

JORNADAS TÉCNICAS SOBRE LA
RECARGA ARTIFICIAL
DE ACUÍFEROS
Y REÚSO DE AGUA



Torre de Ingeniería, UNAM, México D.F.
9 y 10 de junio de 2011



**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT



El PSHCVM y los programas de recarga artificial de acuíferos y reúso de agua

Ernesto Espino de la O
Gerencia de Agua Potable y Saneamiento
Coordinación de Proyectos del Valle de México
Comisión Nacional del Agua
Viernes 10 de junio de 2011, 12:00 PM



Un plan integral de manejo del agua

- 1. Programa de Sustentabilidad Hídrica del VdeM, PSHCVM**
 - a.** Administración integrada del agua y del agua residual, incluyendo obras para el control de inundaciones, tratamiento y reúso del agua residual y desarrollo de nuevas fuentes sustentables de suministro de agua potable.
 - b.** Atención especial al uso eficiente de la energía y a la emisión de gases efecto invernadero (GEIs).

- 2. Principales objetivos del PSHCVM**
 - a.** Tratar 100% de las aguas residuales, actualmente se trata menos del 15%,
 - b.** Reducir la sobre-explotación del acuífero en 15 m³/s,
 - c.** Desarrollar una nueva fuente, sustentable de suministro de agua para el Valle de México,
 - d.** Prevenir la inundación de zonas urbanas.
 - e.** Cerrar el ciclo del agua → alcanzar un desarrollo sustentable



**GOBIERNO
FEDERAL**

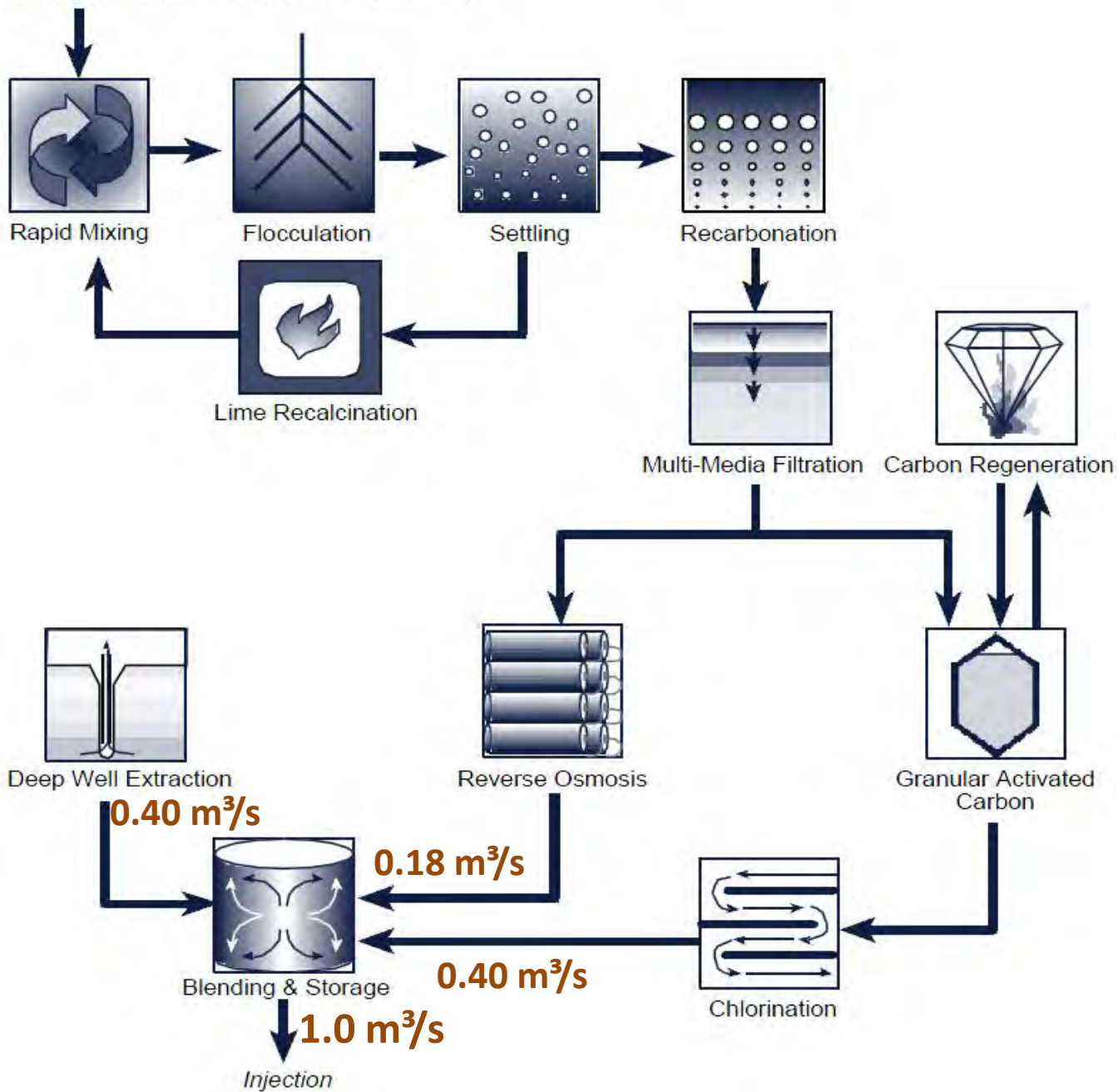
SEMARNAT



Precedentes de reúso de aguas residual tratada para recarga de acuíferos



Secondary-Treated Effluent from Plant 1
County Sanitation Districts of Orange County



