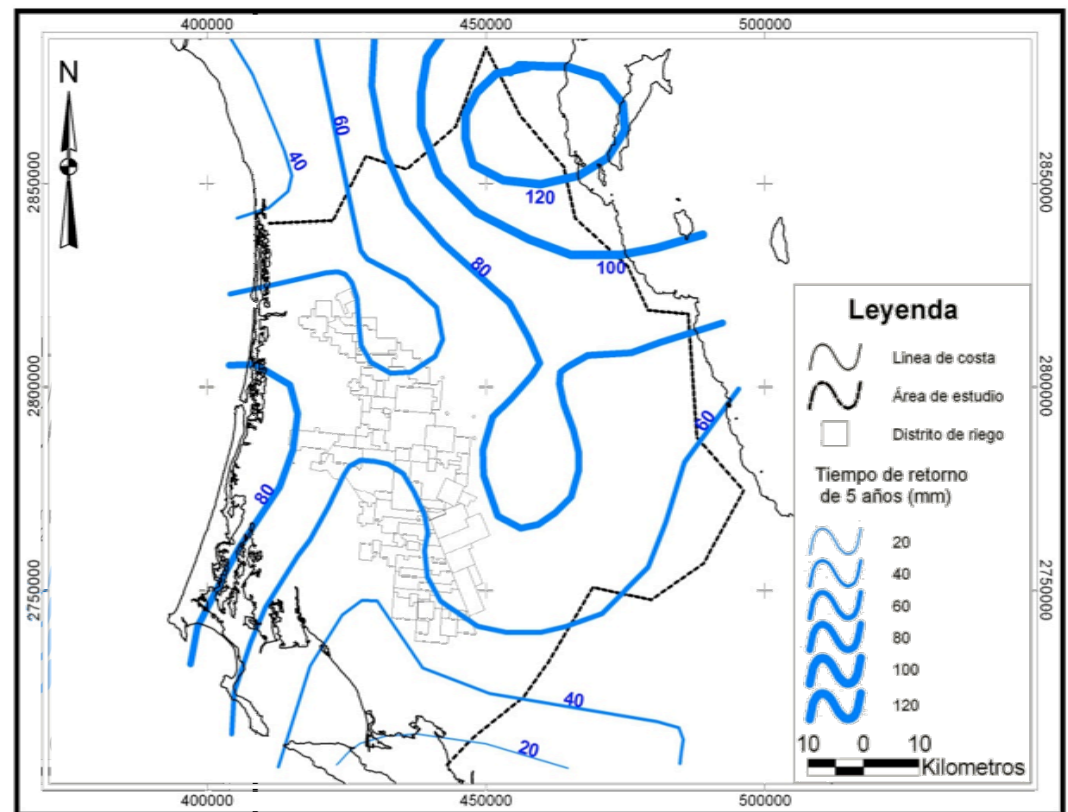
Relación entre escurrimiento y recarga entre
1957 y 1995 según SEMARNAP 1996)

