



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Sistemas de Recarga-Recuperación

Eugenio Gómez Reyes
(Ingeniería Hidrológica)

Mesa Redonda

Gestión de la Recarga de Acuíferos

Torre de Ingeniería, CU, México D.F.

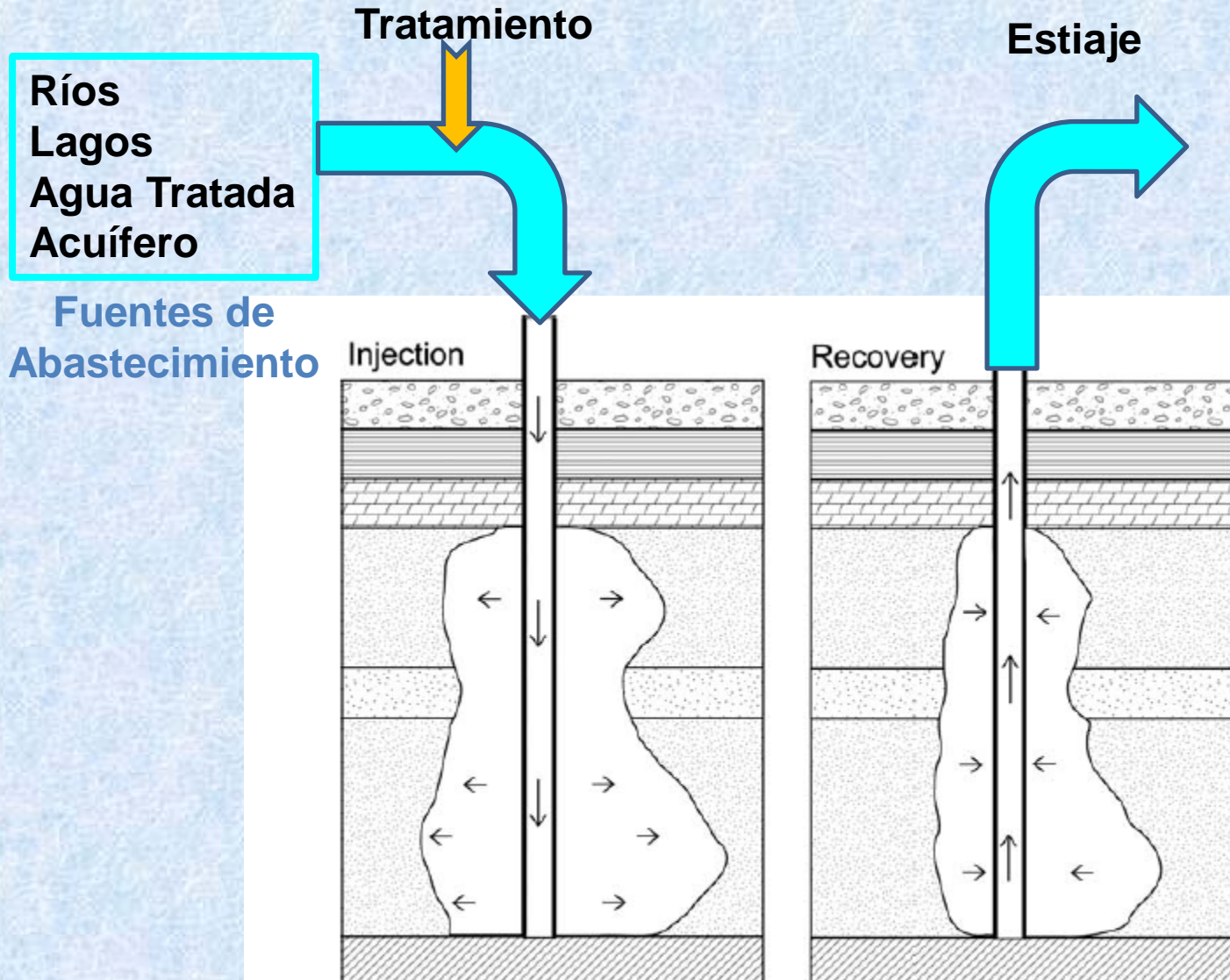
16/mayo/2013

CONTENIDO

- Descripción
- Implementación
- Aplicación
- Propuesta de Proyecto Piloto

Funcionamiento de los Sistemas de Recarga-Recuperación

Baja Demanda



Florida (60's)
California (60's)

Pyne, R.D.G. 1994.
Groundwater
Recharge and
Wells, 1st ed. Boca
Raton, Florida:
Lewis Publishers.