Nuevo tren de
procesos de
tratamiento en una
planta emblemática

Factory 21

Inicio de operaciones en
octubre de 1976

Orange County Groundwater
Replenishment System

GRS

GWRS: calidad del agua



Influente

Después de
microfiltración

Efluente

GWRS: Unidades de tratamiento



Tratamiento químico



Peróxido de hidrógeno



Ósmosis inversa



Ultravioleta

GWRS: Pozos de inyección en el predio de la planta



GWRS: Gastos y presiones en pozos de inyección



Gasto por pozo = 55 l/s



Gasto por pozo = 71 l/s



**Distribución de manómetros
por nido de pozos, 1.7 a 2.1 m
(2.5 a 3 psi)**



Membrana en espiral enrollada de OI

Sistema de recarga de acuíferos

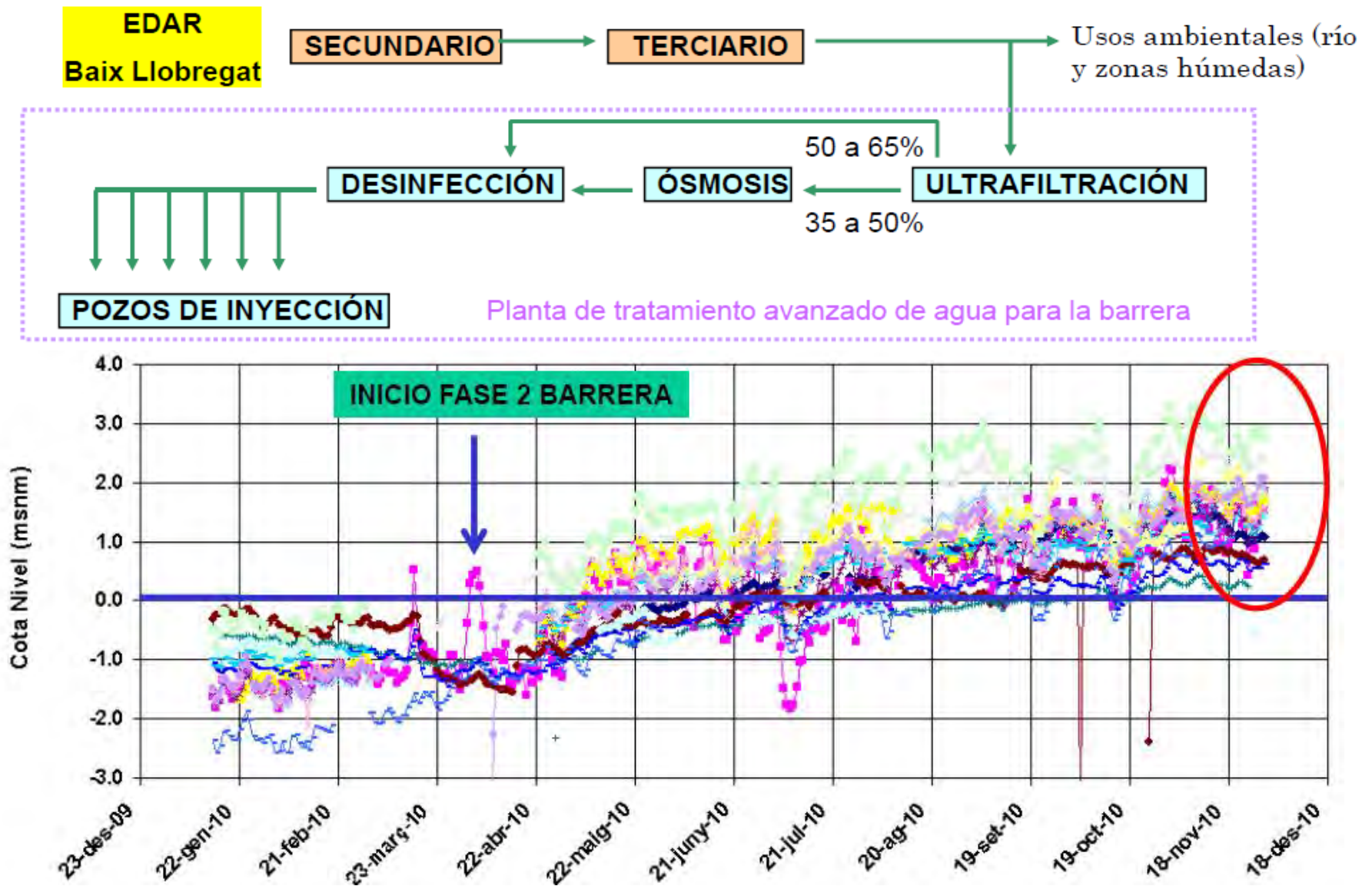


Membrana de fibra hueca de microfiltración



Módulos de OI

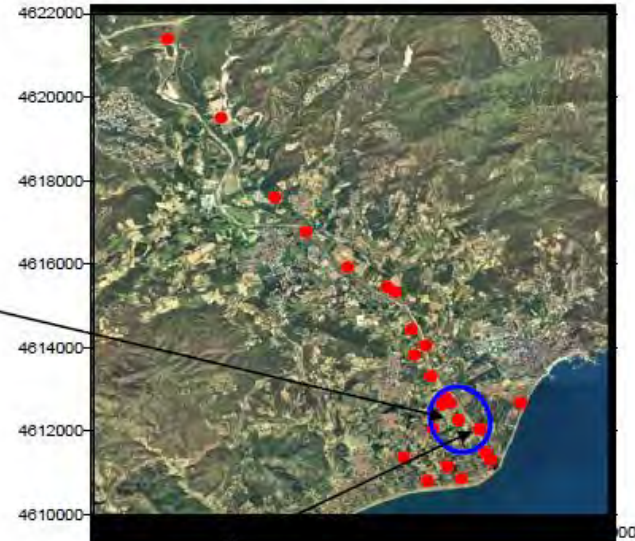
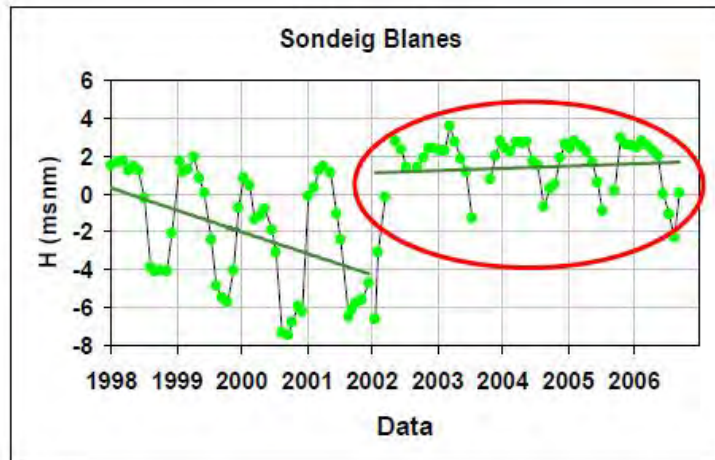
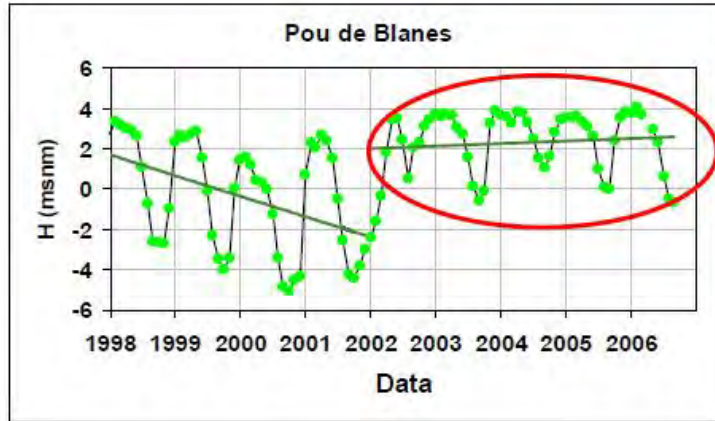
Recarga del acuífero de Llobregat en Cataluña, España



Referencia: Felip Ortuño Govern, Dpto. de Planificación de Abastecimiento, Agencia Catalana del Agua. Jornada sobre la Recarga Artificial de Acuíferos en Madrid, 14 de Abril de 2011

Recarga del acuífero de Tordera en Cataluña, España,

Niveles piezométricos en los acuíferos de la Tordera (2001 – 2006)



- La tendencia de los niveles piezométricos muestra que el acuífero está ahora en equilibrio, y que éstos no descienden por debajo del nivel mar como antes del 2002.

El caudal de agua que se destina a recarga de acuíferos es (abril 2011) de $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$.
La previsión es que se alcance $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ en las cuencas internas de Cataluña

Referencia: Felip Ortuño Govern, Dpto. de Planificació de Abastecimiento, Agencia Catalana del Agua. Jornada sobre la Recarga Artificial de Acuíferos en Madrid, 14 de Abril de 2011

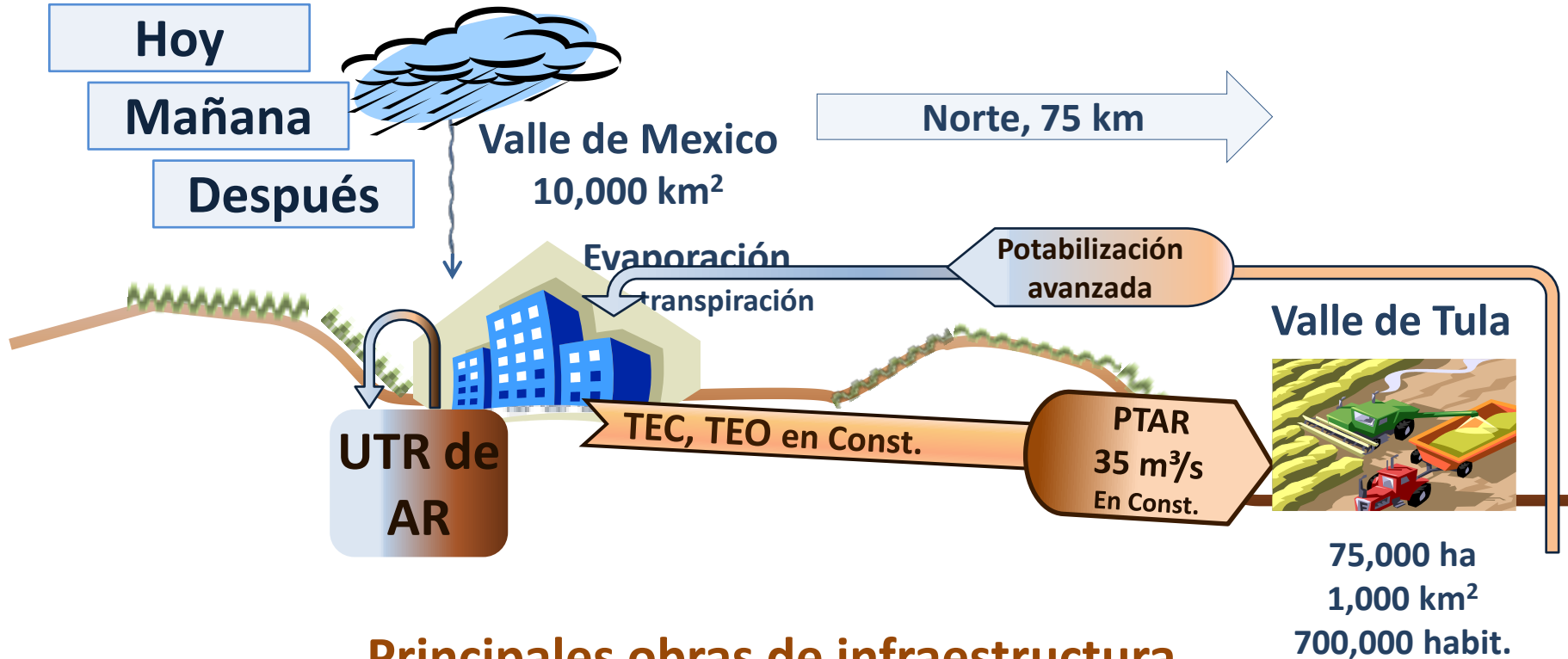
PSHCVM: Un plan integral de manejo del agua