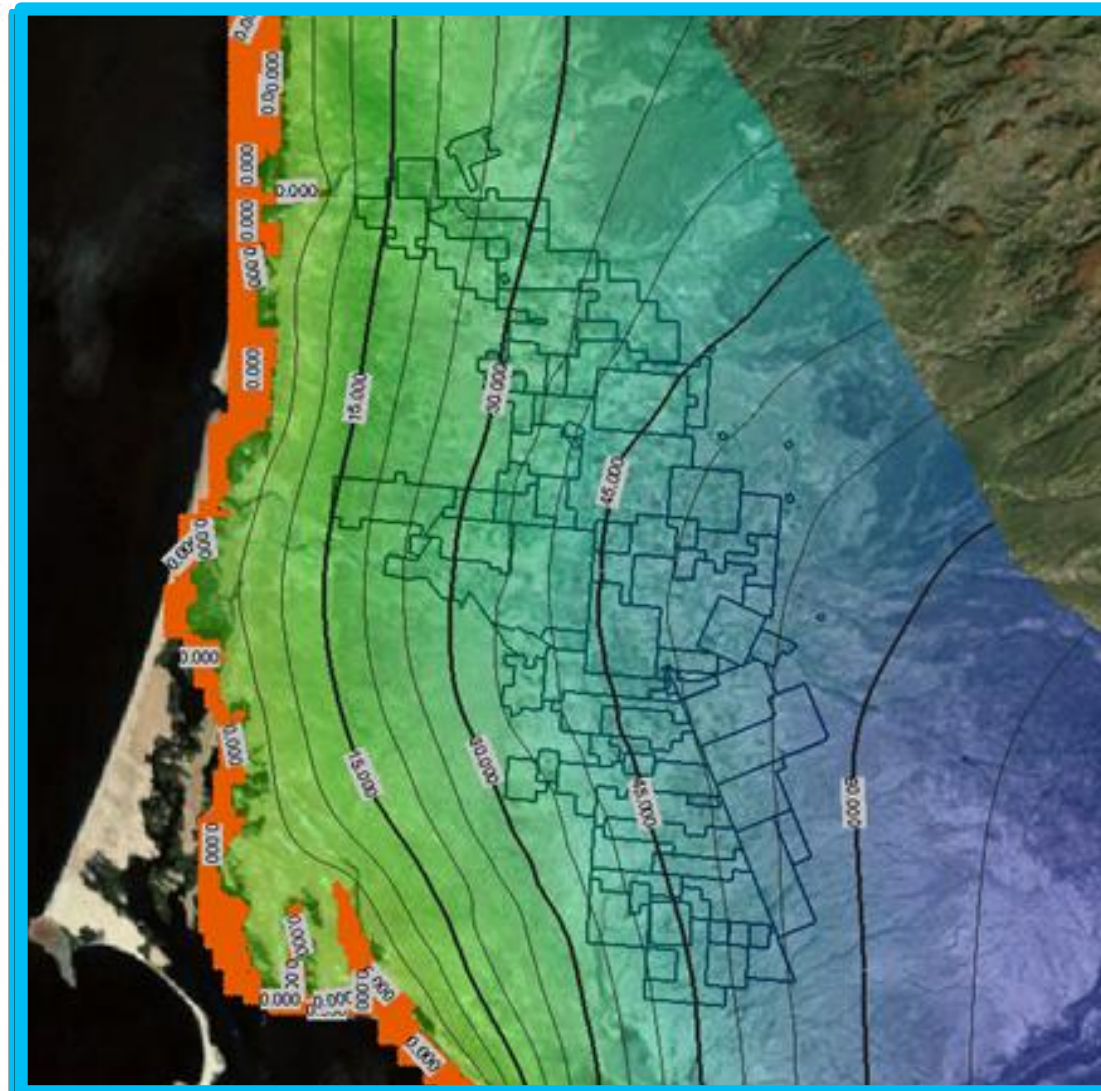
Isolíneas del tiempo de retorno

2 años



5 años





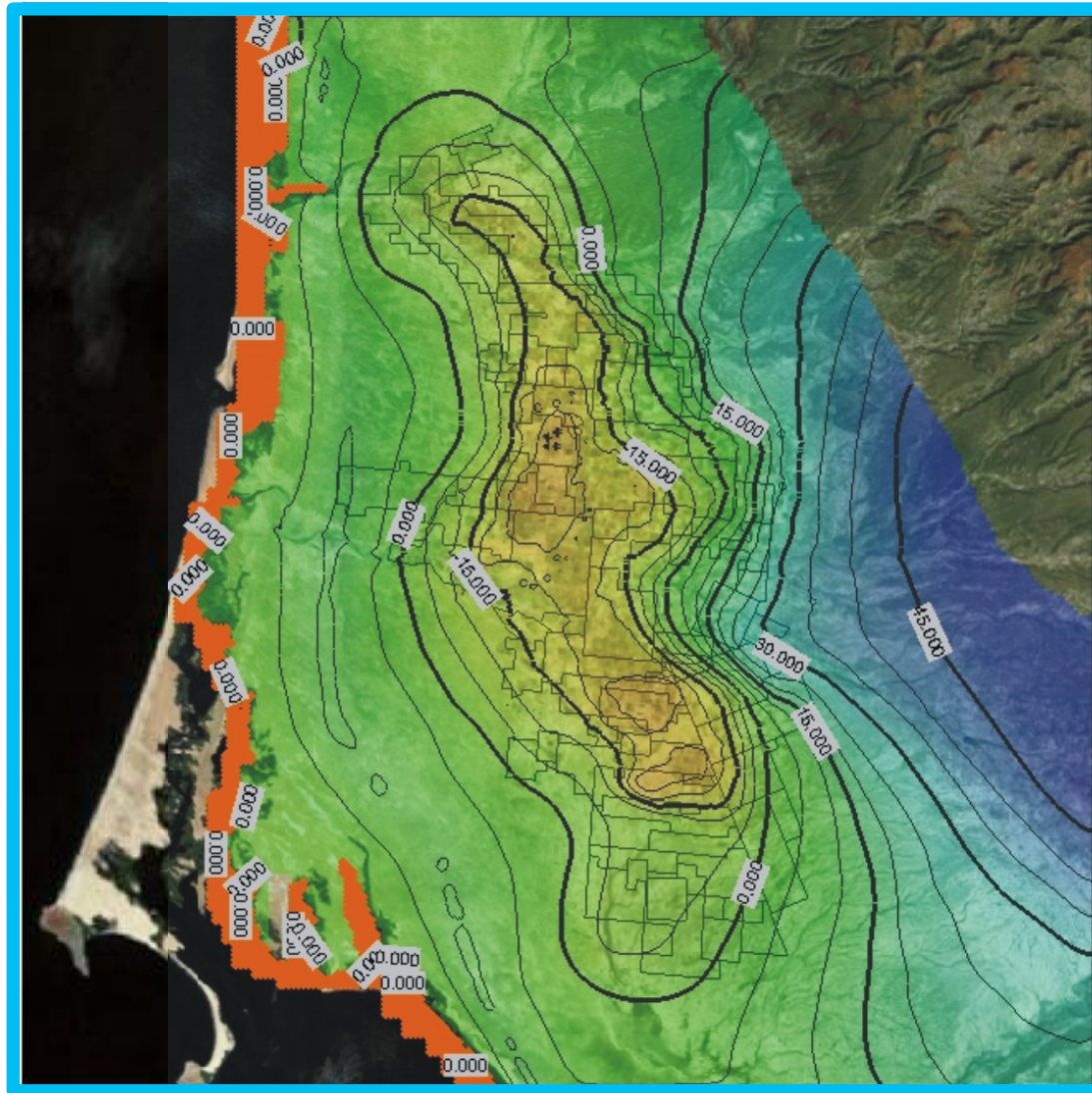
Condiciones
naturales
antes de
1949

Niveles

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



1996

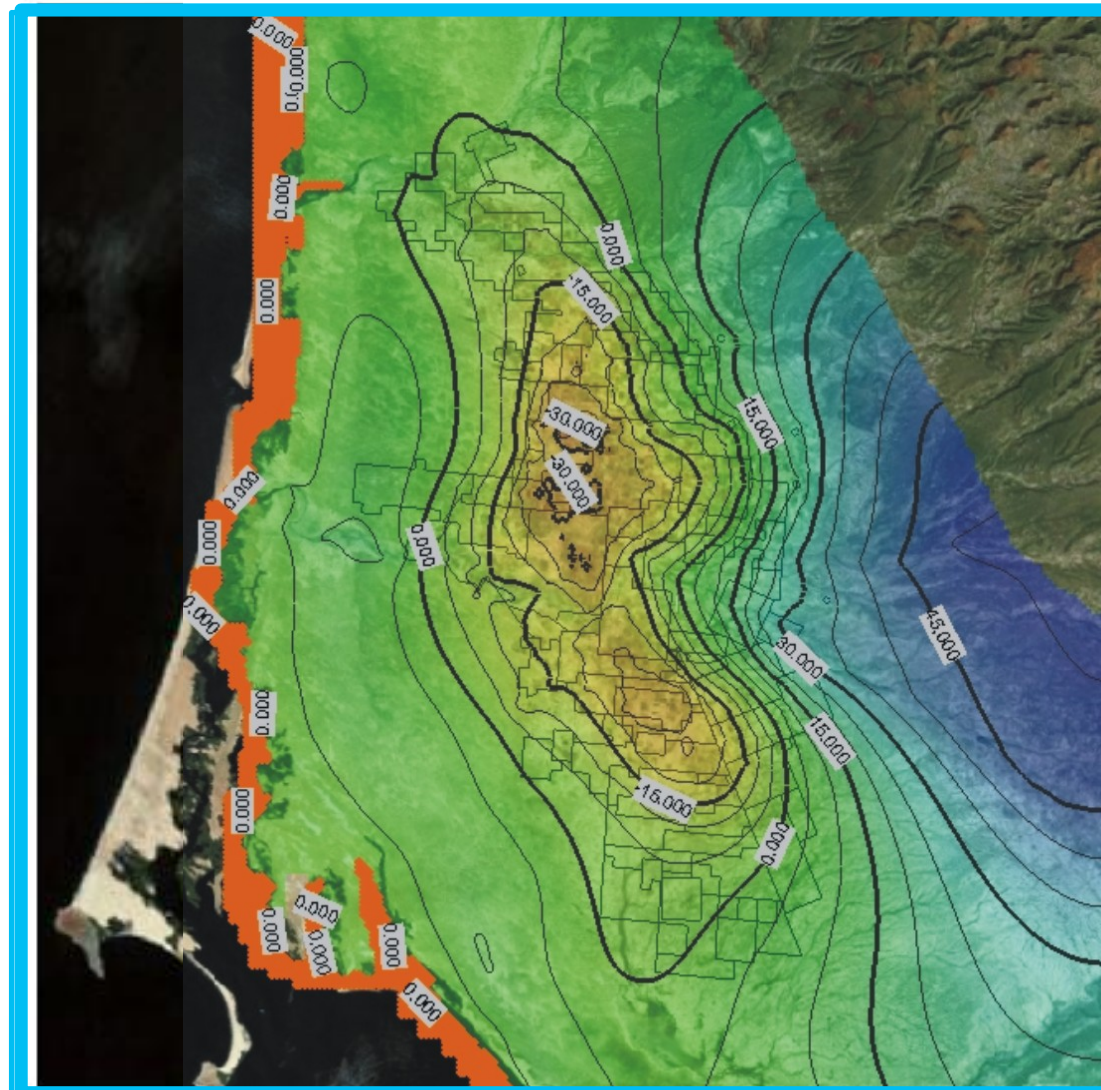


Niveles

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



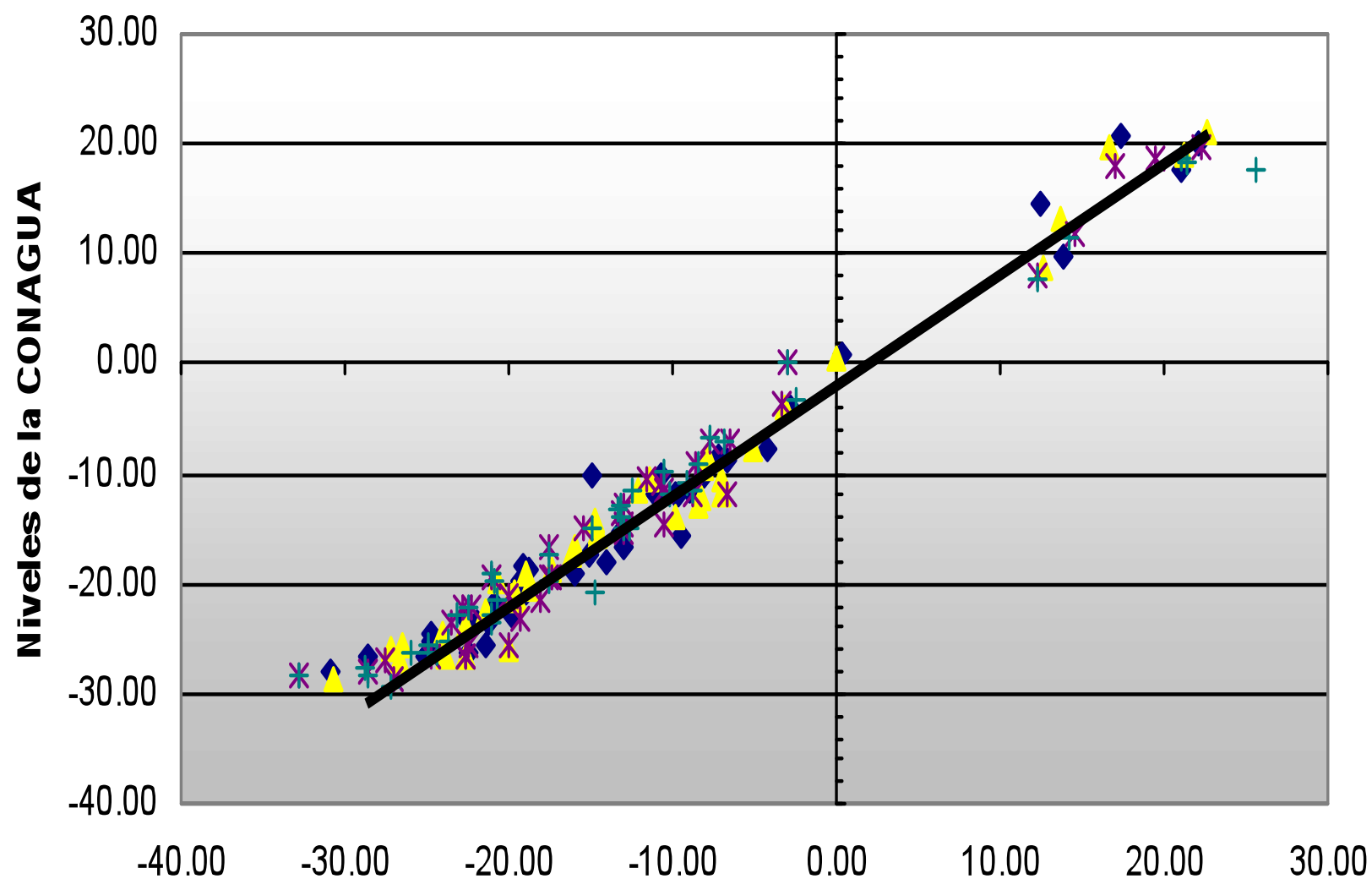
2007



Niveles

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





Niveles simulados

◆ 1998 ▲ 2000 ✱ 2003 + 2004

$$y = 0.9893x - 1.4639$$

$$R^2 = 0.9723$$

Balance Hidrológico

- ☐ La precipitación promedio sobre el Valle de Santo Domingo es de 1,342 millones de m³.
- ☐ Tomando este valor como el 100%, el agua que se infiltra representa el 6%.
- ☐ El agua que forma escurrimientos es 7%, de los cuales 2% se infiltra y 5% se evapora o escurre al mar.
- ☐ El restante 87% se evapotranspira.

Balance Hidrológico: Con las condiciones del año de 2007 se tiene para el Valle de Santo Domingo el siguiente balance.