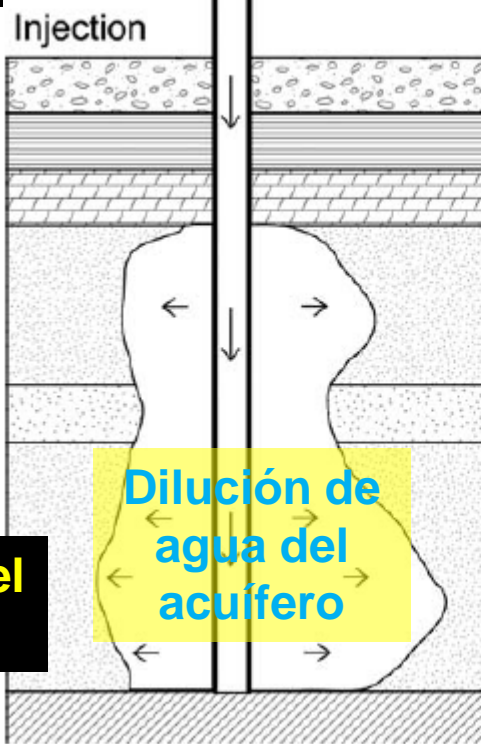
Valor agregado

Sistemas de Recarga-Recuperación



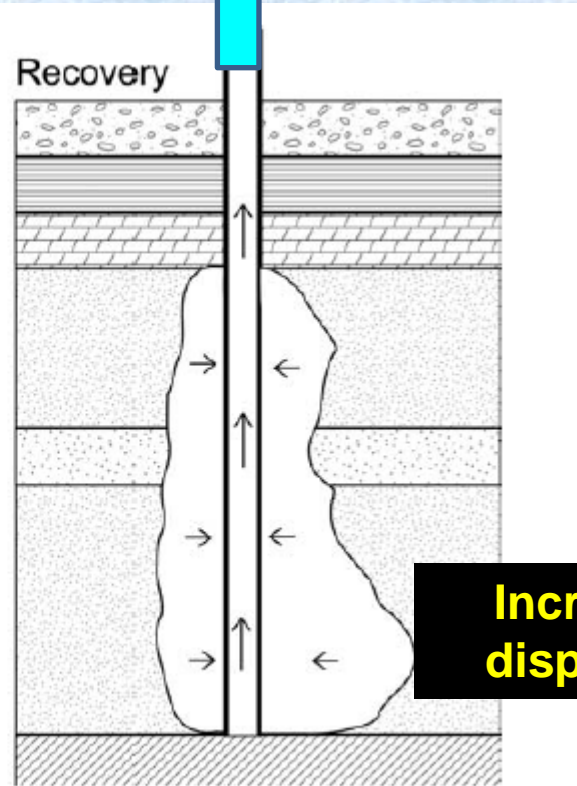
Elimina Encharcamientos

06:48 PM



Mejora la calidad del agua del acuífero

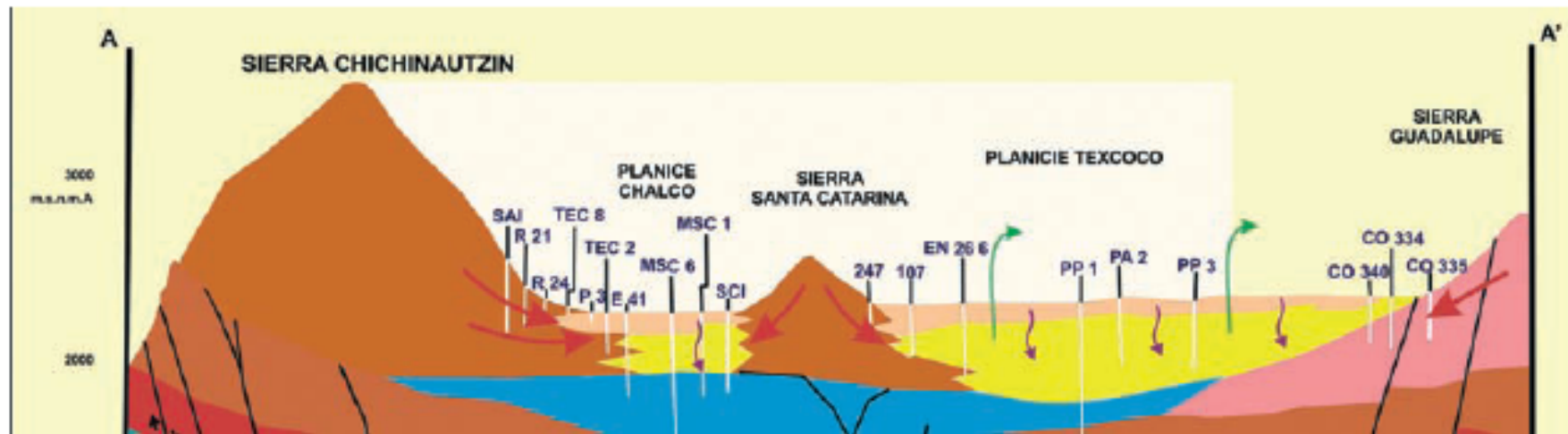
Dilución de agua del acuífero



Abastecimiento Sustentable

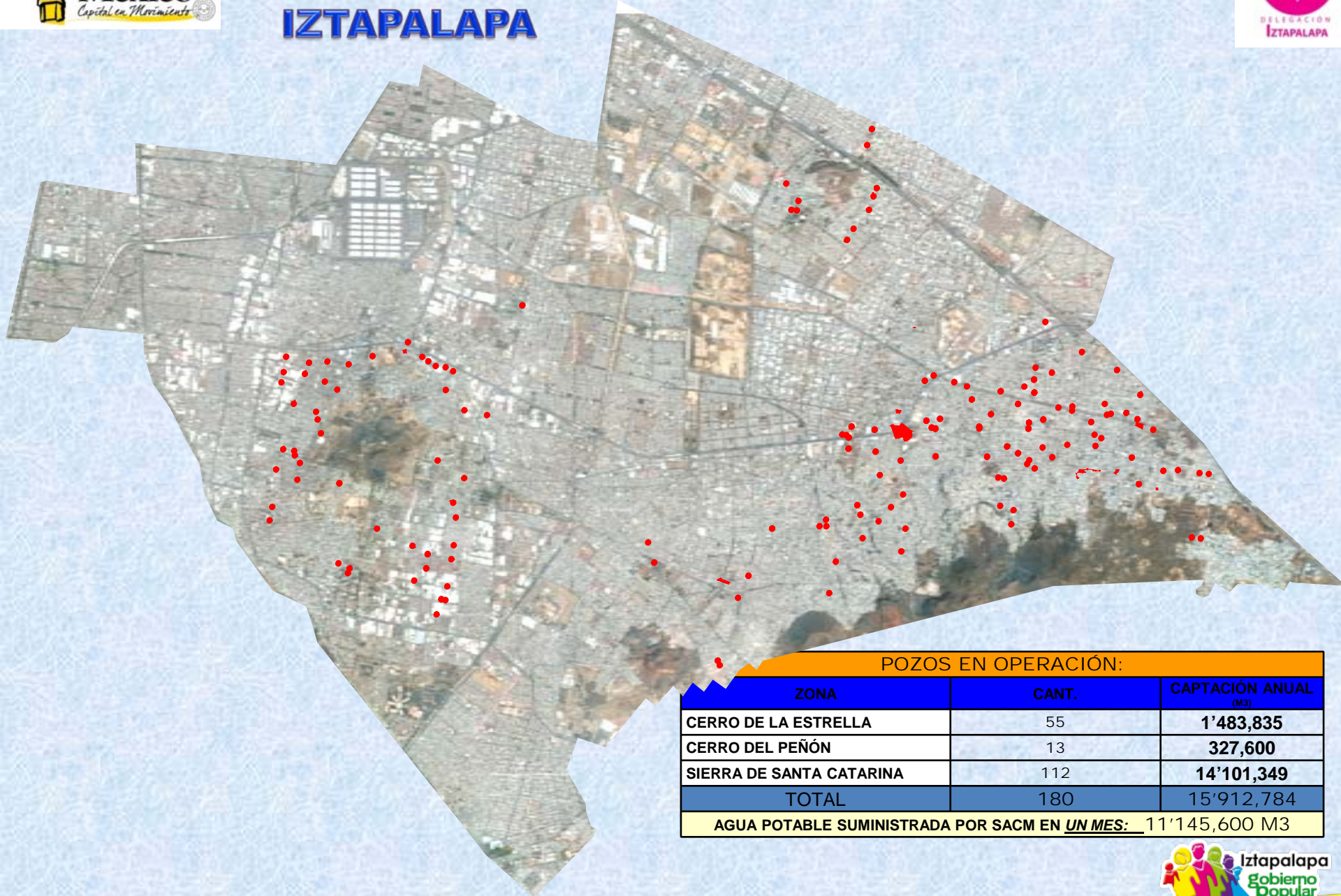
Incrementa la disponibilidad

Mapa 1. Corte transversal sur-norte de las capas del acuífero superior.



Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983.

POZOS DE ABSORCIÓN EN LA DELEGACIÓN IZTAPALAPA



POZOS EN OPERACIÓN:

ZONA	CANT.	CAPTACIÓN ANUAL (M3)
CERRO DE LA ESTRELLA	55	1'483,835
CERRO DEL PEÑÓN	13	327,600
SIERRA DE SANTA CATARINA	112	14'101,349
TOTAL	180	15'912,784
AGUA POTABLE SUMINISTRADA POR SACM EN UN MES:		11'145,600 M3

Iztapalapa

Sistemas de Recarga-Recuperación en el Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Lluvia

Estiaje

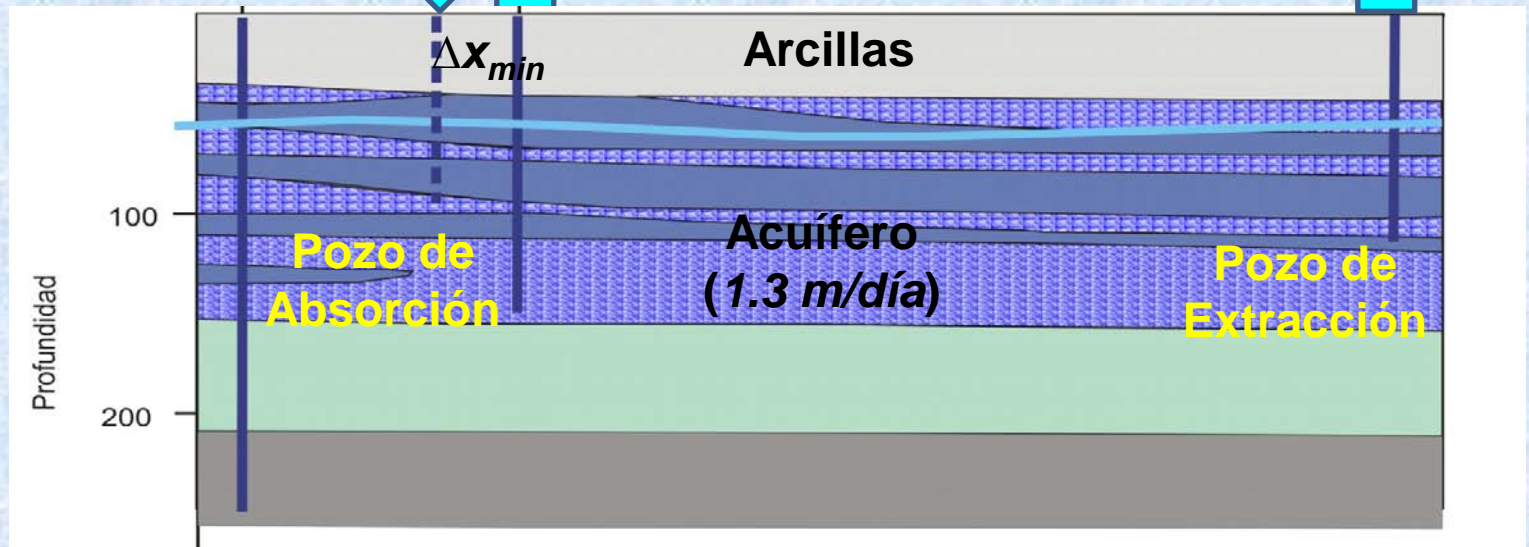
Tratamiento
(SST, O₃)

Captación de Lluvia

Suministro a la GAM

Fuente de Abastecimiento

$\Delta x_{min} \approx 500 m$
 ≈ 1 año de infiltración natural



Estrategia

Instrumentos de Medición

Experiencia en Iztapalapa

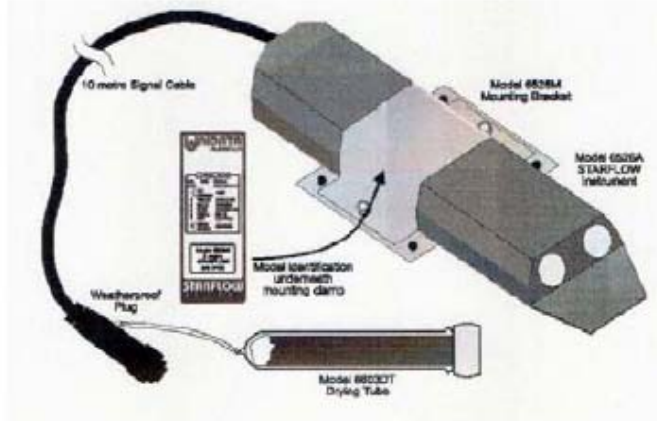


Figura 4.- Medidor de flujo STARFLOW.

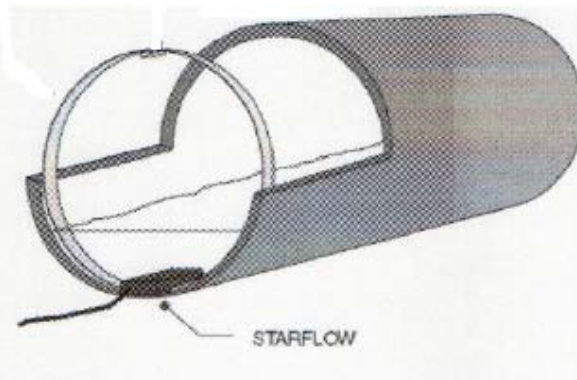


Figura 5.- Instalación del STARFLOW.



Figura 6.- Sonda CTD DIVER.

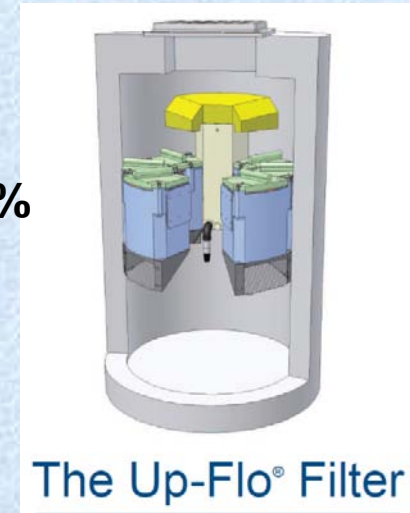


Figura 7.- Instalación del DIVER.

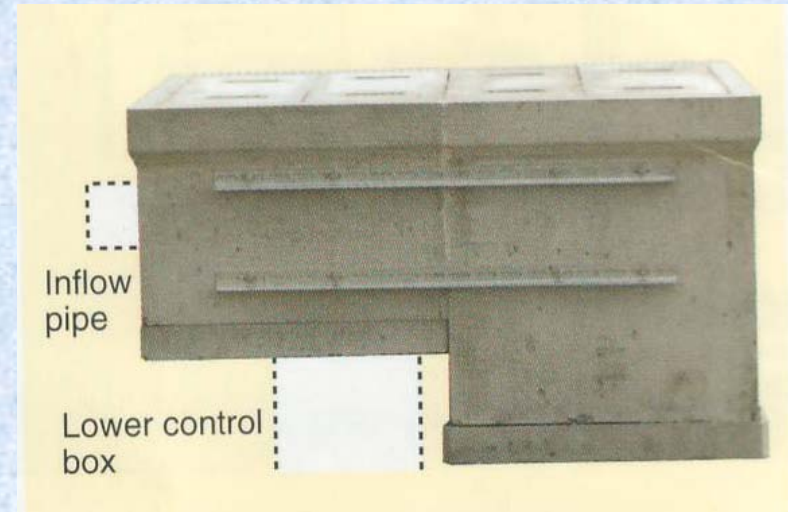
Filtros (SST) para el Agua de Recarga



Reducción del 98 a 99%
de Sólidos ($100\ \mu\text{m}$)