Siglo XVI

Hoy

Mañana

Después



Principales obras de infraestructura

TEC = Túnel Emisor Central, 50 km de longitud, 6.5 m de diámetro, construido en 1975,

TEO = Túnel Emisor Oriente, 62 Km de longitud, 7 m de diámetro, en construcción,

PTAR = Planta Atotonilco de tratamiento de aguas residuales

UTR de AR = Unidades para tratamiento y reúso de agua residual, incl. recarga

Potabilización avanzada = Planta en estudio de 5 a 7 m³/s

Programa de obras estructurado en torno a: Tres ejes programáticos

- 1. Programa de sustitución gradual de agua de primer uso por agua residual tratada para riego agrícola dentro del Valle de México:**
 - Unidad de saneamiento El Caracol, **2m³/s**
 - Unidad de saneamiento Zumpango, **2 m³/s**
 - Unidad de saneamiento Vaso El Cristo, **4 m³/s**
- 2. Programa de recarga directa de acuíferos del Valle de México con agua residual tratada:**
 - Unidad de saneamiento El Caracol, **1 m³/s en 1ª etapa**
- 3. Programa de reciclado del agua del acuífero de Tula para suministro de agua potable:**
 - Planta Atotonilco para sanear las aguas del Valle de Tula,
 - Proyecto Tula, **por definir (5 m³/s en 1ª etapa?)**

Unidades de tratamiento y reúso

○ Unidades de tratamiento, reúso y/o recarga de aguas residuales

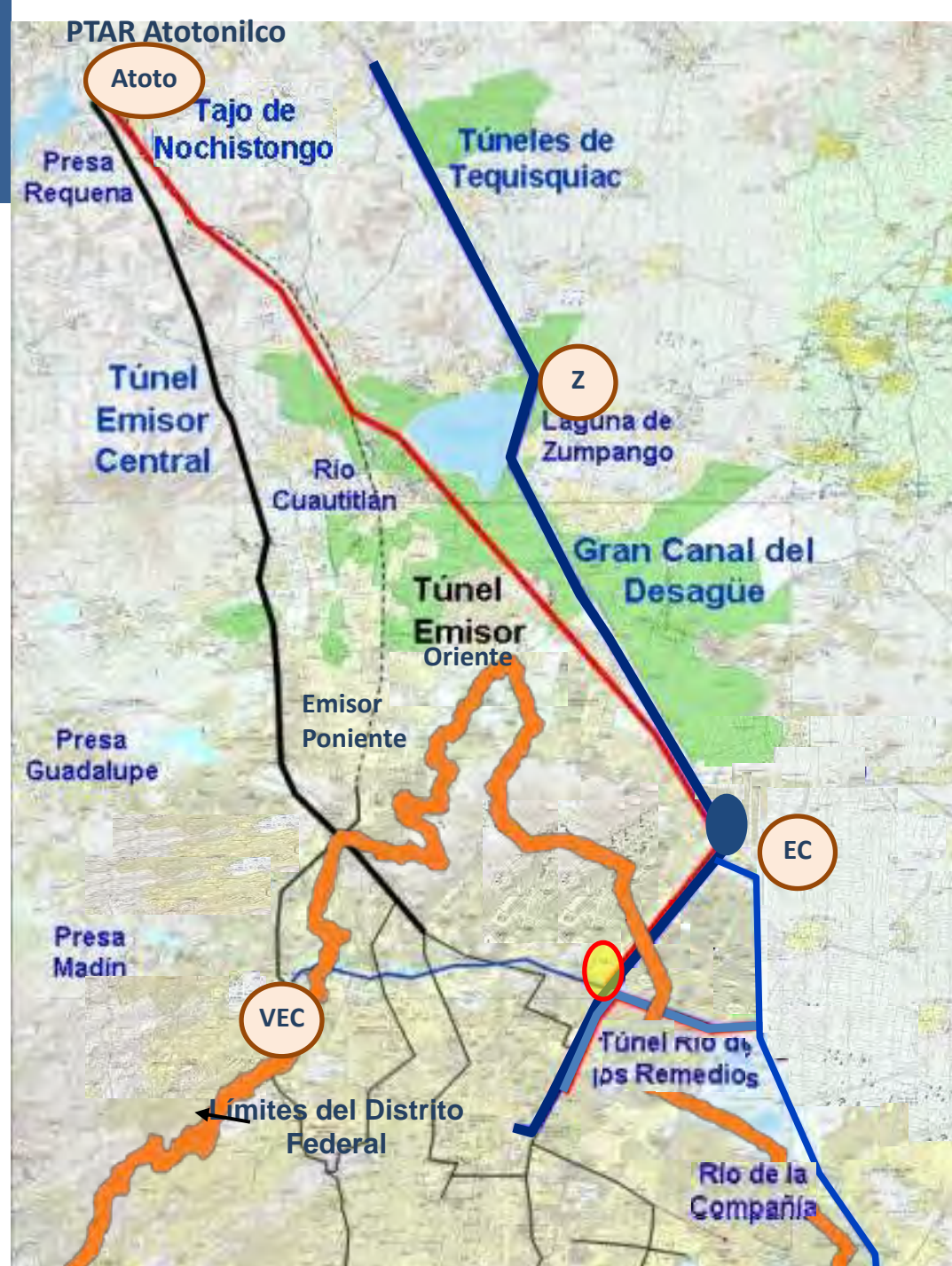
Atoto PTAR Atotonilco

Z PTAR Zumpango

VEC PTAR Vaso El Cristo

EC PTAR EL Caracol

* No se muestran las unidades para saneamiento de cauces y tratamiento de aguas de riego.