Cuenca	Recargas				Descargas			
	Flujo Subterráneo	Recarga natural	Recarga inducida	Total entradas	Bombeo	Flujo subterráneo	Total Salidas	Diferencia
Santo Domingo	28'944,269	34'354,608	17'979,787	8'1278,665	8'5618,035	5'364,374	90'982,409	-9'703,744

Cuenca	Recargas				Descargas			
	Flujo Subterráneo	Recarga natural	Recarga inducida	Total entradas	Bombeo	Flujo subterráneo	Total Salidas	Diferencia
Las Bramonas	15'923,161	30'541,439	10'595,330	57'059,929	53'453,950	6'244,401	59'698,351	-2'638,422

Cuenca	Recargas				Descargas			
	Flujo Subterráneo	Recarga natural	Recarga inducida	Total entradas	Bombeo	Flujo subterráneo	Total Salidas	Diferencia
Santa Cruz	4'167,559	41'387,305	5'792,134	51'346,998	29'581,589	81'08,891	37'690,481	13'656,517

Problemática

- Empobrecimiento de la calidad del agua.
- Déficit actual de 20,853 Mm³.
- Con las extracciones del 2007 (168Mm³) y escurrimientos anuales el agua subterránea aumenta 9Mm³ al año.
- Se requieren 36Mm³ adicionales a la recarga media anual (188Mm³) tomando como referencia 168Mm³ de extracción para que el cono de descenso disminuya su profundidad.
- Geología poco favorable a la infiltración



Estudio para la Recuperación del Acuífero del Valle de Santo Domingo

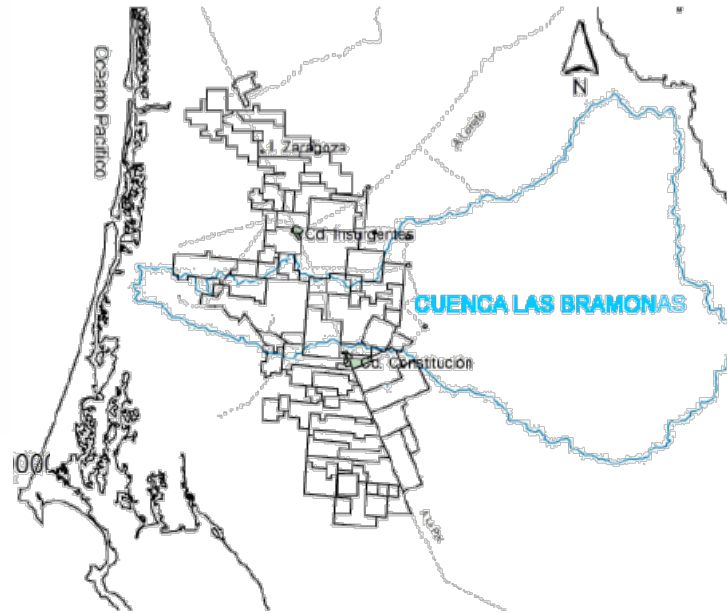
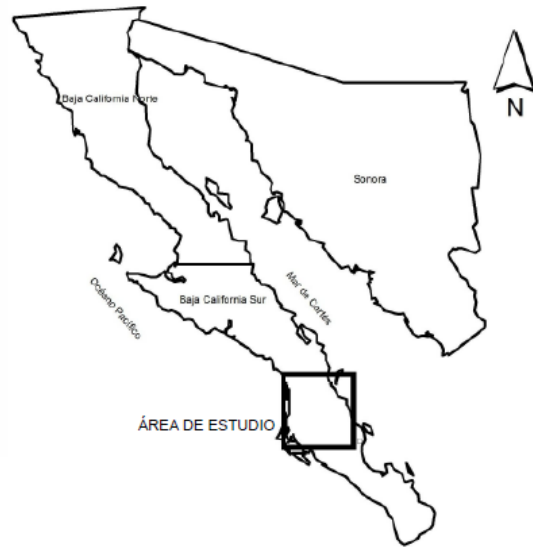
No. DLBCS-UABCS 20080715

- Responsable técnico: JOBST WURL
- Participantes:
- RUBÉN VALENTÍN AMADOR ZUÑIGA, ISABEL CRISTINA BELTRÁN CASTRO, JOSÉ JUAN DÍAZ GUTIÉRREZ, ALBA ERITREA GÁMEZ VÁZQUEZ, IVONNE DALILA GÓMEZ CABRERA, REYNA MARÍA IBAÑEZ PÉREZ, MIGUEL ANGEL IMAZ LAMADRID, ANTONINA IVANOVA, EDUARDO JUAREZ LEÓN, MANUEL DE JESÚS LUNA CISNEROS, CYNTHIA NAYELI MARTÍNEZ GARCÍA, GUSTAVO MERCADO MANCERA, ERNESTO RAMOS VELÁSQUEZ, ALEXANDRA SAUVAGE, ENRIQUE TROYO DIÉGUEZ,

Objetivos

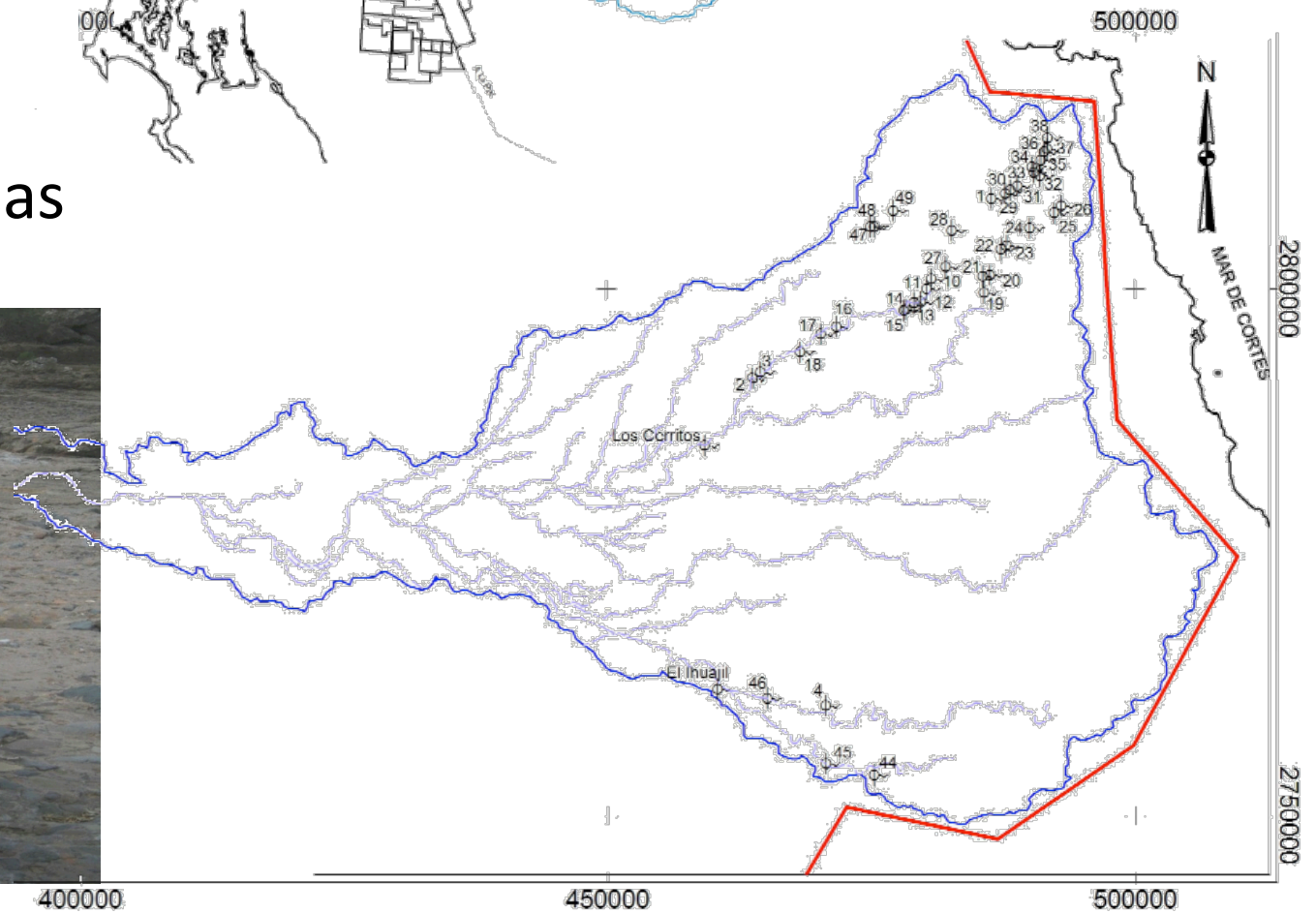
- Identificar sitios adecuadas para la construcción de obras de recarga
- Planear obras de recarga principalmente al oeste del distrito de Riego 066 que permitan retener e infiltrar el agua que para de esta forma fortalecer la barrera
- Cartografiar las obras de recarga existentes y cuantificar sus efectos
- Realizar estudios sobre las condiciones del suelo y subsuelo en el Valle de Santo Domingo
- Describir efectos de la sobreexplotación del Acuífero Santo Domingo
- Elaborar un diagnóstico socioeconómico y cultural del uso y manejo del recurso del acuífero con fines productivos (agrícolas, ganaderos y turísticos) y residenciales
- Análisis de alternativas de manejo en el uso eficiente del agua para reducir la demanda.