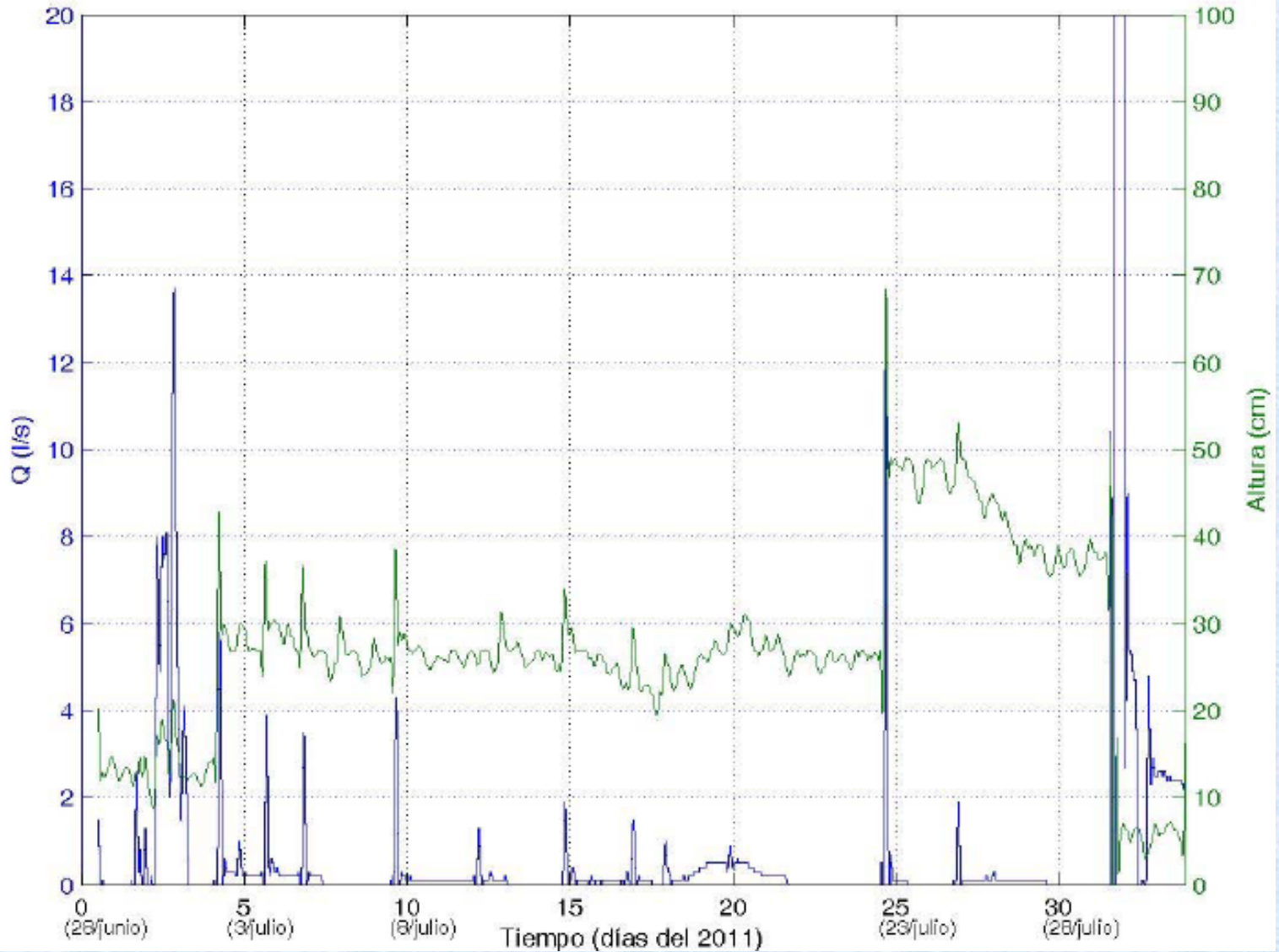


Filtro de grasas
Malla
Soporte de la malla
Capas de fieltro
Estrato de granos de cuarzo



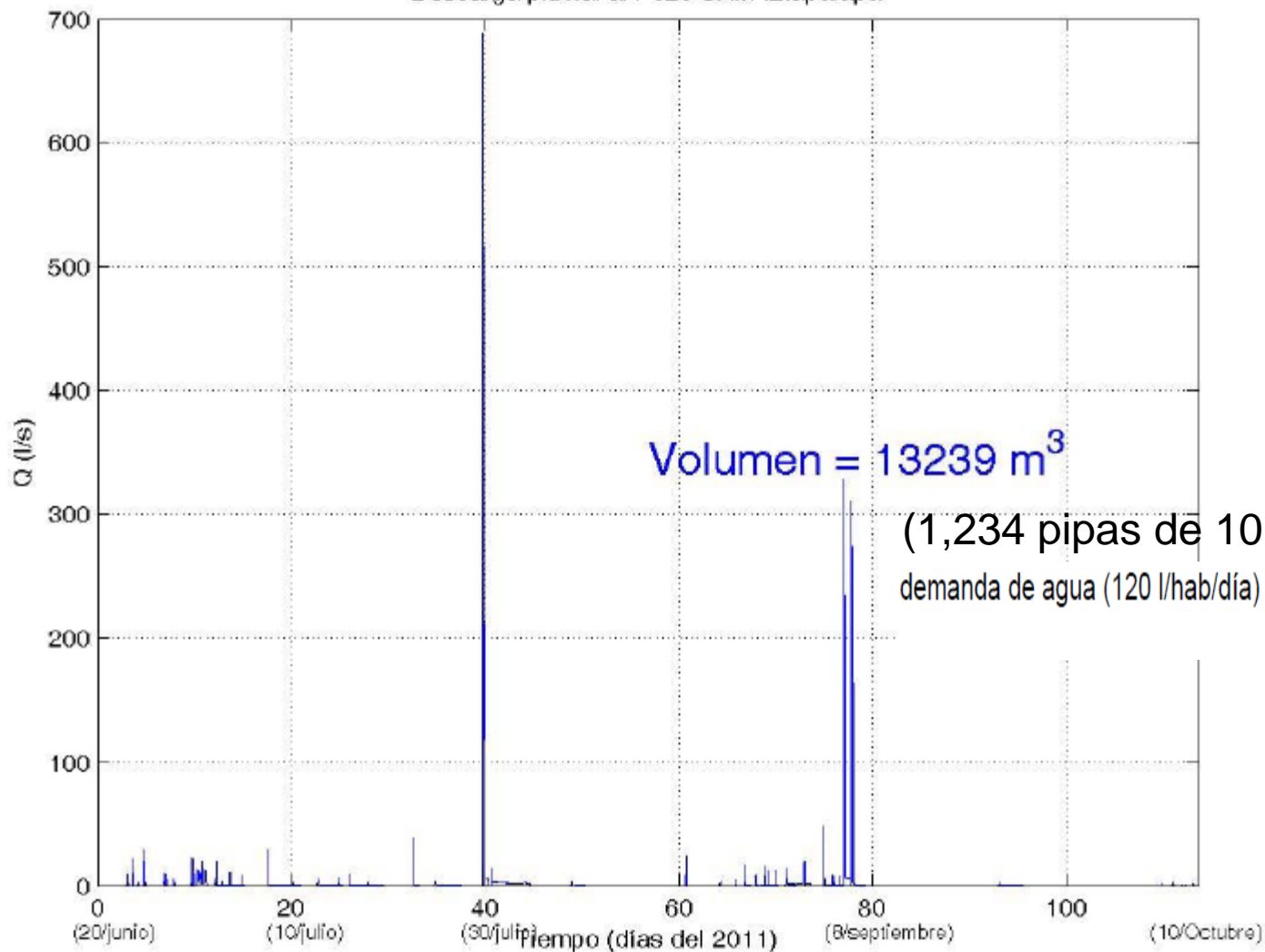
Mediciones

Experiencia en Iztapalapa



Volumen de Recarga

Descarga pluvial al Pozo UAM-Iztapalapa

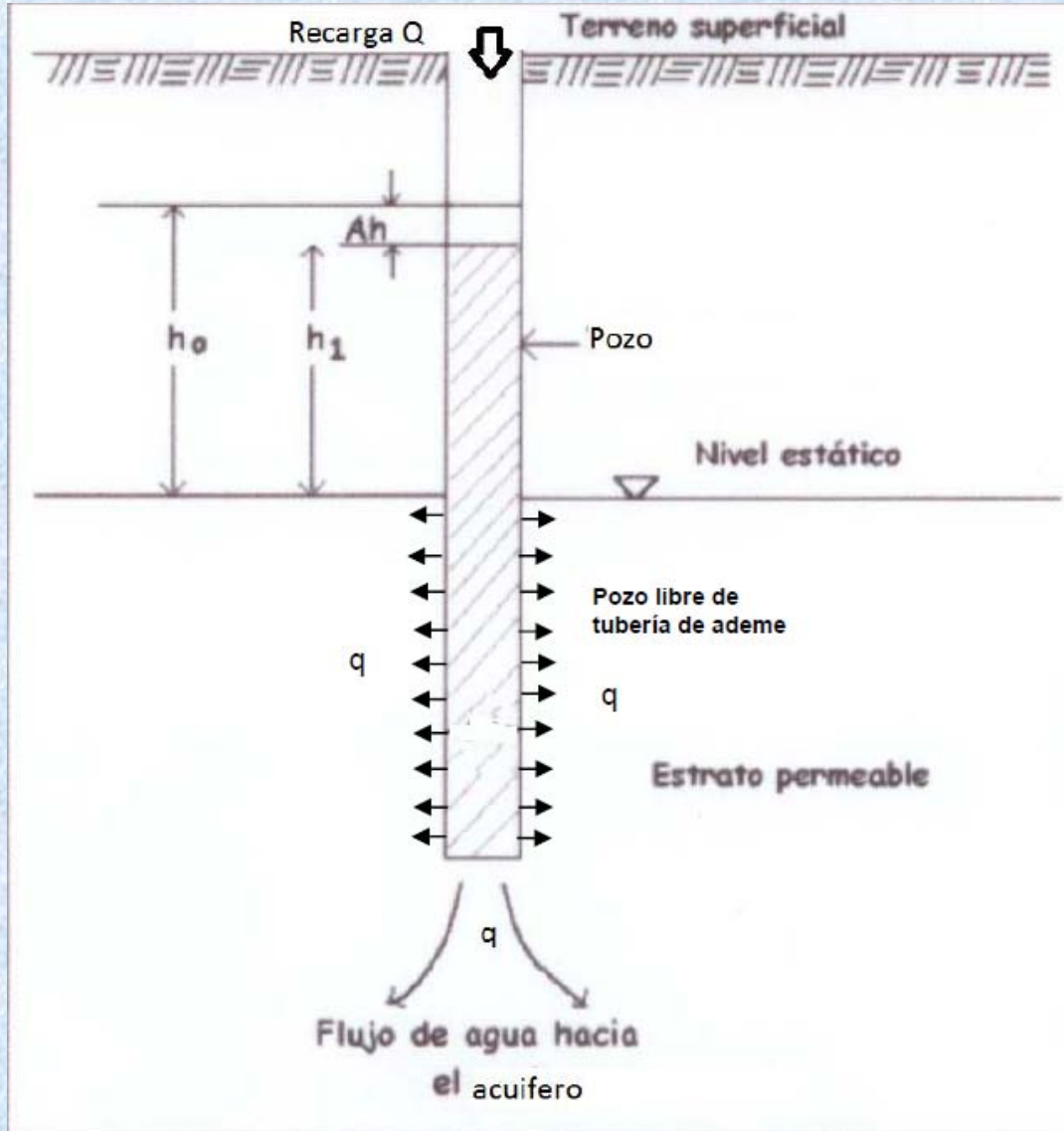


Volumen = 13239 m³

(1,234 pipas de 10 mil litros)