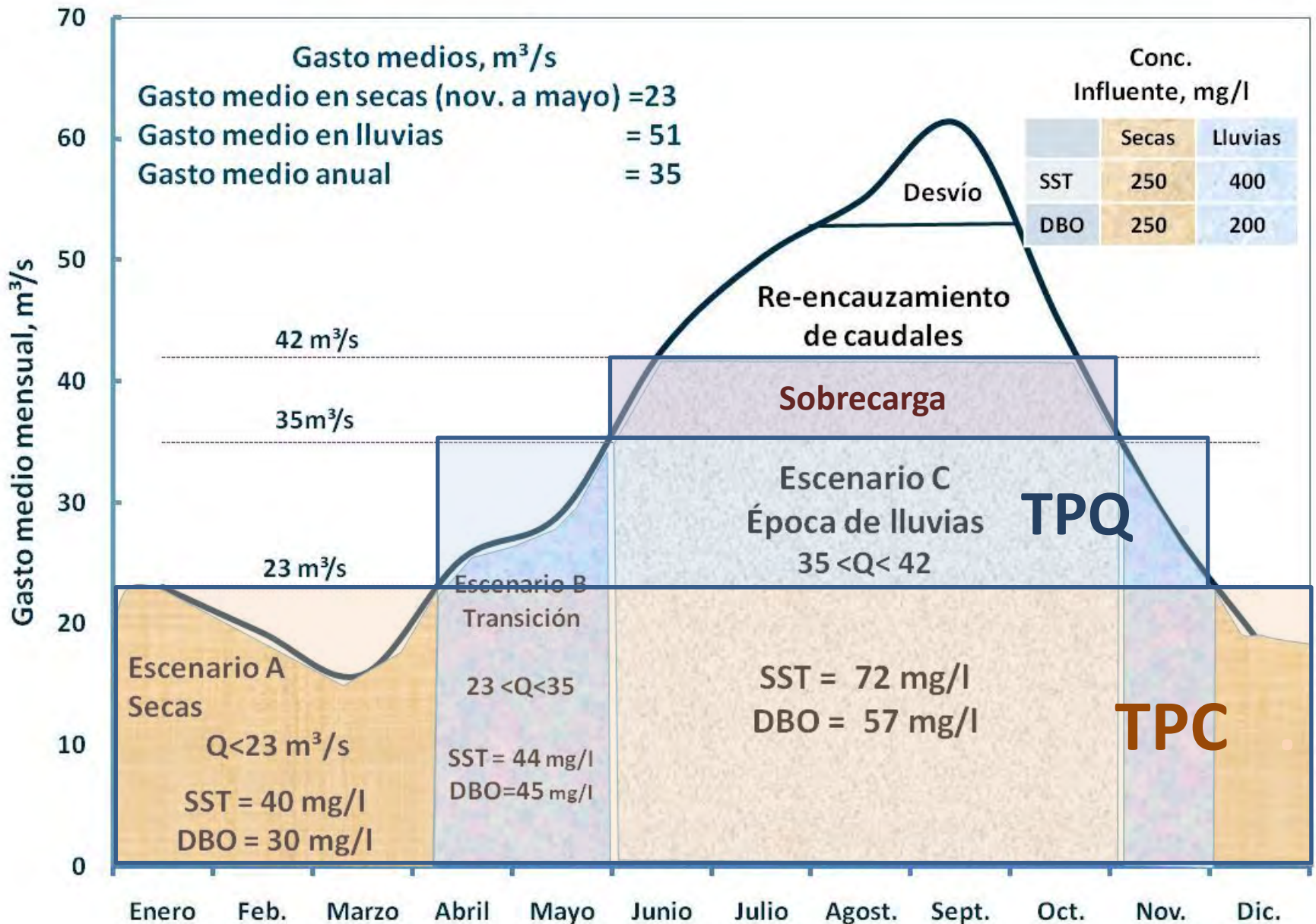


Características de la PTAR Atotonilco

- *La ciudad de México tiene un sistema de drenaje combinado,*
- *Las lluvias son estacionales, el 85% de la precipitación anual cae en sólo cinco meses del año,*
- *Fuertes fluctuaciones estacionales en el caudal de aguas residuales*

- 1. Tren de Procesos Convencionales, TPC:** Gasto de diseño igual al gasto medio en época de secas, tratamiento biológico secundario con desinfección, el efluente apto para riego agrícola sin restricciones.
- 2. Tren de Procesos Químicos, TPQ:** Gastos por encima del gasto medio de época de secas, tratamiento químico + filtración y desinfección, el efluente descarga al río El Salto que alimenta a la presa Endhó, para riego.

Gastos medios de salida del Emisor Central, proyección PSHCVM



Distribución de las unidades de tratamiento



Beneficios de la planta

- 1. Sociales:** la población del valle de Tula no tiene porque vivir en un ambiente insalubre por recibir las descargas de aguas residuales del Valle de México sin el debido tratamiento,
- 2. Económicas:** Opción de diversificación de cultivos en respuesta a demandas del mercado, optar por cultivos más redituables económicamente,
- 3. Ambientales:** el riego con aguas limpias regenera la calidad de los acuíferos de la región y posibilita su aprovechamiento para fines ulteriores.