Arroyo Las Bramonas

Pequeñas represas

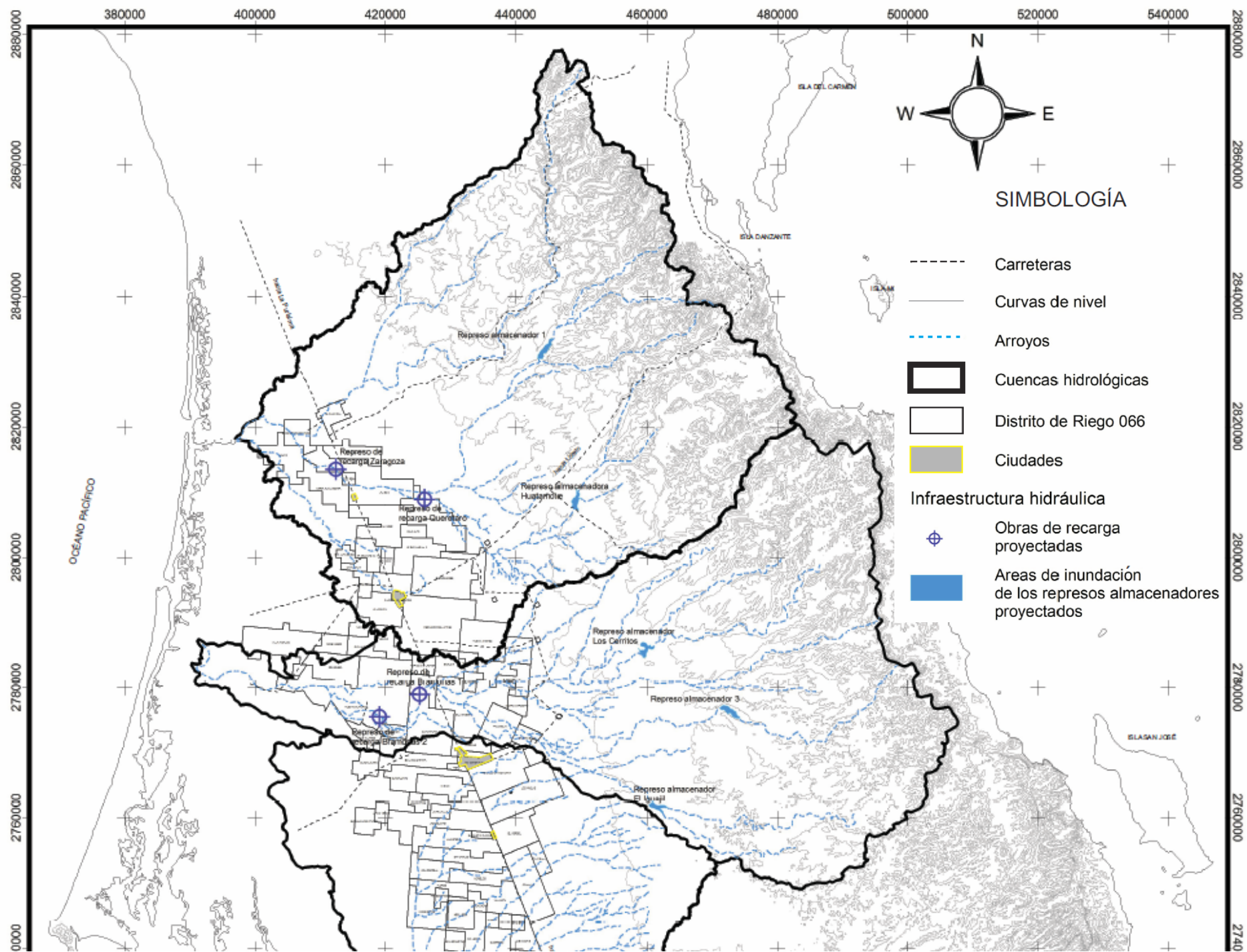


Represa de infiltración



Construcción de sistemas de represas

- Reparación de represas existentes
- Construcción de nuevos represas





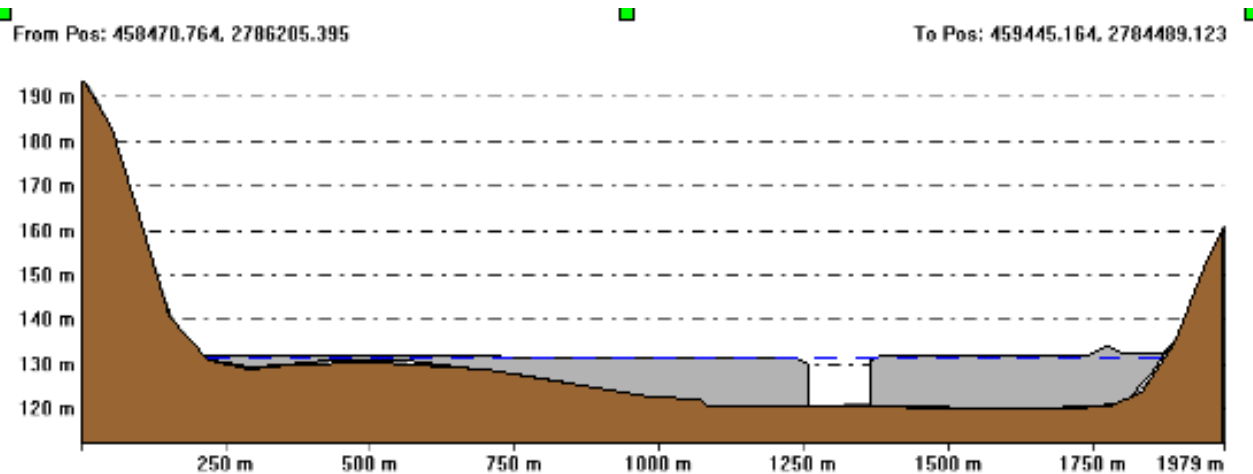
Escarpe formado por la ruptura del represo



Zona de ruptura y aluvión

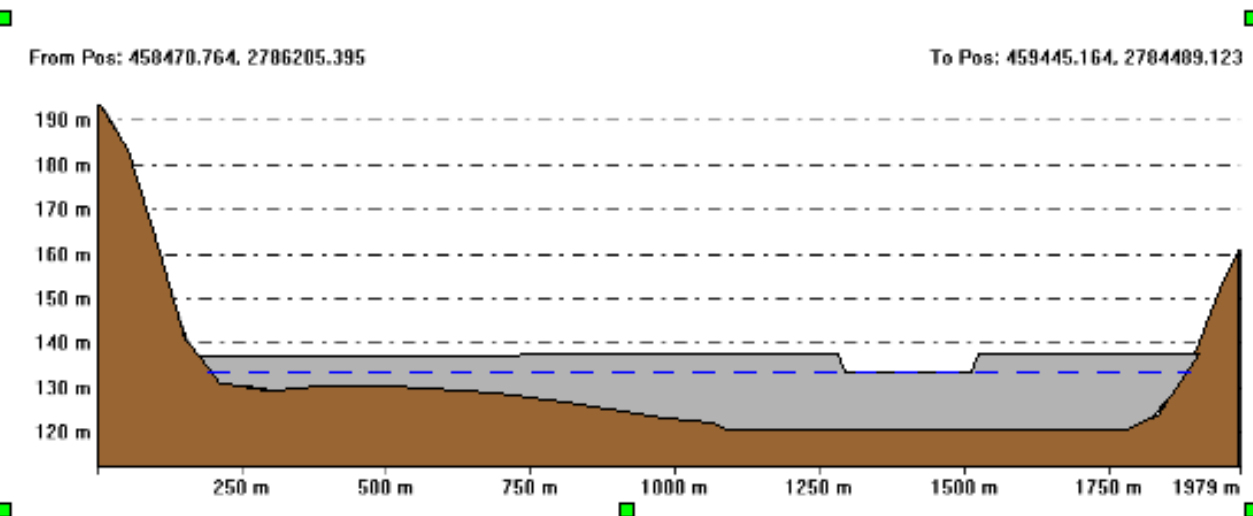


Charco formado por la baja permeabilidad del terreno



Problemática actual

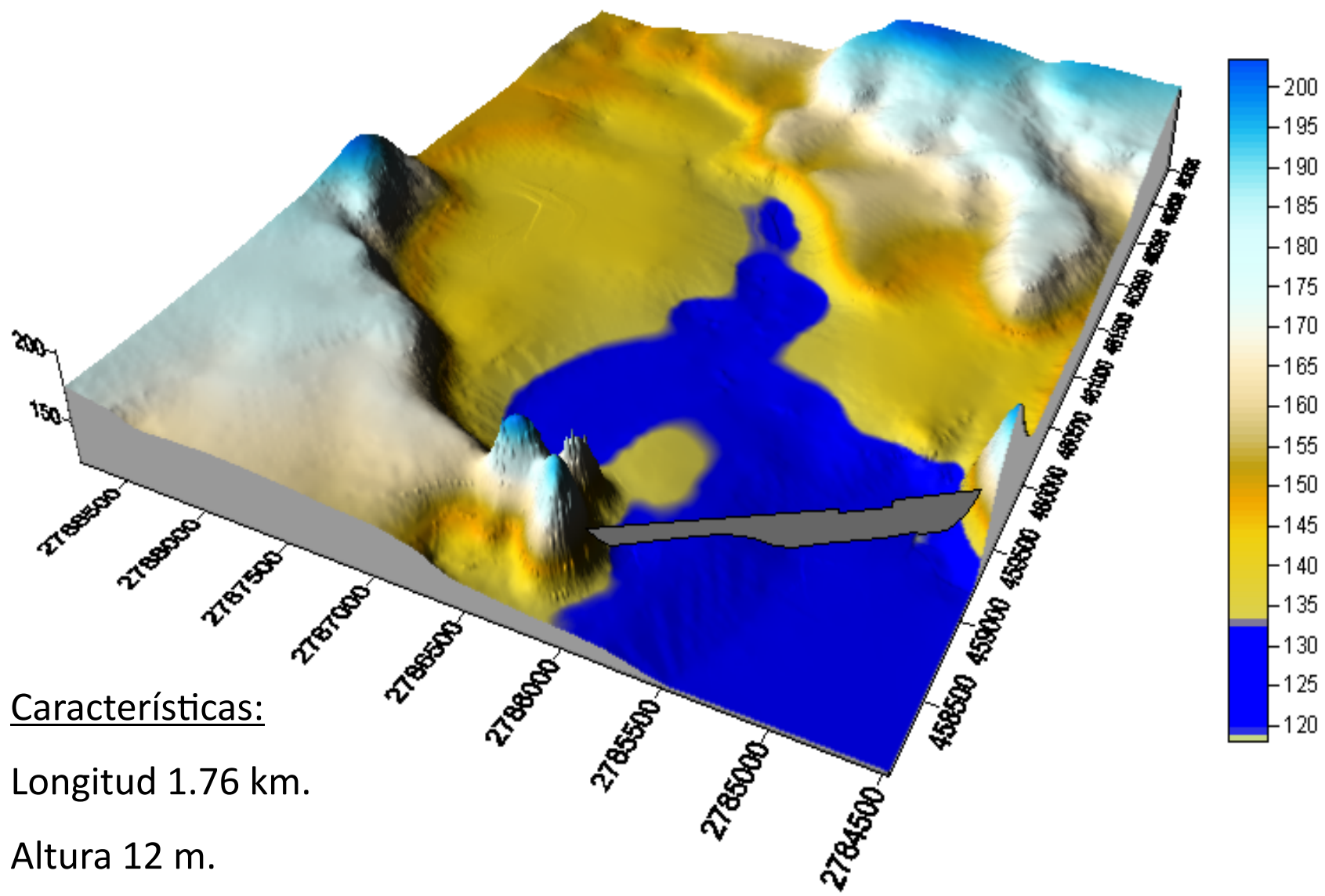
- Vertedero inservible
- La cortina presenta abertura de 65m de ancho
- Cada año aumenta.