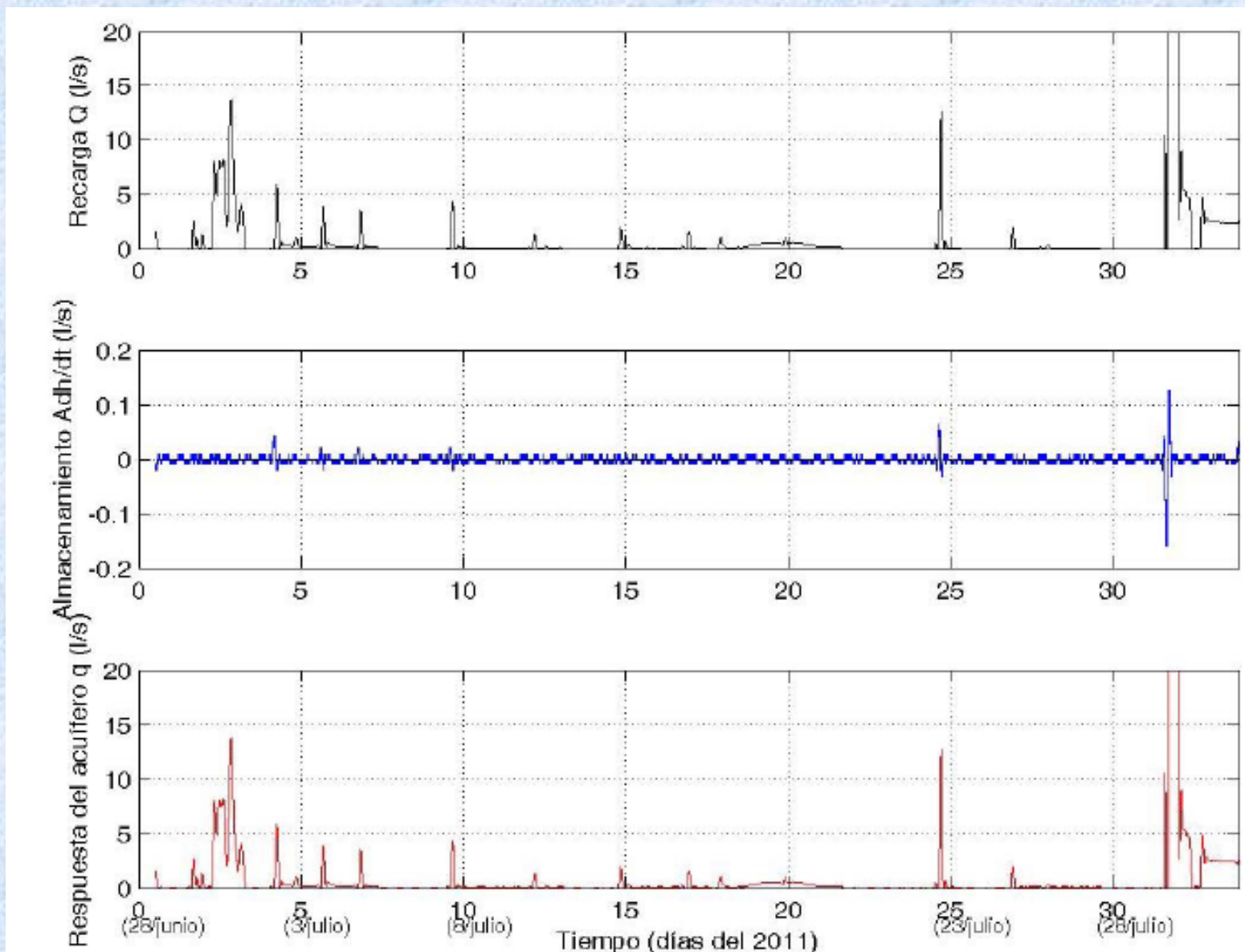
demanda de agua (120 l/hab/día) de 302 personas durante todo un año.

Análisis Teórico



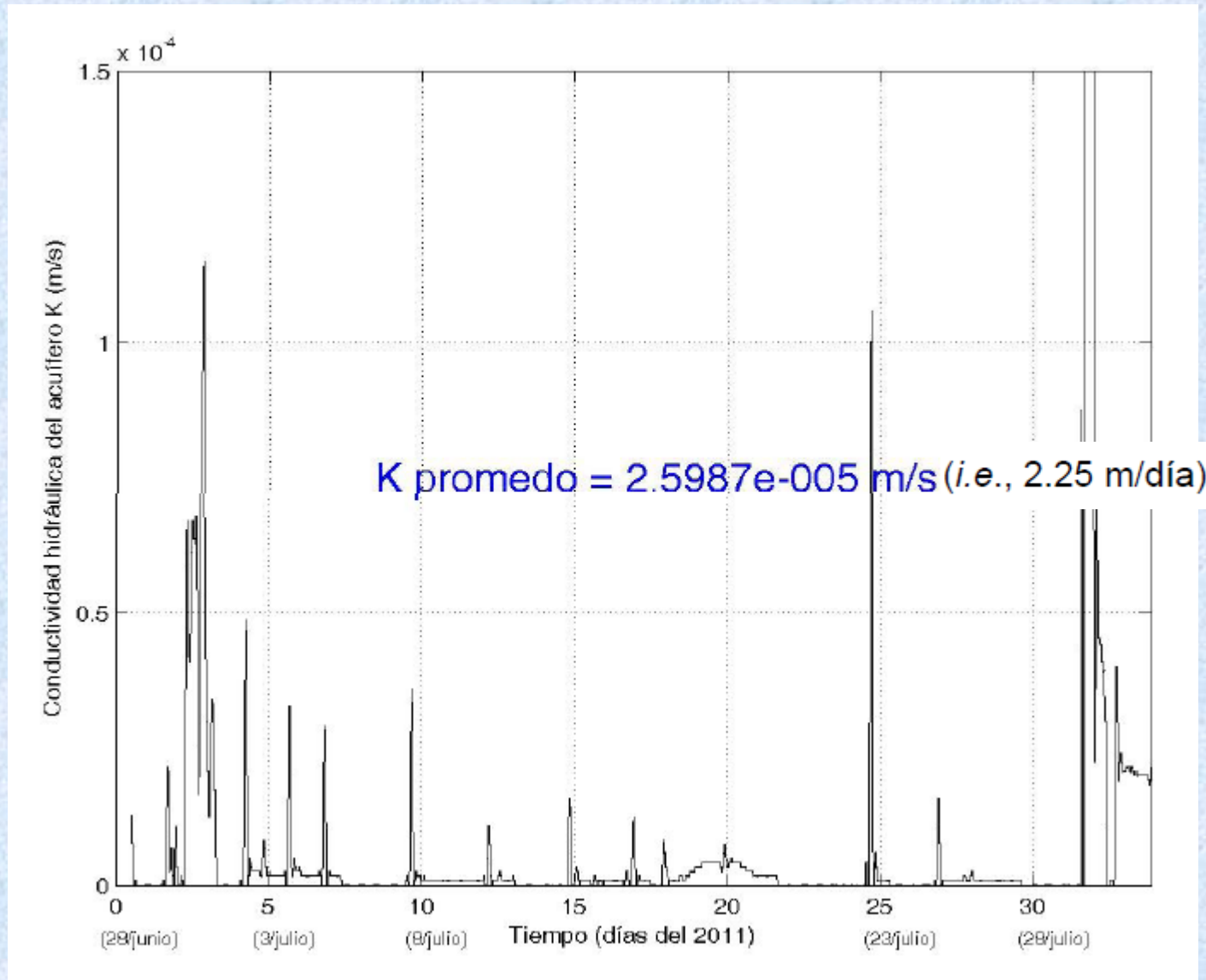
$$\underbrace{\frac{dV}{dt}}_{\text{Cambio temporal del volumen del pozo}} = \underbrace{Q}_{\text{Recarga}} - \underbrace{q}_{\text{Infiltración}}$$

Análisis de Datos



Conductividad Hidráulica

$$K = \frac{q}{a}$$



Calidad del Agua

Estiaje 2012

Lluvia 2011



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

LABORATORIO DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS UAM-AZ.

Av. San Pablo No. 180

Dol. Azcapotzalco

C.P. 02200

TEL. 53-18-94-96

REGISTRO DE LABORATORIO AUTORIZADO: DF/MEQ/QR/REDLADG/AAR/2003-2094

Col. Reyes Tamaulipas

Cd. de México, D.F.

E-mail: erf@correo.uam.mx

FAX: 53-18-94-96

REGISTRO DE LABORATORIO AUTORIZADO: DF/MEQ/QR/REDLADG/AAR/2003-2094



HOJA DE RESULTADOS 1

RAZÓN SOCIAL		FECHA ANÁLISIS	
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa		25 de mayo de 2012	
GIRO	INVESTIGACIÓN	TOTAL DE MUESTRAS	FECHA MUESTREO
		67	03 de mayo de 2012
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO		CÓDIGO DE LA MUESTRA	
"POZO ABSORCIÓN UAM-I"		030512009D100637P	

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA O MÉTODO	VALOR ENCONTRADO	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
pH			8.46	6.5 - 8.5
COLOR	unidades de pH	NMX-AA-008-SCFI-2000	8.46	6.5 - 8.5
OLOR Y SABOR	unidades PICO	NMX-AA-045-SCFI-2001	45	20
TURBIDEZ	UTN	NMX-AA-083-1982	DESAGRADABLE	Agradable
ALUMINIO	Mg/L	NMX-AA-038-SCFI-2001	30	5
ARSENICO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.08	0.20
BARIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.0004	0.04
CADMIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.021	0.70
CIANUROS (como CN)	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.0033	0.005
CLORO RESIDUAL LIBRE	Mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001	<0.03	0.07
CLORUROS (Como Cl)	Mg/L	NMX-AA-108-SCFI-2001	N. D.	0.2-1.5
COBRE	Mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001	278.68	250
CROMO TOTAL	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.020	2
DUREZA TOTAL (como CaCO ₃)	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.007	0.05
YODO RESIDUAL LIBRE	Mg/L	NMX-AA-072-SCFI-2001	116	500
FENOLES o compuestos fenólicos	Mg/L	Yodométrico	N. D.	0.2-0.5
FERRO	Mg/L	NMX-AA-050-SCFI-1981	<0.04	0.3
FLUORURO (como F)	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.045	0.30
MANGANESO	Mg/L	NMX-AA-077-SCFI-1982	0.50	1.50
MERCURIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.18	0.15
NITROGENO DE NITRATOS	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.0004	0.001
NITROGENO DE NITRITOS	Mg/L	NMX-AA-079-SCFI-2001	<0.04	10
NITROGENO AMONIAICAL	Mg/L	NMX-AA-099-SCFI-1987	0.75	1.0
PLOMO	Mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001	0.09	0.50
SODIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.0042	0.01
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	170.8	200
SULFATOS (como SO ₄)	Mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001	1765	1000
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	Mg/L	NMX-AA-074-SCFI-1981	302	400
ZINC	Mg/L	NMX-AA-039-SCFI-2001	<0.025	0.50
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.023	5.00
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	NOM-112-SSA1-1994	20	N.D.
MP: NO SE INDICA		NOM-112-SSA1-1994	5	N.D.
ND: NO DETECTABLE				
NOM-127-SSA1-1996				

RESPONSABLE DEL LABORATORIO
ING. ERASMO FLORES VALVERDE
Cédula Profesional 297728



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

LABORATORIO DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS UAM-AZ.