**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT

Unidad de Saneamiento El Caracol



Vivir Mejor

Unidad de saneamiento y reúso El Caracol

Cuatro módulos independientes de 1 m³/s cada uno

Opcional: Reúso
industriales y
comerciales

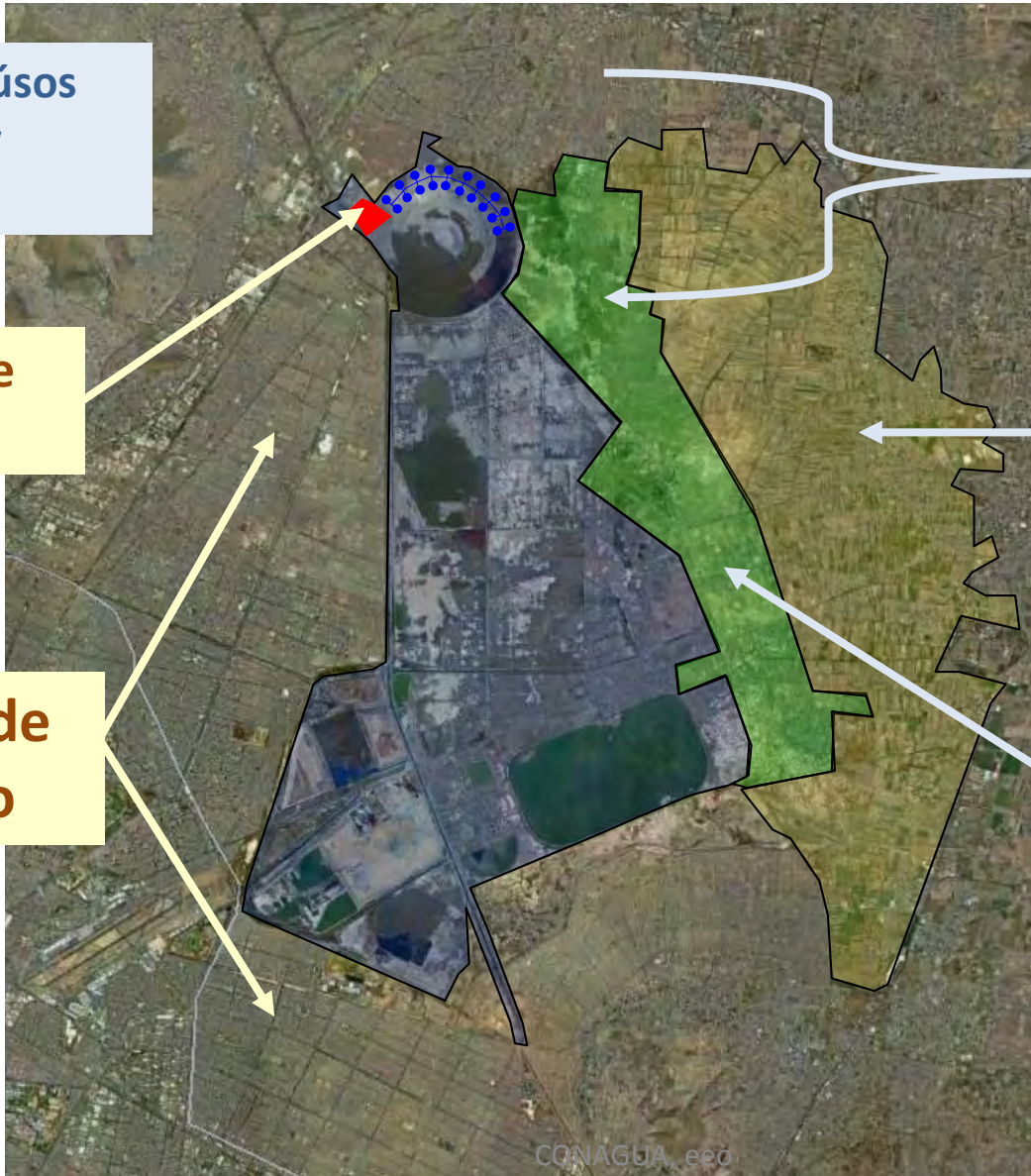
Predio de
la PTAR

Ciudad de
México

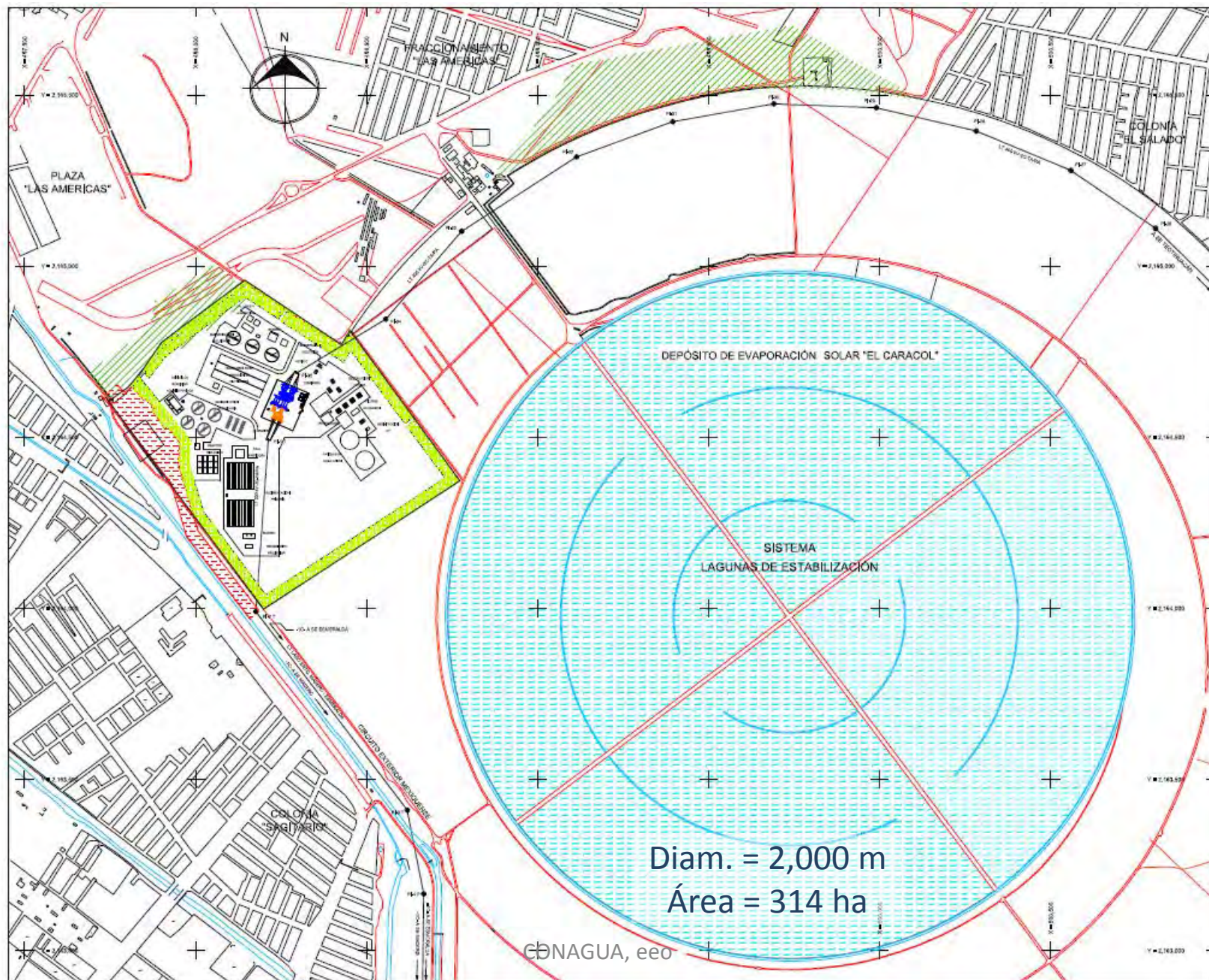
Recarga de acuíferos,
tratamiento avanzado,
1ª Etapa: 1 m³/s

Intercambio con agua de
pozos usada en riego
agrícola, 4,500 ha,
tratamiento secundario,
1 m³/s

Riego de 2,500 ha de
zona de mitigación
ambiental (PELT),
tratamiento secundario,
1 m³/s



Sistema lagunar para pulimento y regulación de gastos



Rescate ecológico de Vaso de Texcoco y zonas vecinas

Antes

Suelos
desertificados
salino-sódicos



Después

Praderas
artificiales y
cortinas de
árboles



PELT y pozos agrícolas en la zona propuesta para riego con agua tratada

40 pozos @ de 30 l/s por pozos = 1,200 l/s

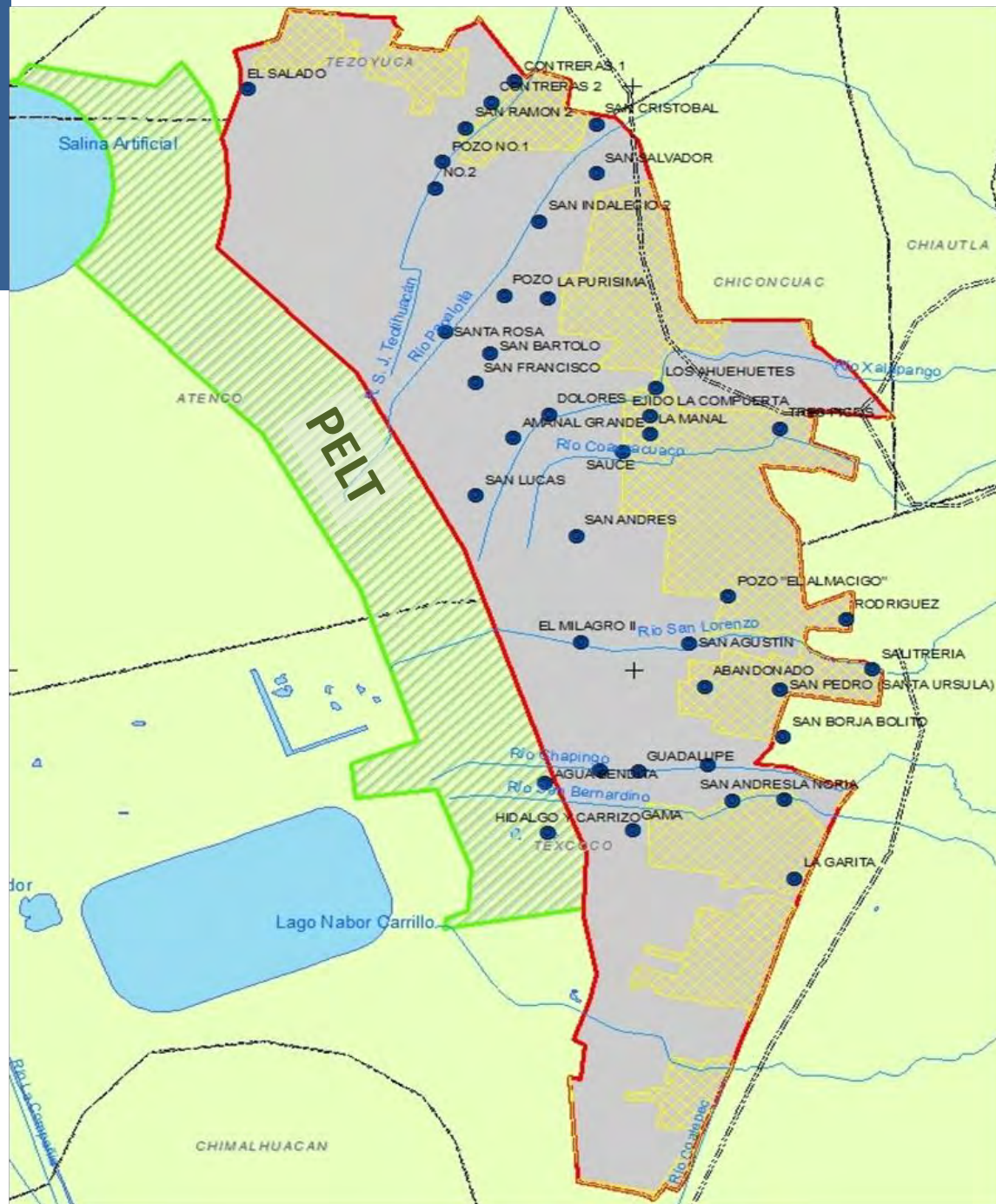
Agua tratada en los dos módulos = 2 m³/s
= 63 Mm³/año