Propuesta

- Cerrar la abertura
- Reforzarla con concreto
- En la zona central de la corriente disminuir la altura en 2 metros.

Zona de Inundación



Características:

Longitud 1.76 km.

Altura 12 m.

Ancho 20 m.

Represa Huatamote 1



Charco como efecto de la
baja permeabilidad

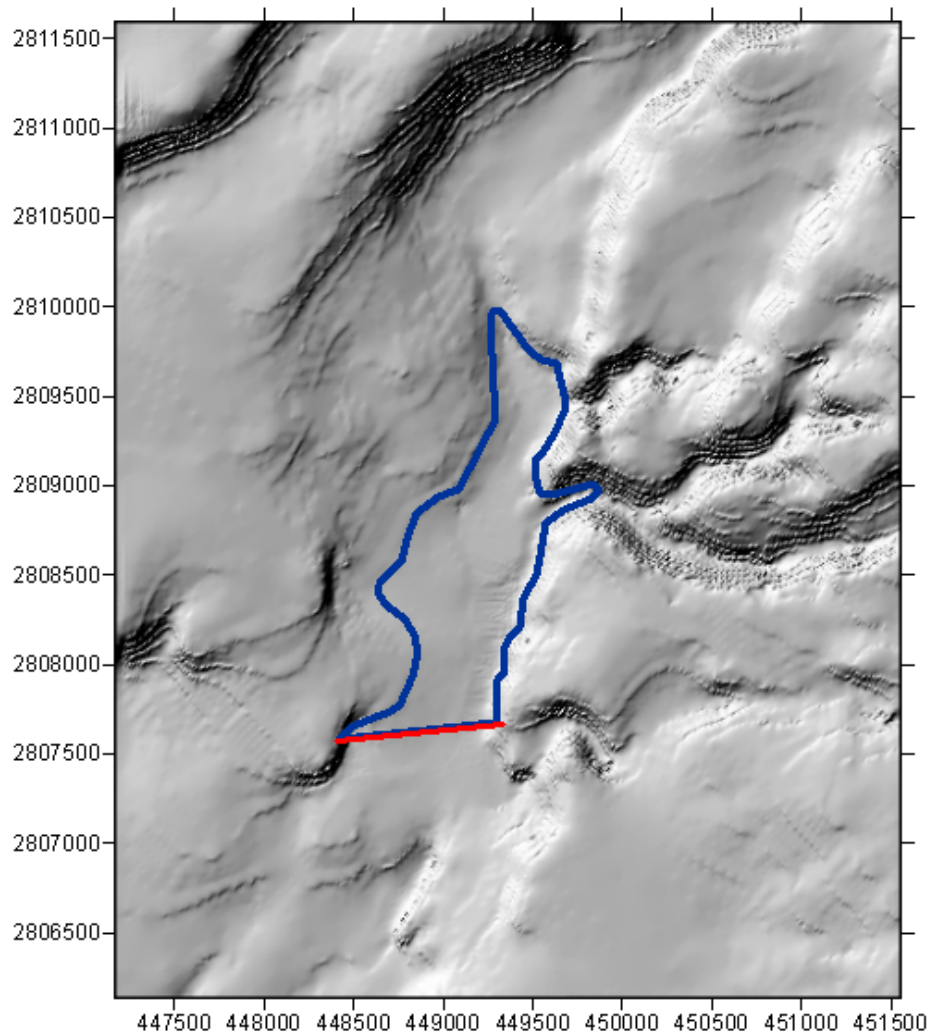


Rocas de la Formación Comondú.
Volcánicas (acuíferos fracturados)
y epiclásticas (acuíferos porosos
de baja permeabilidad)



Terrazas de rocas epiclásticas de
baja permeabilidad

Características de la represa Huatamote 1



Características:

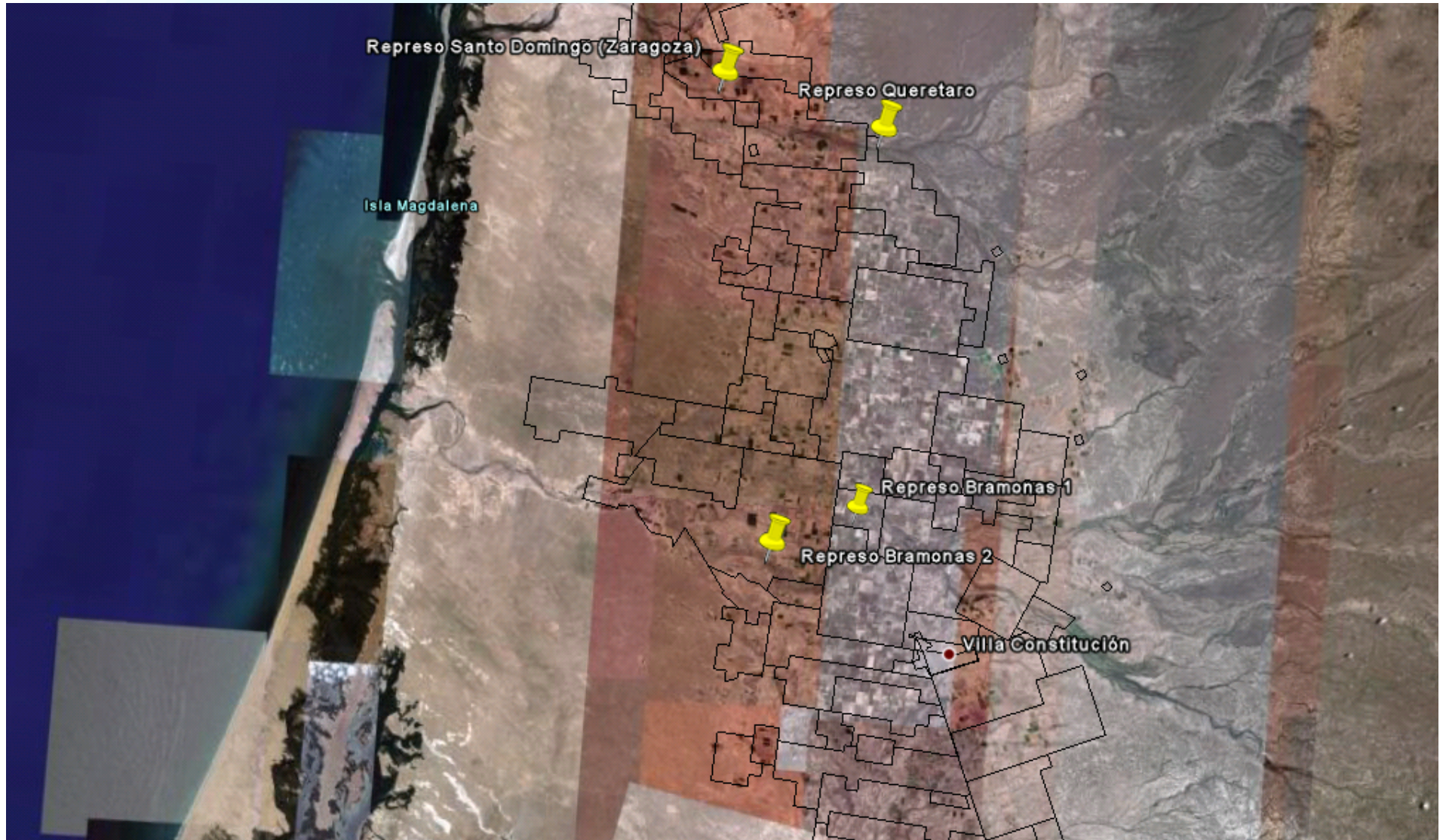
Longitud 809 m.

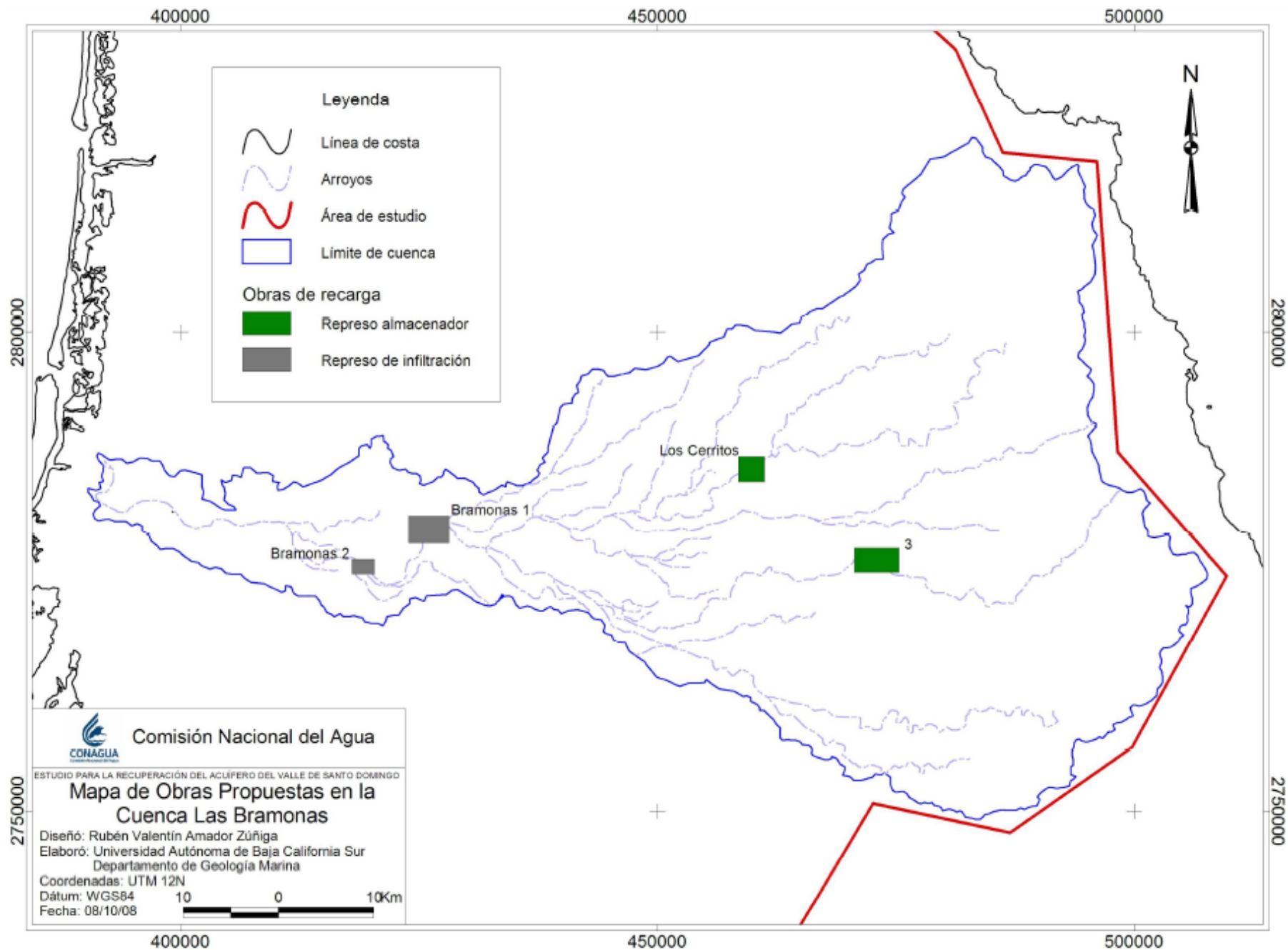
Altura 8 m.