Av. San Pablo No. 180

Dol. Azcapotzalco

C.P. 02200

TEL. 53-18-94-96

REGISTRO DE LABORATORIO AUTORIZADO: DF/MEQ/QR/REDLADG/AAR/2003-2094

Col. Reyes Tamaulipas

Cd. de México, D.F.

E-mail: erf@correo.uam.mx

FAX: 53-18-94-96

REGISTRO DE LABORATORIO AUTORIZADO: DF/MEQ/QR/REDLADG/AAR/2003-2094



HOJA DE RESULTADOS 1

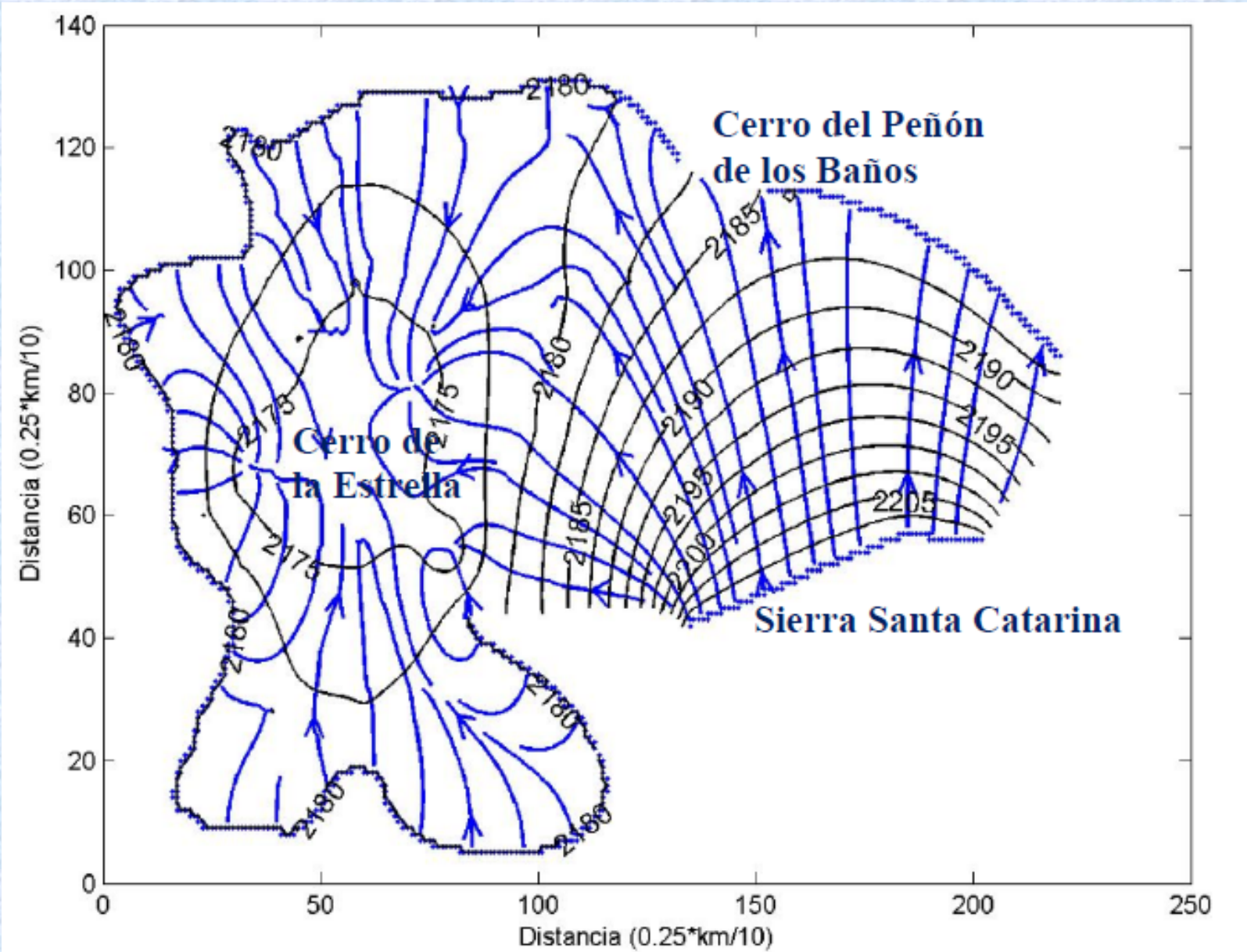
RAZÓN SOCIAL		FECHA ANÁLISIS	
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa		30 Julio de 2011	
GIRO	Investigación	TOTAL DE MUESTRAS	FECHA MUESTREO
		1 de 1	18 de Julio de 2011
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO		CÓDIGO DE LA MUESTRA	
"POZO ABSORCIÓN UAM-I"		180711009D1005169P	

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA O MÉTODO	VALOR ENCONTRADO	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
pH			8.50	6.5 - 8.5
COLOR	unidades de pH	NMX-AA-008-SCFI-2000	8.50	6.5 - 8.5
OLOR Y SABOR	unidades PICO	NMX-AA-045-SCFI-2001	28	20
TURBIDEZ	UTN	NMX-AA-083-1982	DESAGRADABLE	Agradable
ALUMINIO	Mg/L	NMX-AA-038-SCFI-2001	2.78	5
ARSENICO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.10	0.20
BARIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.00032	0.04
CADMIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.23	0.70
CIANUROS (como CN)	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.0028	0.005
CLORO RESIDUAL LIBRE	Mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001	<0.005	0.07
CLORUROS (Como Cl)	Mg/L	NMX-AA-108-SCFI-2001	N. D.	0.2-1.5
COBRE	Mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001	280	250
CROMO TOTAL	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.024	2
DUREZA TOTAL (como CaCO ₃)	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.009	0.05
YODO RESIDUAL LIBRE	Mg/L	NMX-AA-072-SCFI-2001	124	500
FENOLES o compuestos fenólicos	Mg/L	Yodométrico	N. D.	0.2-0.5
FERRO	Mg/L	NMX-AA-050-SCFI-1981	<0.052	0.3
FLUORURO (como F)	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.029	0.30
MANGANESO	Mg/L	NMX-AA-077-SCFI-1982	<0.04	1.50
MERCURIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.045	0.15
NITROGENO DE NITRATOS	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.0006	0.001
NITROGENO DE NITRITOS	Mg/L	NMX-AA-079-SCFI-2001	1.568	10
NITROGENO AMONIAICAL	Mg/L	NMX-AA-099-SCFI-1987	0.00143	1.0
PLOMO	Mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001	0.16	0.50
SODIO	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0.008	0.01
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	Mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001	182	200
SULFATOS (como SO ₄)	Mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001	1600	1000
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	Mg/L	NMX-AA-074-SCFI-1981	124	400
ZINC	Mg/L	NMX-AA-039-SCFI-2001	0.085	0.50
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.028	5.00
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	NOM-112-SSA1-1994	30	N.D.
MP: NO SE INDICA		NOM-112-SSA1-1994	ND	N.D.
ND: NO DETECTABLE				
NOM-127-SSA1-1996				

RESPONSABLE DEL LABORATORIO
ING. ERASMO FLORES VALVERDE
Cédula Profesional 297728