Lámina = 1 m/año

Área regable = 6,300 ha

PELT: 1,800 a 2,500ha,

Zona agrícola: 4,500 ha



Proyecto El Caracol

Situación actual, costos, estudios de ingeniería

Estudios de ingeniería, primera etapa

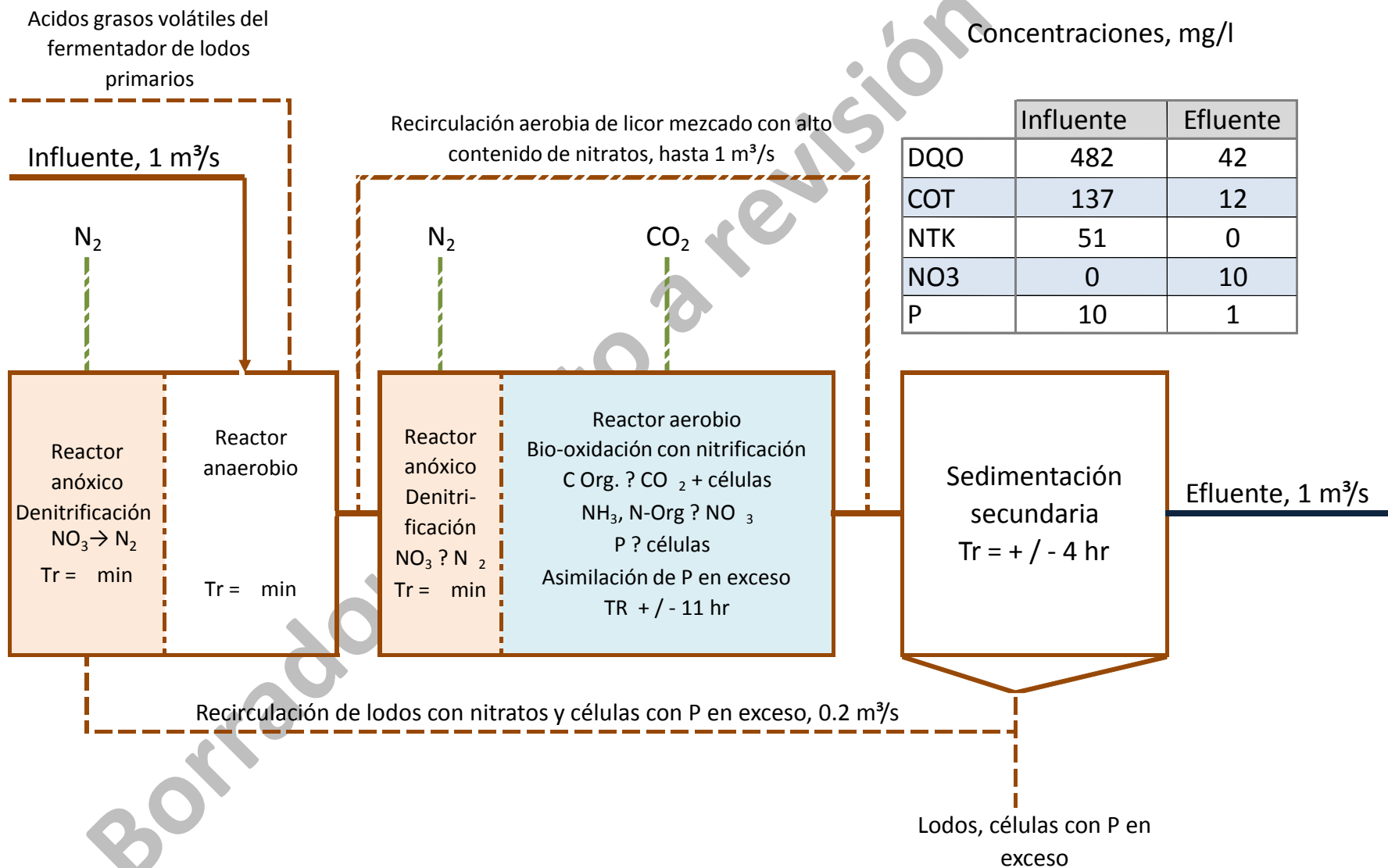
1. Análisis de costo / beneficio	7. Pozos de demostración de recarga de acuíferos
2. Calidad hidro-geoquímica del agua intersticial	8. Geofísica y modelación 3-D de subsuelo
3. Estudio de factibilidad ambiental	9. Topografía
4. Manifestación de impacto ambiental	10. Mecánica de suelos / análisis de cimentaciones
5. Estudios piloto de tratabilidad del agua	11. Análisis de riesgo de contaminación de acuíferos
6. Modelación de flujo de agua subterránea	12. Ingeniería básica de obras del proyecto v2

Documentos de licitación: términos de referencia, bases de licitación y modelos de contratos CPS

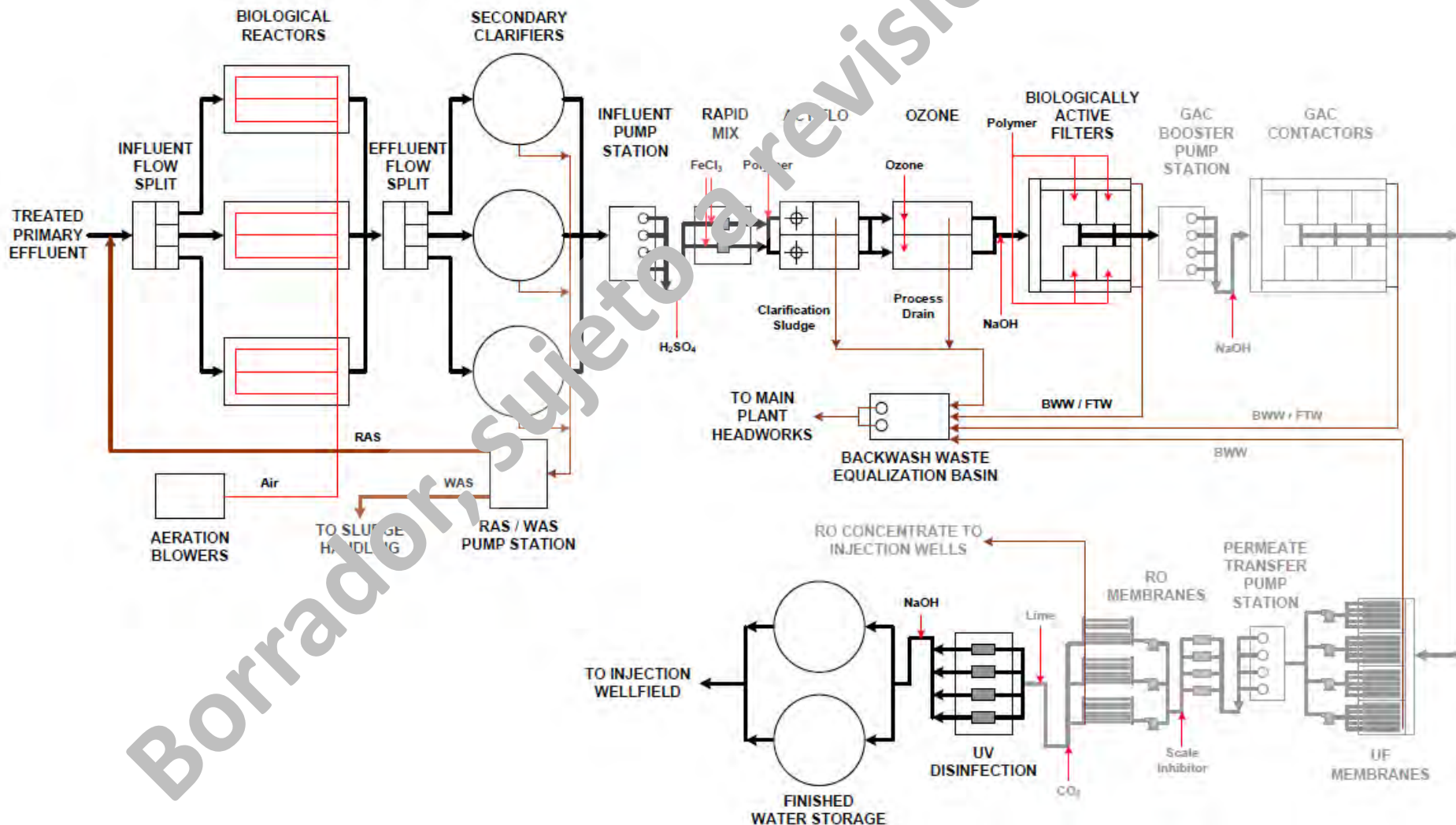
Costos estimados (año 2008)