Ancho 15 m.

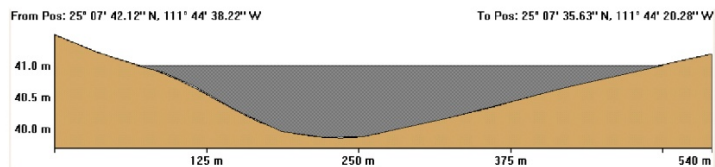
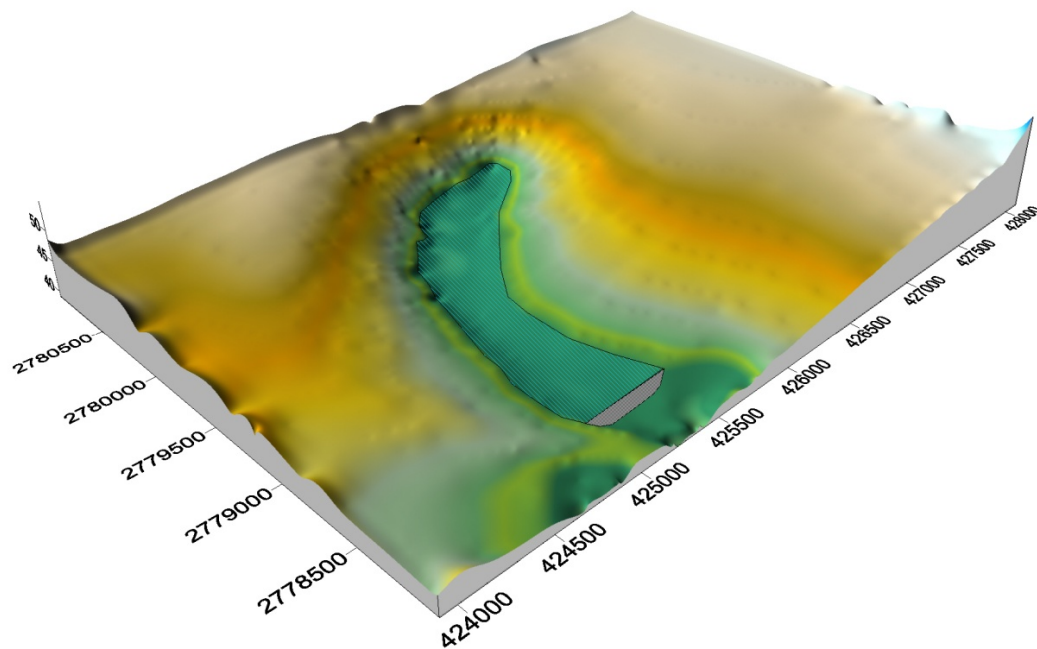
Capacidad de almacenaje
(estimada) 8.7Mm³

Ubicación de los repesos de recarga





Represa Bramonas 1



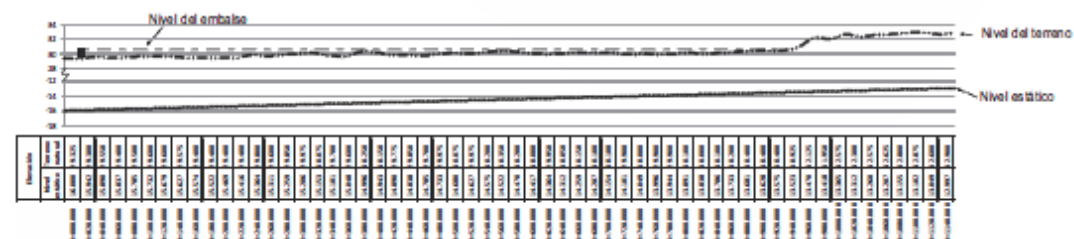
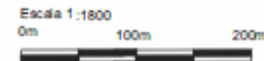
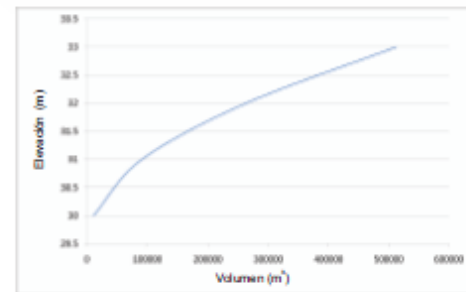
Datos Generales

Longitud de la cortina	478 m
Altura de la cortina	1 m
Área del embalse	671,670 m ²
Volumen del embalse	524,632 m ³