Modelación numérica del flujo de agua subterránea

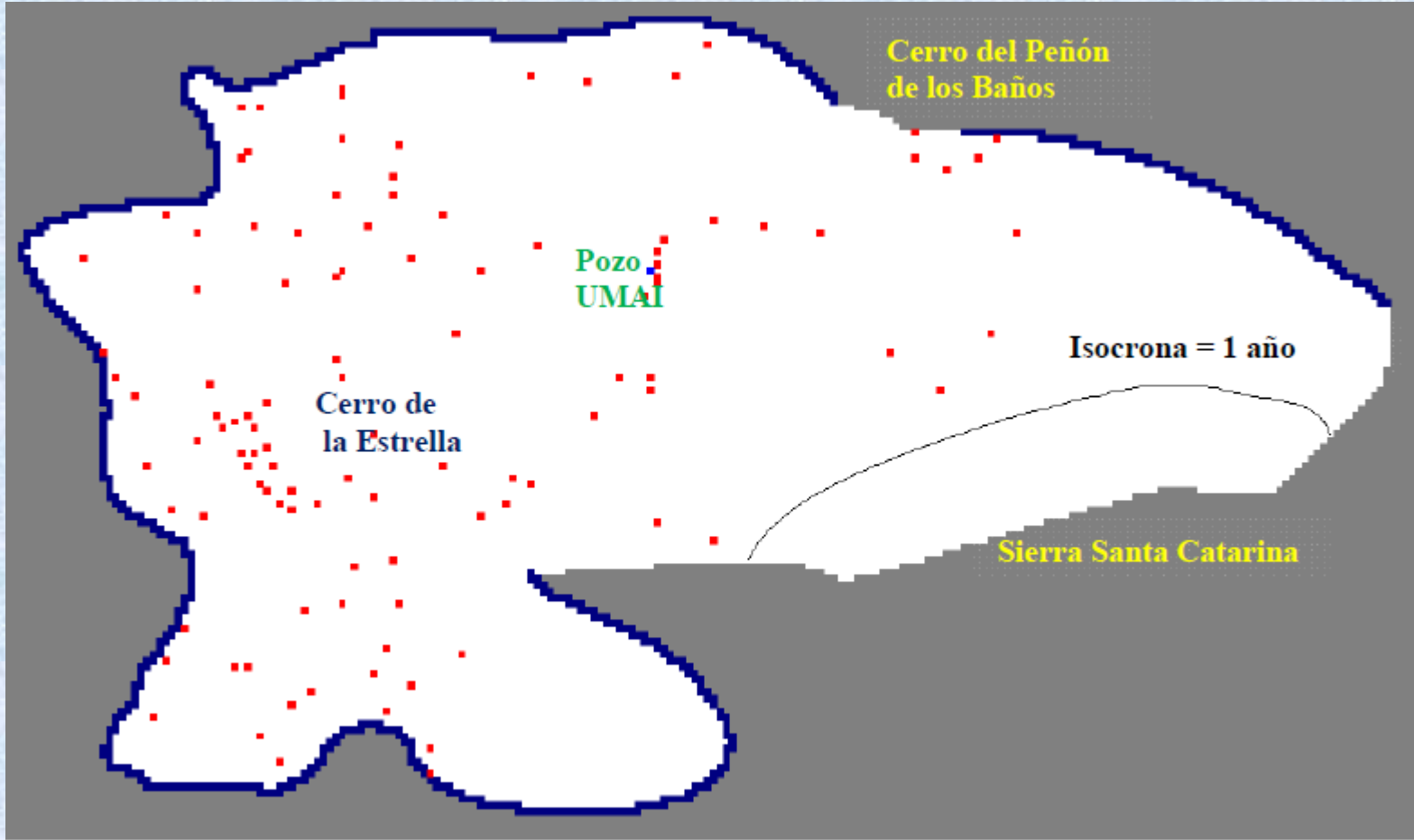
Experiencia en Iztapalapa





Isocronas

Experiencia en Iztapalapa



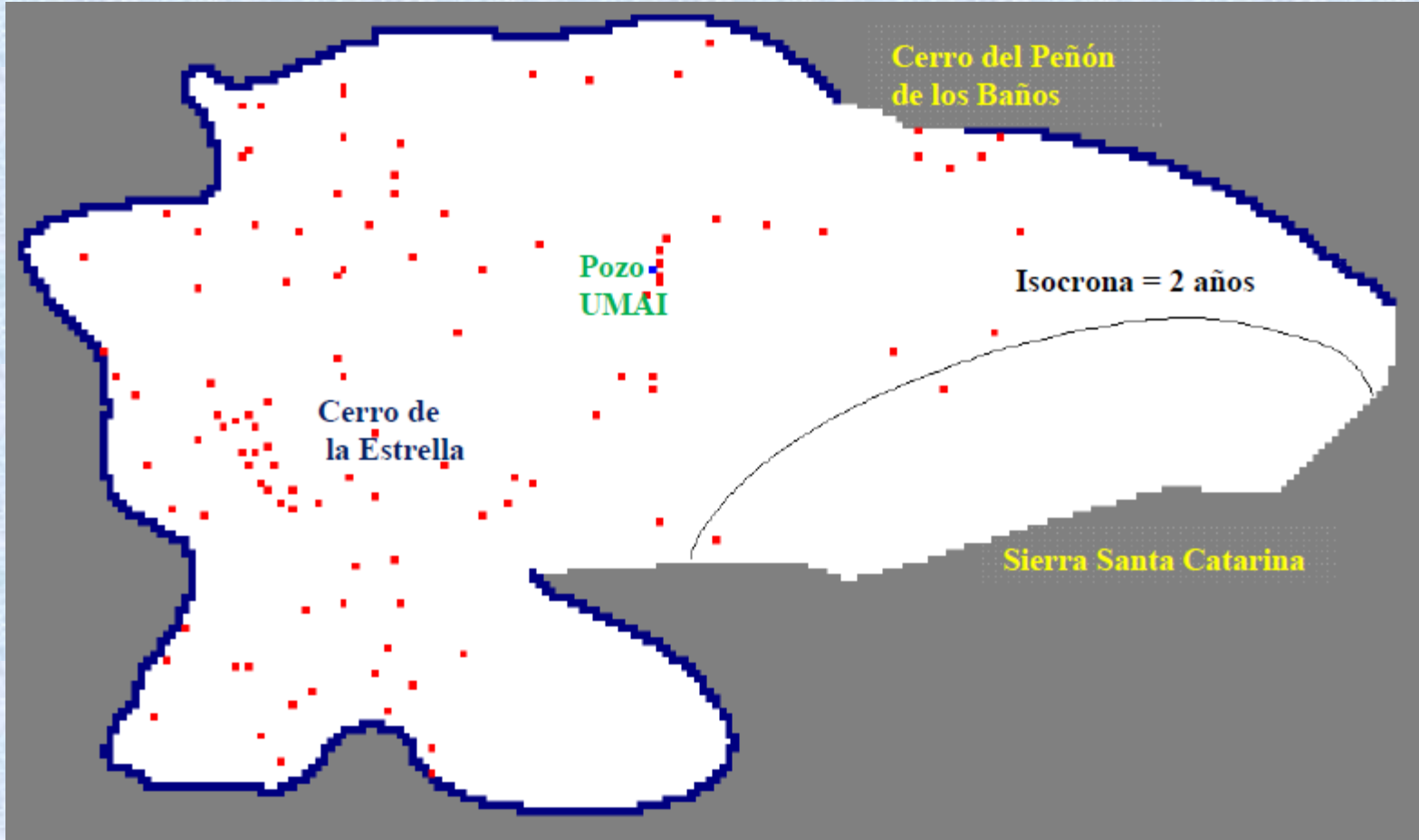


Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Isocronas

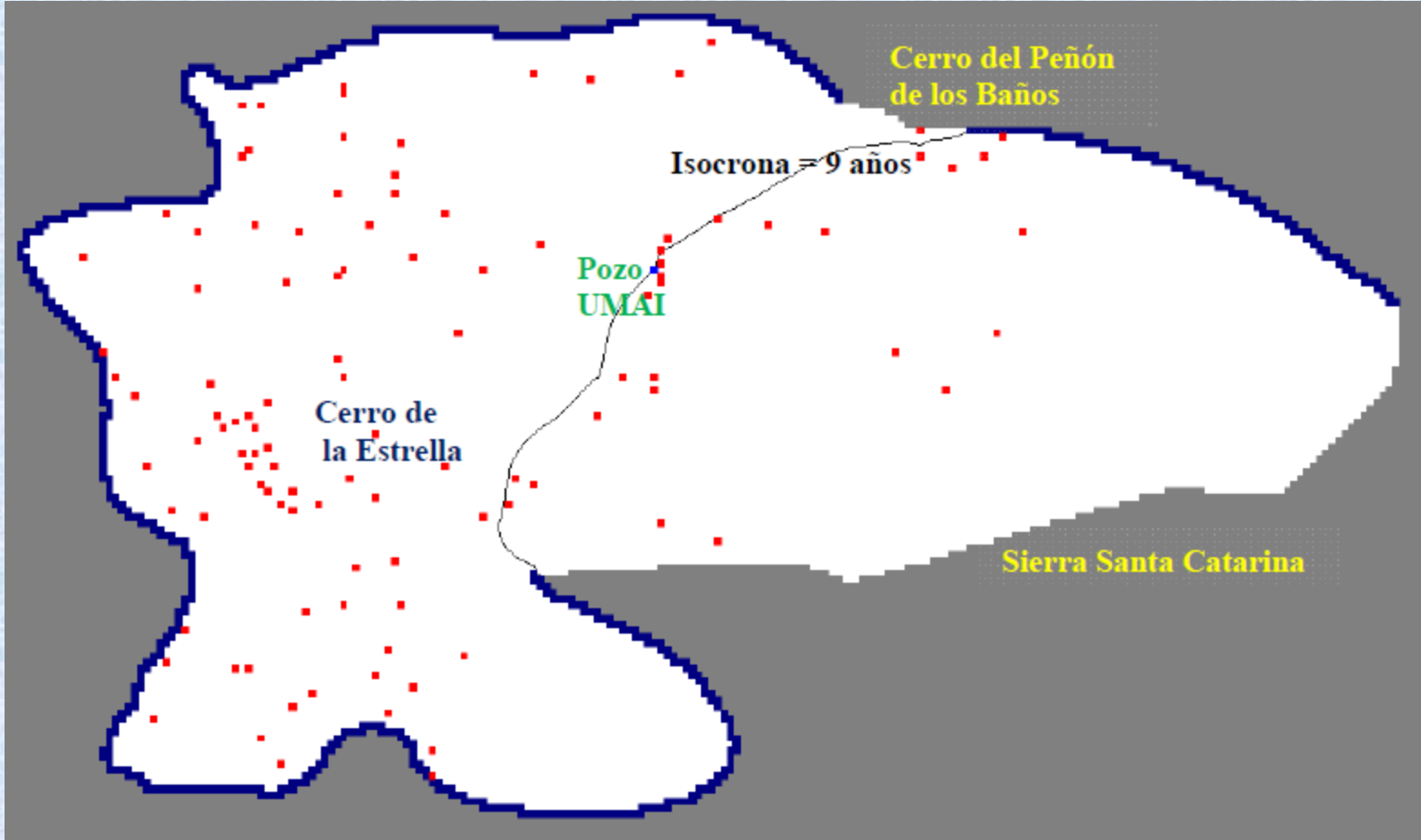
Experiencia en Iztapalapa





Isocronas

Experiencia en Iztapalapa



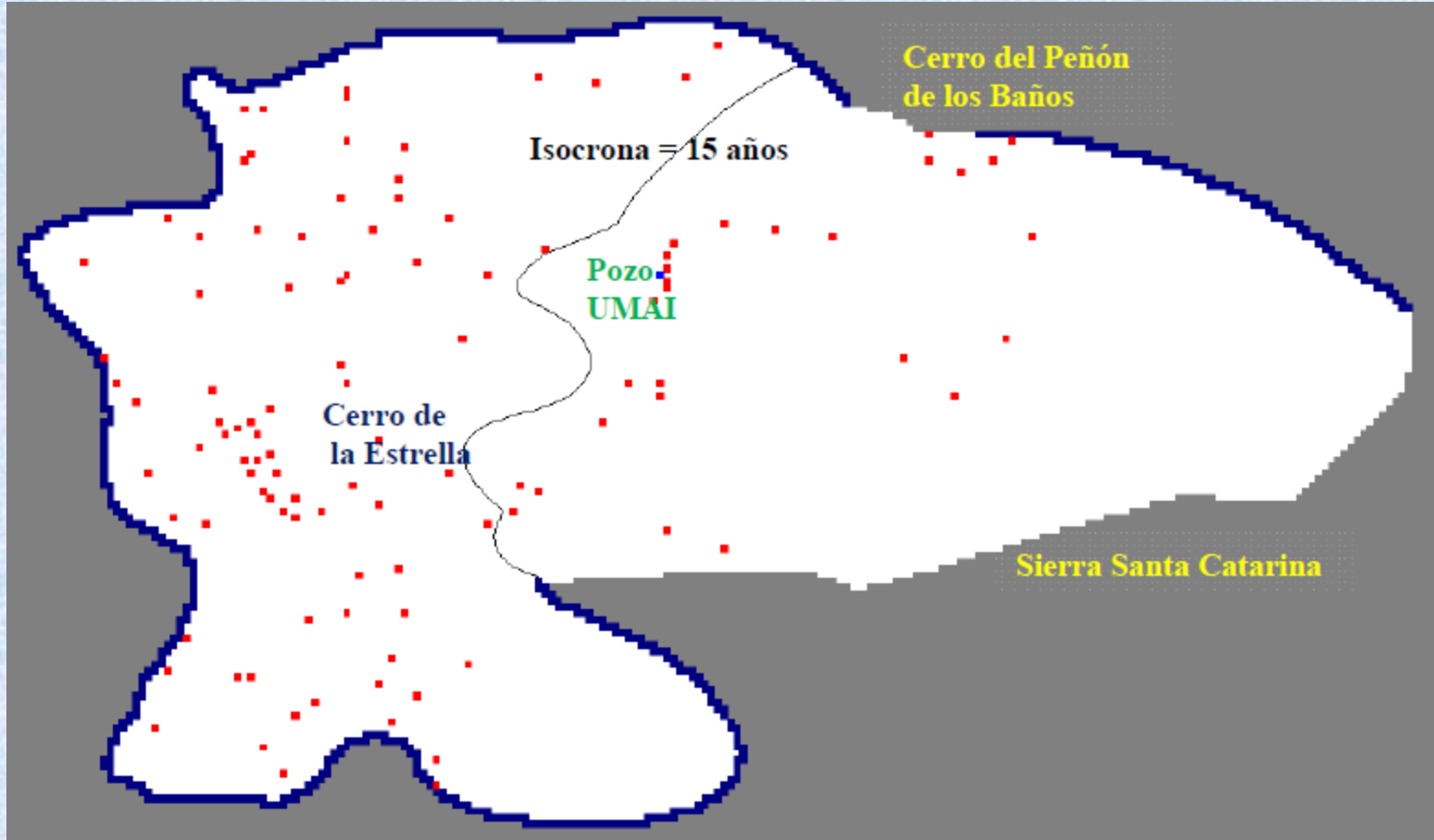


Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Isocronas

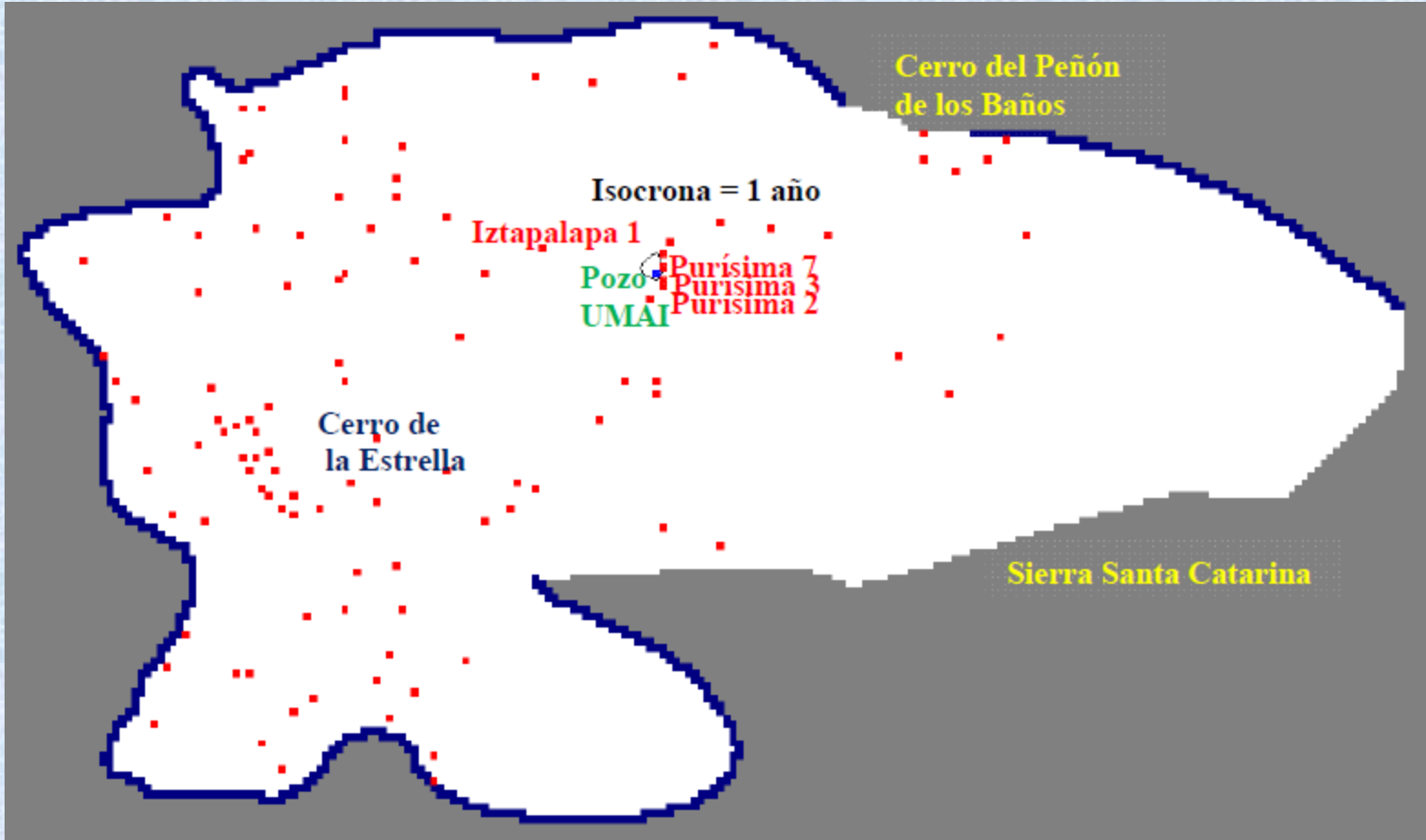
Experiencia en Iztapalapa





Isocronas

Experiencia en Iztapalapa



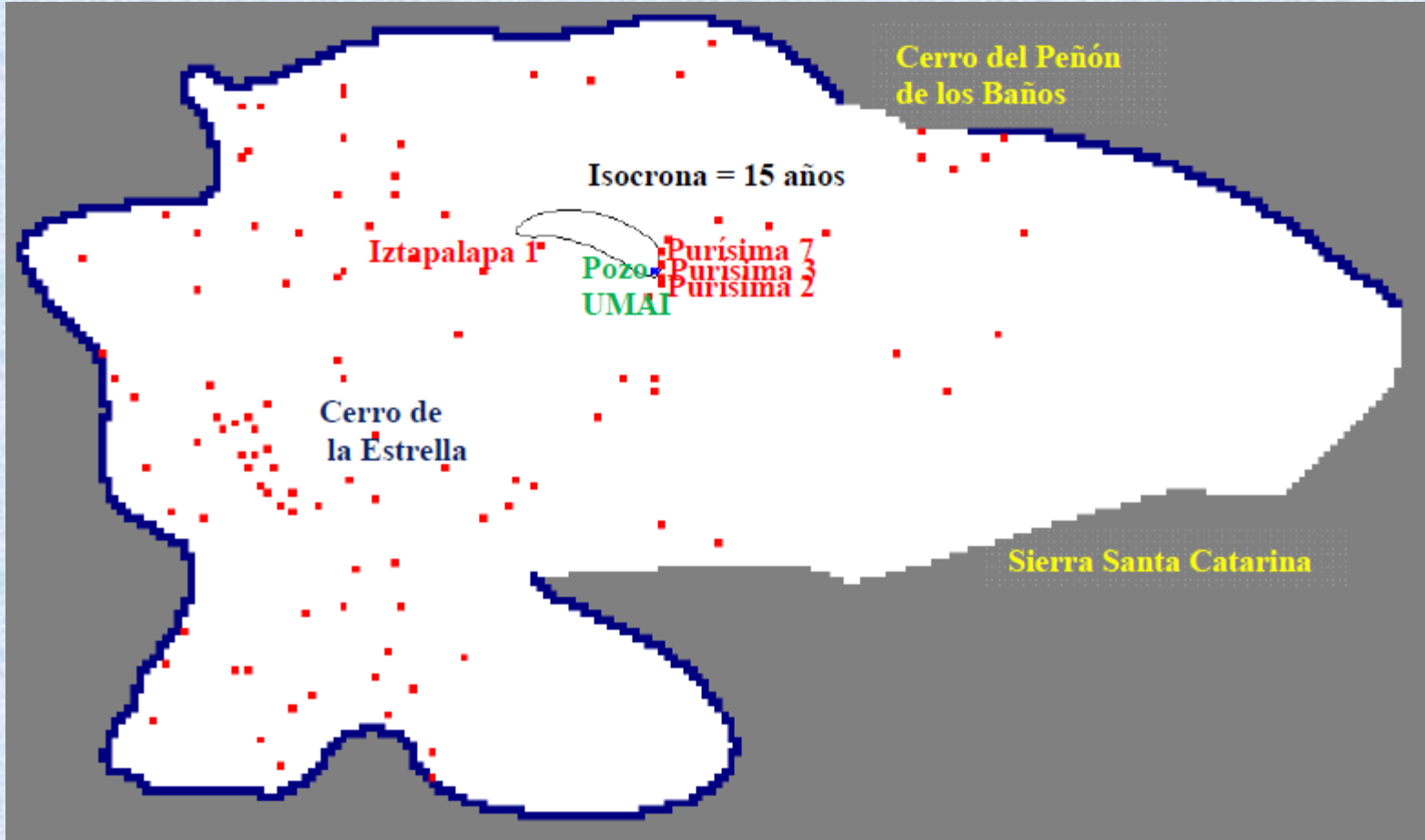


Casa abierta al tiempo

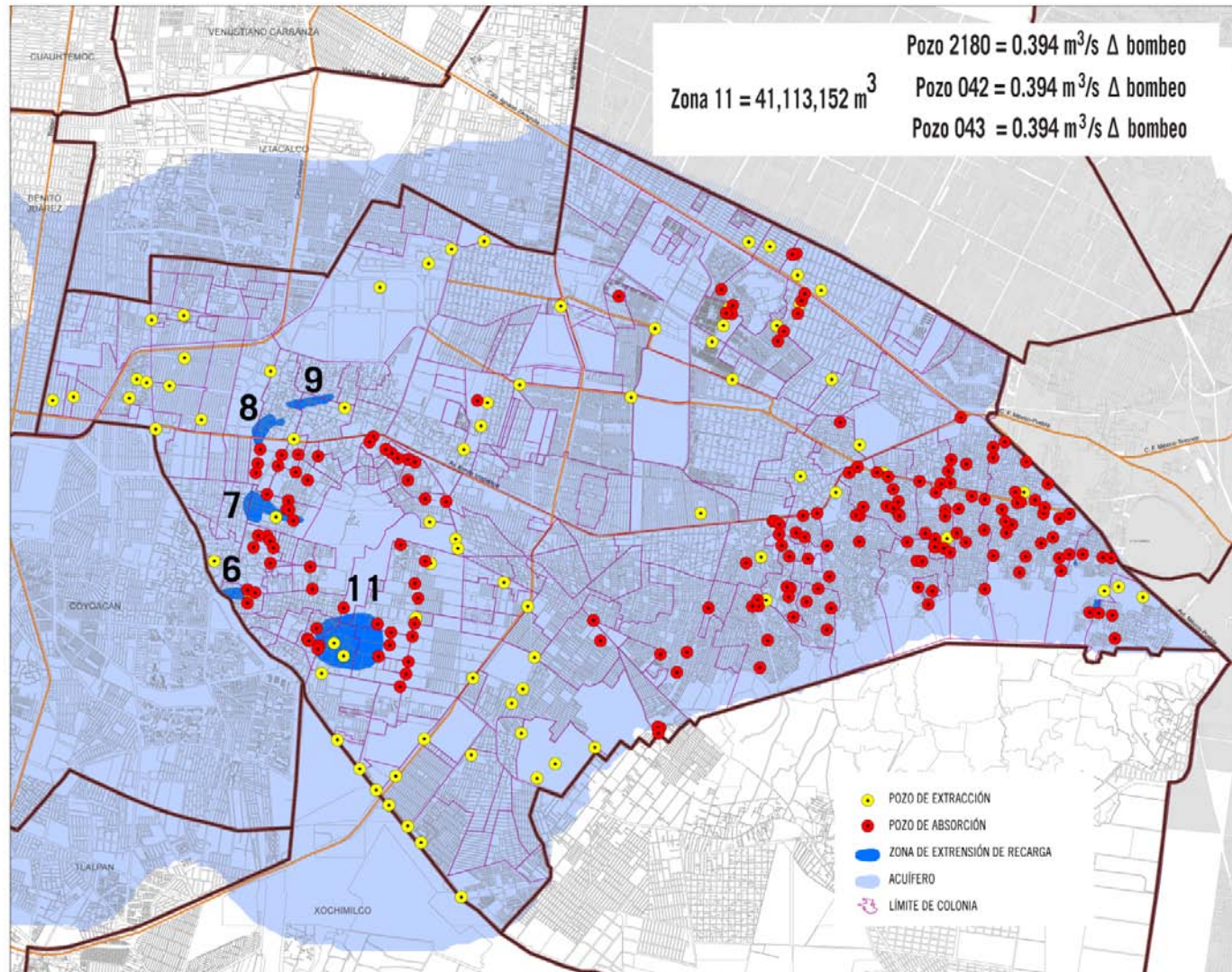
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Isocronas

Experiencia en Iztapalapa



Incremento en la recarga del acuífero local de Iztapalapa





**Proyecto Piloto para evaluar la
factibilidad técnica y económica de
Sistemas de Recarga-Recuperación
para el aprovechamiento de agua de
lluvia en el Distrito Federal**

***SACMEX-GDF
(Propuesta)***

**Eugenio Gómez Reyes (UAM)
Agustín F. Correa Campos (UNAM)
José G. Gracida King (SMIDF)
José A. Kuri Abdala (UNAM)**

Febrero de 2013



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Descripción del Proyecto