Item		Costo estimado Millones \$
Primera Etapa	Módulo 1.- Riego de zona de mitigación ambiental	518
	Módulo 2.- Recarga de acuíferos	1,830
Segunda Etapa	Módulo 3.- Riego agrícola	652
	Módulo 4.- Reúso industriales y comerciales	355
Suma		3,355

Remoción biológica de N y P, sistema Bardenpho, variante Johannesburgo



Tren de procesos en el módulo de tratamiento avanzado





**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT

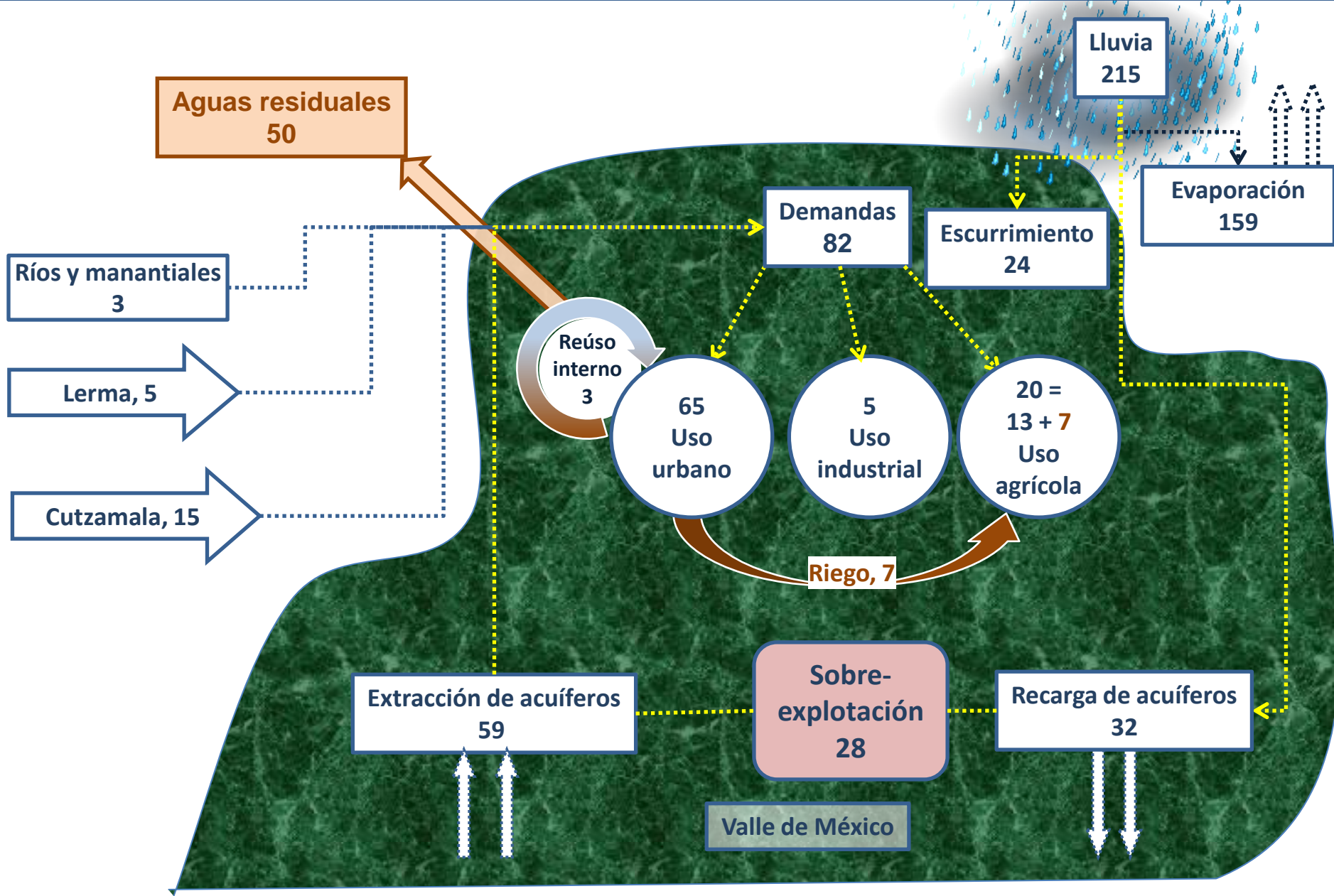
Resultados



Vivir Mejor

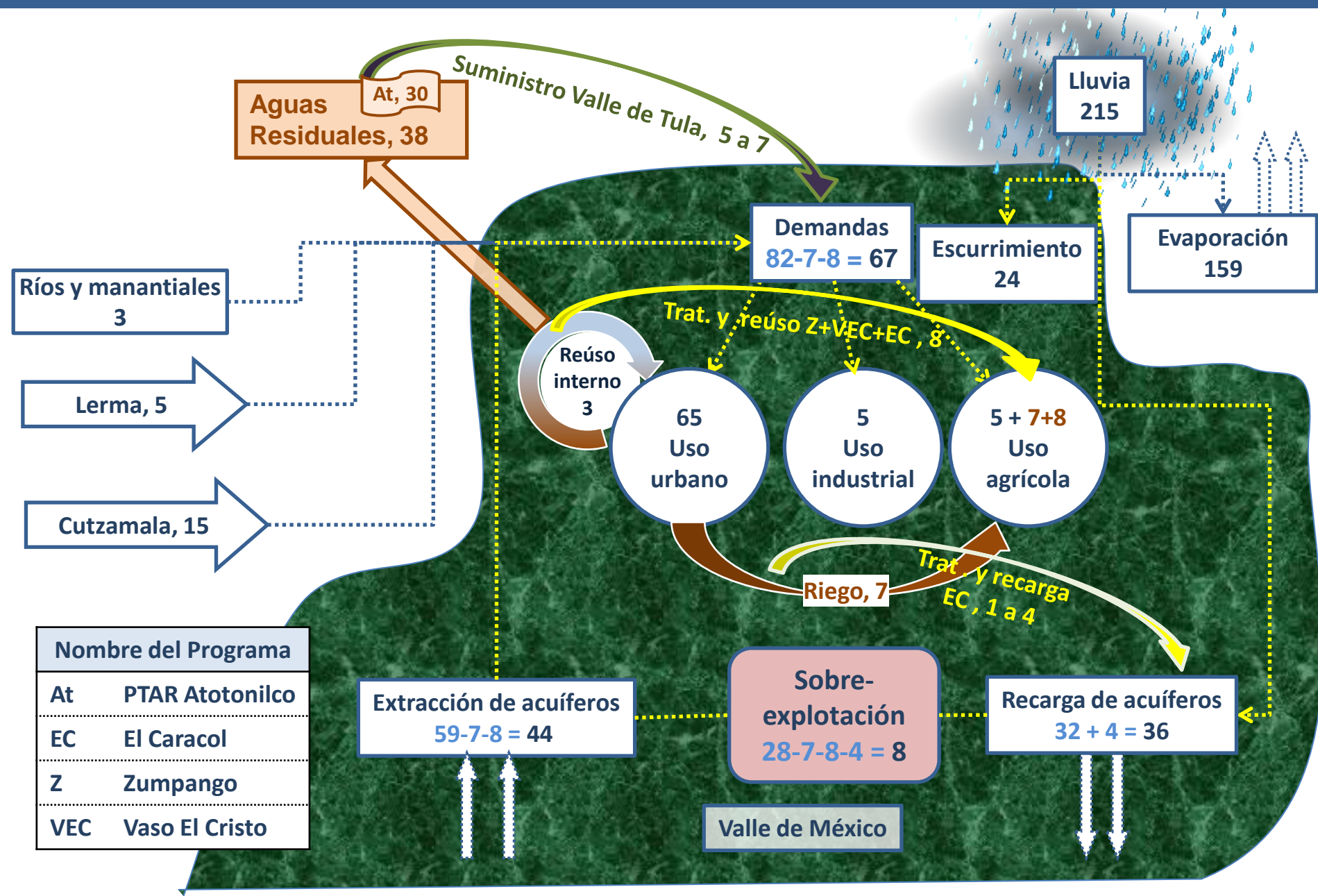
Balance medio anual en el Valle de México