Represa

Pozo de observación

Pozo de observación



UTM zona 12N

WGS84

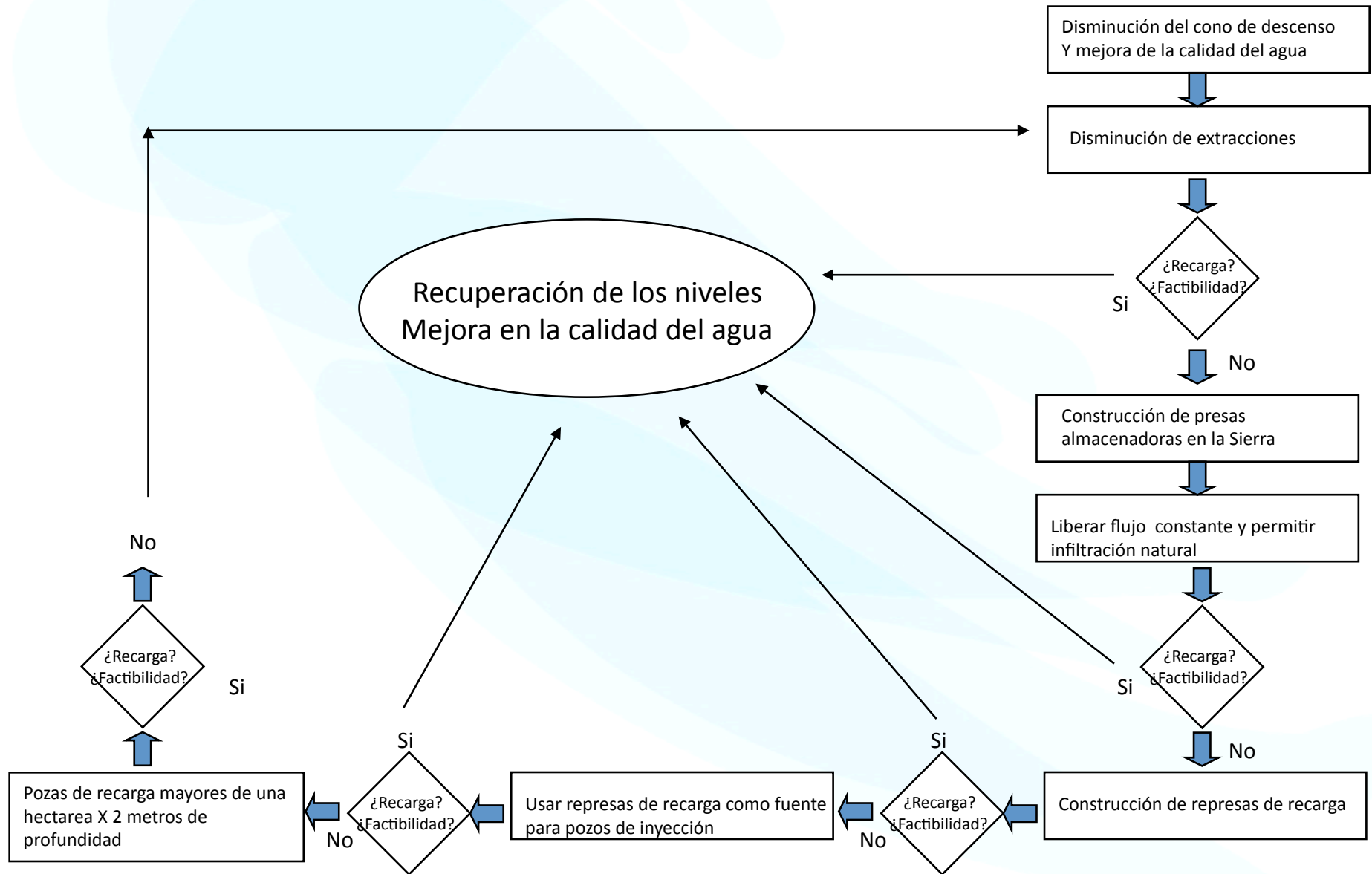
Escala 1: 1800

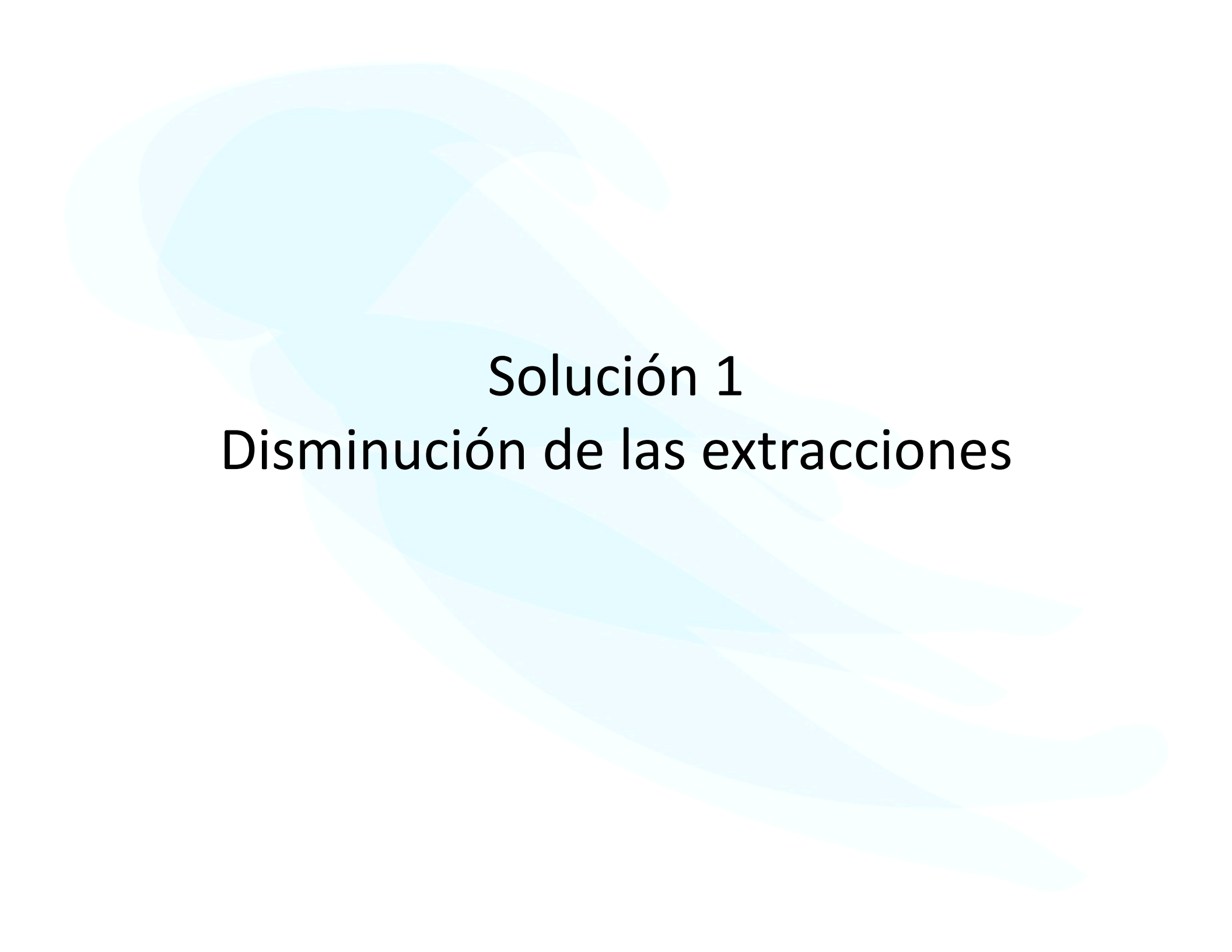
Características presas de infiltración

Nombre	Longitud (m)	Altura (m)	Área del embalse (m ²)	Volumen del embalse (m ³)
Represo de recarga Querétaro	160	2.5	185361	206525
Represo de recarga Bramonas 1	478	1	671670	524632
Represo de recarga Bramonas 2	125	3	574190	757935
Represo de recarga Zaragoza	134	2	393862	572884

Solución Propuesta

Ejecución de acciones y construcción de obras de acuerdo a los resultados observados



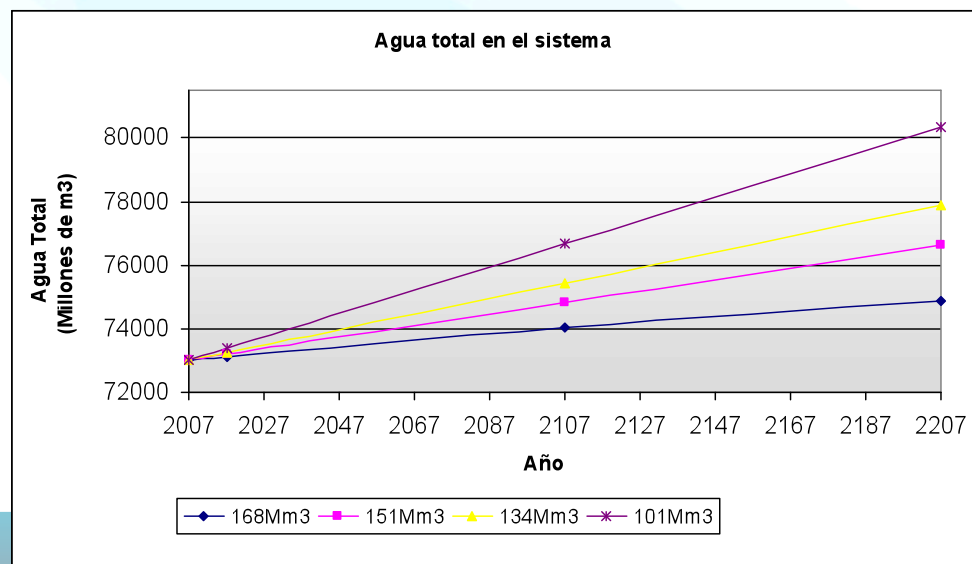


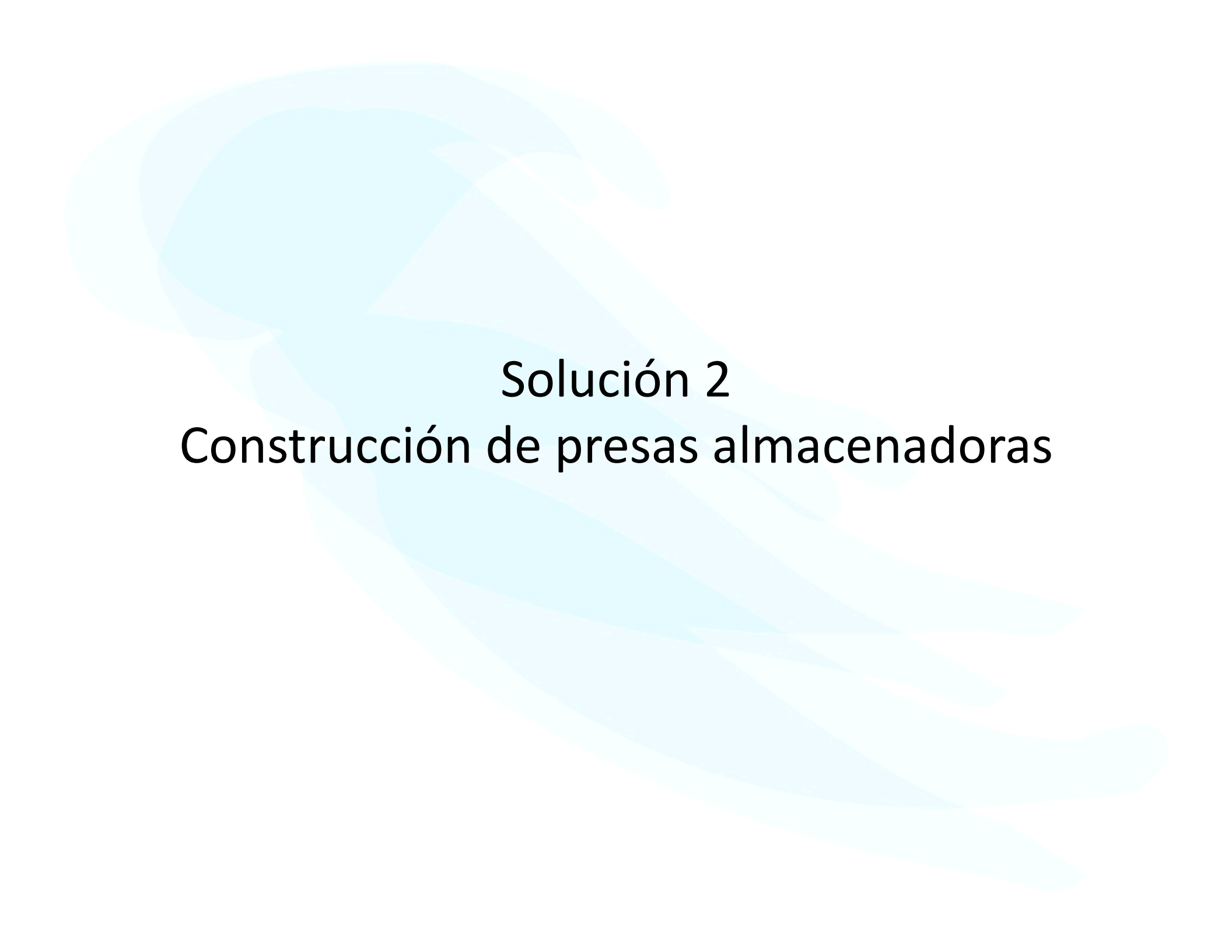
Solución 1

Disminución de las extracciones

Solución 1: Disminución de las extracciones

	Agua total	Extracciones	Niveles originales	2007	2017	2107	2207	Aumento en el almacén (Anual)
	Extracciones del 2007	168Mm3	93854754566	73001388911	73095682103	74038614015	74887252736	9,000,000
	Extracciones del 2007 - 10%	151Mm3	93854754566	73001388911	73182587581	74813375611	76625362311	18,119,867
	Extracciones del 2007 - 20%	134Mm3	93854754566	73001388911	73244543741	75432937211	77864485511	24,315,483
	Extracciones del 2007 - 40%	101Mm3	93854754566	73001388911	73367875441	76666254211	80331119511	36,648,653