- ◆ Análisis de los volúmenes potenciales y calidad del agua de recarga pluvial al acuífero a través de pozos de absorción.
- ◆ Evaluación de volúmenes de recarga que se pueden recuperar del acuífero para abastecimiento de agua al DF durante el estiaje.
- ◆ Evaluación del costo de abastecimiento de agua al DF mediante los sistemas de Recarga-Recuperación.

11. Potencial del Proyecto

$$Q_{\text{escurrimiento}} = Q_{\text{recarga potencial}}$$

Delegación	Q_{recarga} (m ³ /s)
Azcapotzalco	0.214
B.-Juárez	0.056
Coyoacán	0.317
Cuajimalpa	0.384
G.A.M.	0.463
Iztacalco	0.109
Iztapalapa	0.599
Magdalena-C.	0.428
Milpa-Alta	0.318
Álvaro-Obregón	0.702
Tláhuac	0.235
Tlalpan	0.894
Xochimilco	0.382
Cuauhtemoc	0.384
Miguel-Hidalgo	0.340
V.-Carranza	0.160
TOTAL	5.985

TOTAL ≈ 2,494 pozos de absorción

Costo_{recarga-recuperación} ≈ \$2,250 millones de pesos

→ \$11.9/m³

Costo_{Valle del Mezquital} ≈ \$3,311 millones de pesos

→ \$25/m³

Costo_{Temascaltepec} ≈ \$3,571 millones de pesos

→ \$22.6/m³

Déficit en el Acuífero (DF) = 4.7 m³/s

Otras fuentes y alternativas de abastecimiento (m³/s)

Lerma = 4.231 Mezquital = 5 Temascaltepec = 4.5 m³/s

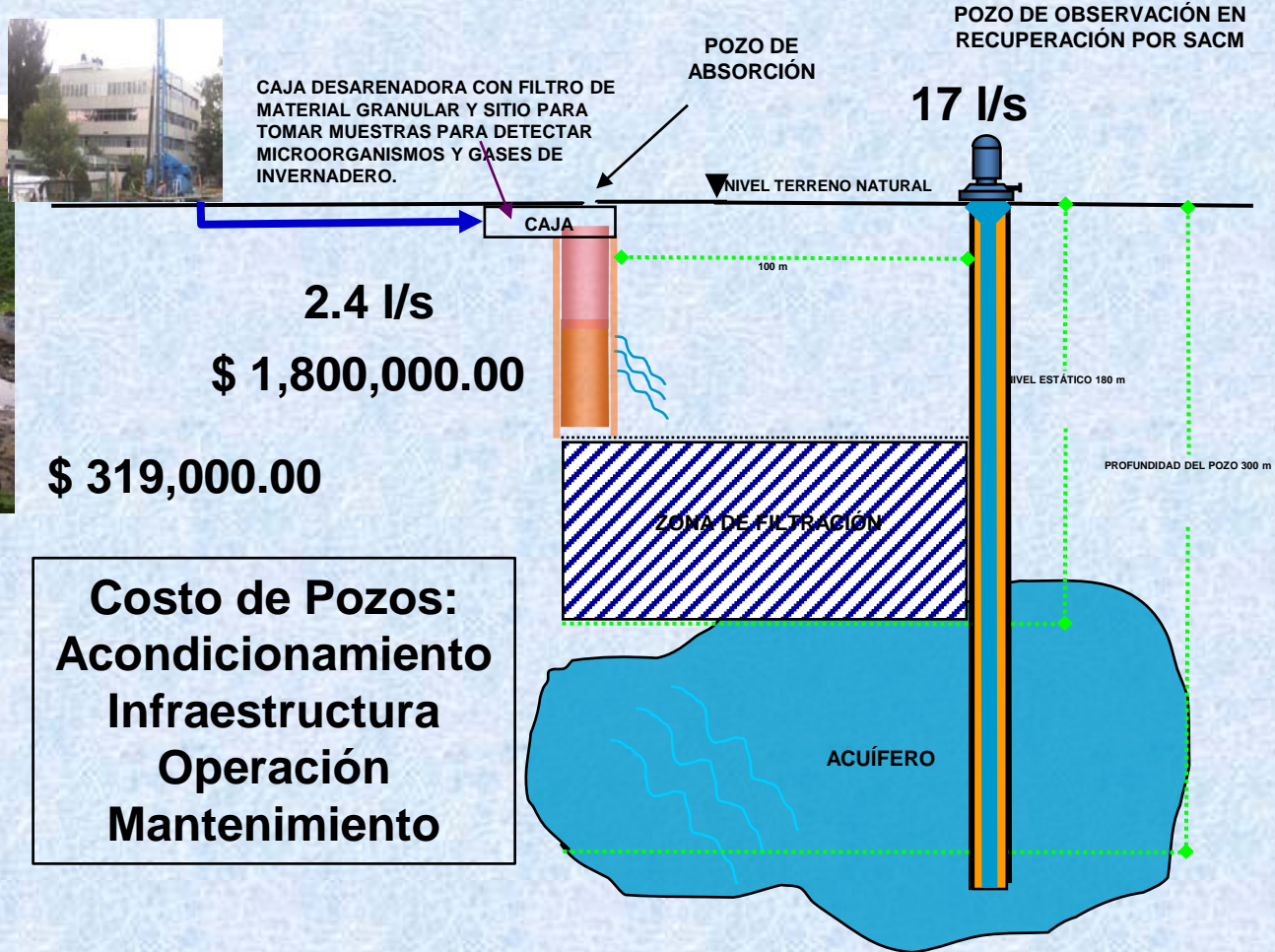
Pozos de Absorción

POZOS DE ABSORCIÓN A CIELO ABIERTO



[5 a 300] l/s

POZOS DE ABSORCIÓN PERFORADOS



Costo de Pozos:
Acondicionamiento
Infraestructura
Operación
Mantenimiento

Beneficio del Plan Proyecto.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

- ❖ Los volúmenes de lluvia potenciales para la recarga del acuífero de la Ciudad de México, son los mismos volúmenes del escurrimiento superficial virgen disponibles. La diferencia estriba en el aprovechamiento de estos volúmenes mediante pozos de absorción para incrementar la recarga del agua subterránea vs. su desalojo hacia la cuenca de Tula a través del sistema de drenaje.
- ❖ Los costos de abastecimiento pueden ser de \$12/m³, en comparación con \$25/m³ Acuífero del Mezquital.
- ❖ Abastecimiento de agua para las Delegación del DF durante el estiaje.

Literatura

- Hvorslev, M. J. 1951. Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations. *Waterways Experiment Station Corps. of Engineers, U.S. Army, Vicksburg, Missisipi*, Bol. 36, 50 p.
- Lowry C.S. and M.P. Anderson.2006. An Assessment of Aquifer Storage Recovery Using Ground Water Flow Models. *Ground Water*, 44(5): 661-667.
- Pyne, R.D.G. 1994. *Groundwater Recharge and Wells*, 1st ed. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
- Gomez-Reyes, E. 2012. Plan de recarga del acuífero de la Delegación Iztapalapa. Reporte preparado para el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE). *Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, UAM-Iztapalapa*