Solución 2

Construcción de presas almacenadoras

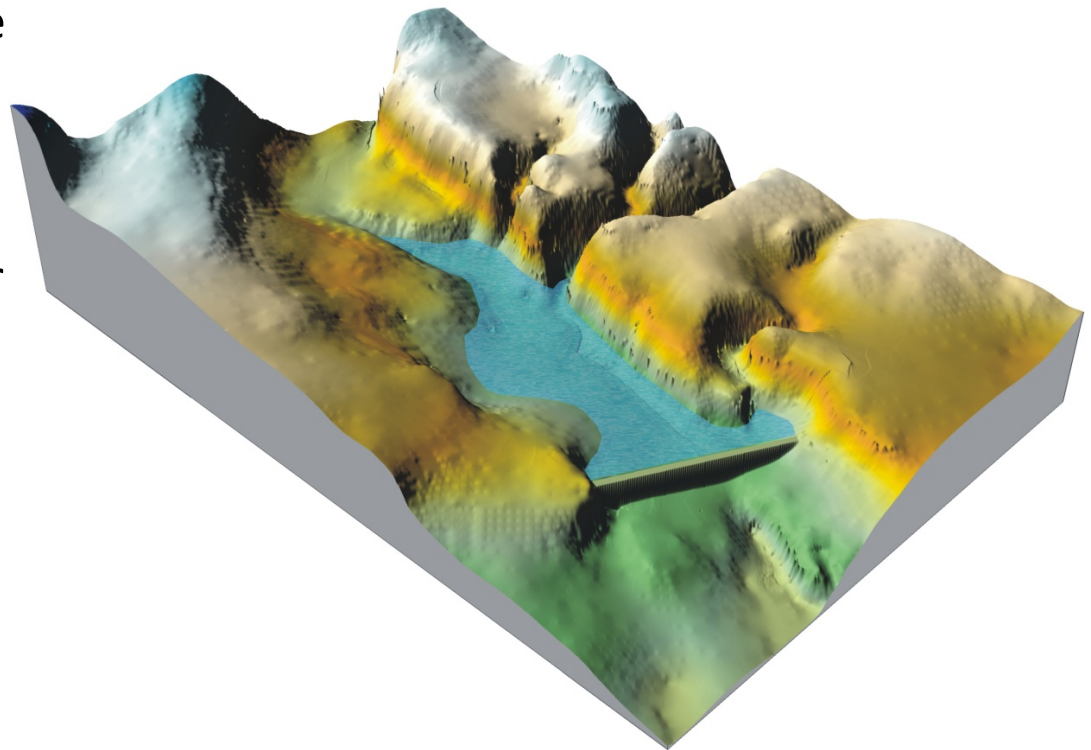
Solución 2: Presas Almacenadoras

- Según el Diario Oficial de la Federación el volumen anual de escurrimiento natural para:
 - Cuenca Santo Domingo-----65.527Mm³
 - Cuenca Las Bramonas-----66.900Mm³
- De los cuales **21Mm³** se infiltran y **110 Mm³** escurren al mar*

*Determinado a partir del modelo hidráulico

Solución 2: Presas Almacenadoras

- Propósito de captar las aguas que escurren al mar (mas de 40Mm³).
- Reserva de agua para cualquier obra posterior.
- Posibilidad de dejar escurrir un caudal constante para permitir infiltración natural en los arroyos

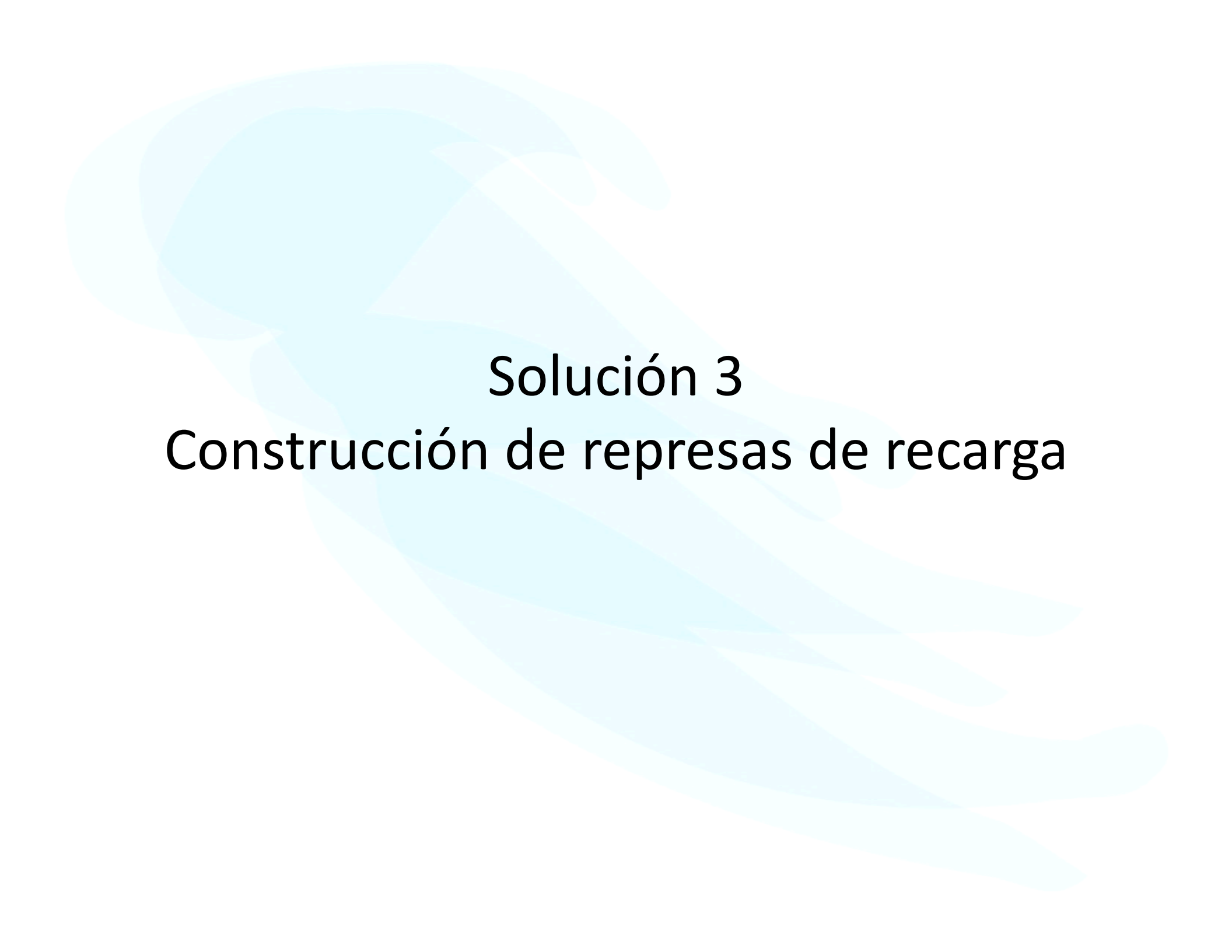


Presa Huatamote

Solución 2: Presas Almacenadoras

- Teniendo 40Mm^3 en 4 presas almacenadoras. Se podría liberar por presa $60,000\text{m}^3$ diarios generando una recarga adicional de **21.6Mm^3 al año***

*Determinado a partir del modelo hidráulico



Solución 3

Construcción de represas de recarga

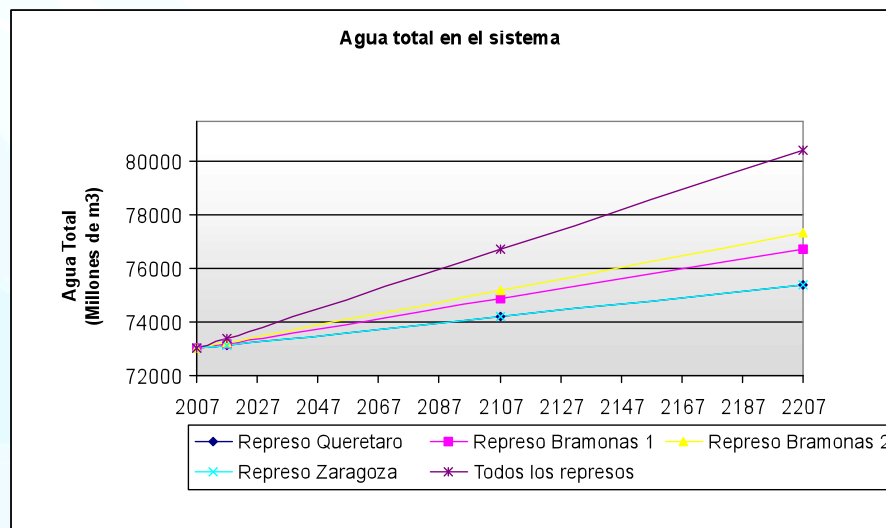
Solución 3: Represas de recarga

- Ya captados los escurrimientos en las presas almacenadoras, se genera un caudal constante a las represas de recarga, de manera tal que permanezcan al nivel máximo durante 3 meses.
- Se propone la construcción de 4 represas de recarga.

Conclusiones

Efectos de las represas de recarga en el acuífero

	Represos de Recarga	Recarga anual
	Represo Queretaro	2,907,266
	Represo Bramonas 1	9,607,199
	Represo Bramonas 2	12,642,901
	Represo Zaragoza	2,907,266



Efectos de las represas de recarga en el acuífero con las condiciones climáticas y extracciones del año 2007

			Volumen del agua subterránea					
	Represos de Recarga	Extracción (2007)	Pre-1949	2007	2017	2107	2207	Recarga adicional anual
	Represo Queretaro	168Mm3	93854754566	73001388911	73120461571	74192115511	75382842111	11,907,266
	Represo Bramonas 1	168Mm3	93854754566	73001388911	73187460901	74862108811	76722828711	18,607,199
	Represo Bramonas 2	168Mm3	93854754566	73001388911	73217817921	75165679011	77329969111	21,642,901
	Represo Zaragoza	168Mm3	93854754566	73001388911	73012046000	74192115511	75382842111	11,907,266
	Todos los represos	168Mm3	93854754566	73001388911	73372035231	76707852111	80414315311	37,064,632