m³/s, año 2008



Balance de aguas en Valle de México con las obras del PSHCVM

m³/s





**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT



Gracias
Preguntas



Vivir Mejor

Vista panorámica de la planta Atotonilco terminada



Habilitado de acero en los digestores



Colado de losa de fondo de digestor



Colado de zapata de muro de protección

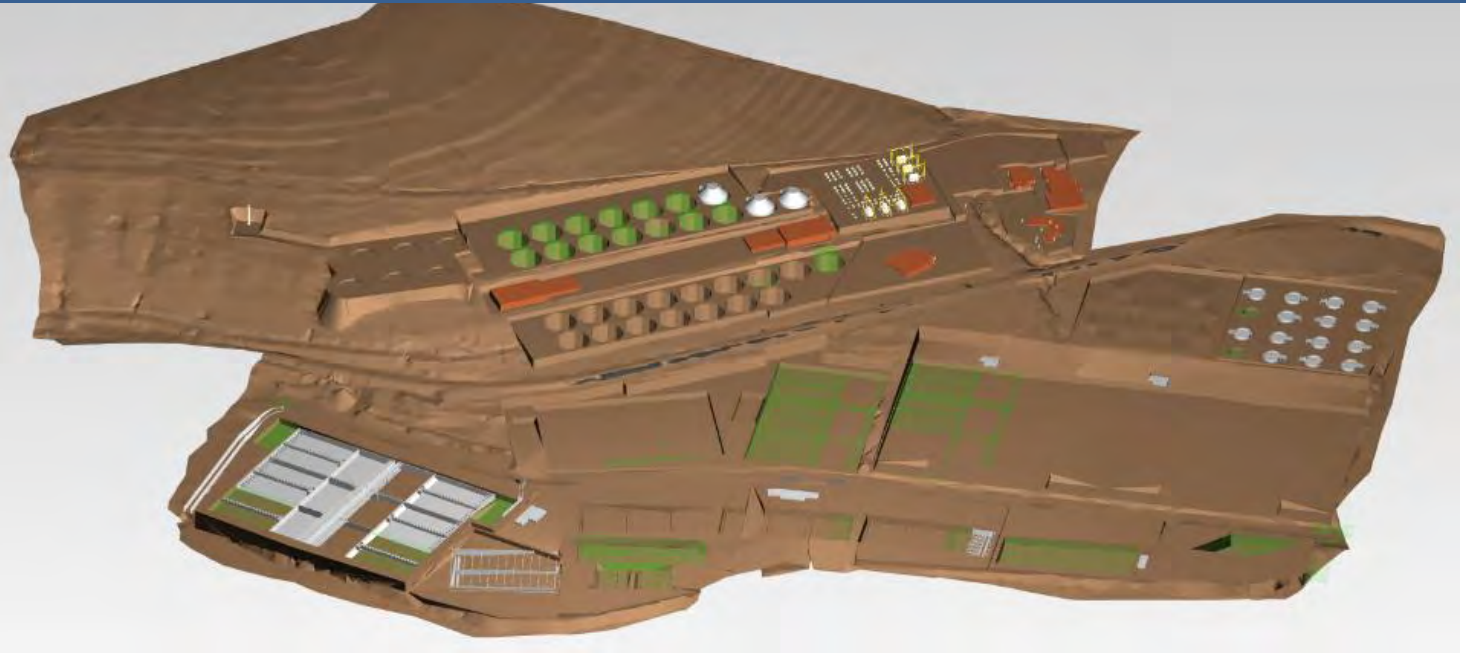


Plantilla en tanque de contacto de cloro



Time-Line: seis instantáneas

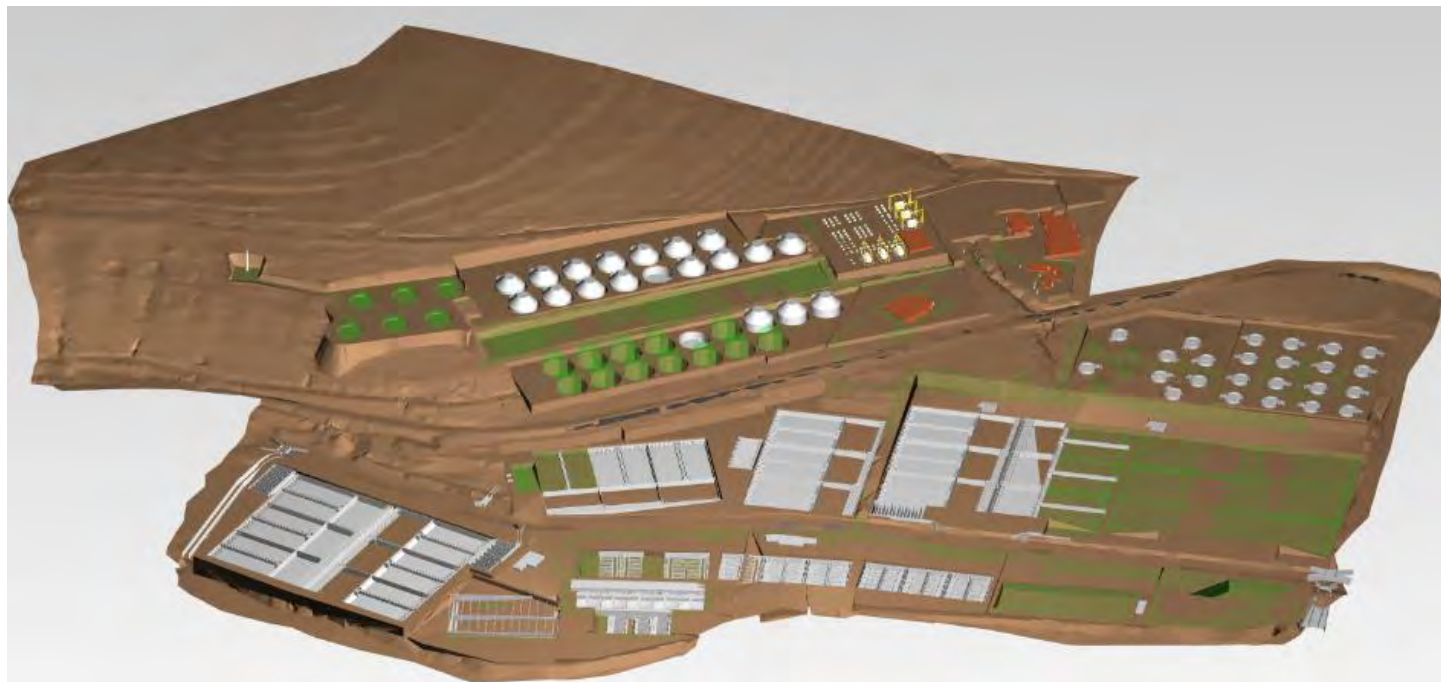
20 agosto
2011



1 octubre
2011



**10 marzo
2012**



**18 agosto
2012**



**12 enero
2013**



**23 febrero.
2013**



Comentarios finales

Un desarrollo sustentable del agua en el Valle de México sólo será posible con un manejo integral del agua que incluya, como mínimo, los siguientes elementos:

- 1.** Revertir las tendencias de sobre-explotación de los acuíferos:
 - a.** Intercambiando, siempre que sea posible, agua residual tratada por agua de pozos, en particular en el riego de zonas agrícolas
 - b.** Induciendo la recarga del acuífero por medios naturales o por recarga artificial con agua residual tratada
- 2.** Desarrollar sistemas sustentables de suministro de agua a través del reciclado de agua de zonas agrícolas regadas con agua residual tratada y enfrentar los problemas de calidad del agua con técnicas avanzadas de potabilización,
- 3.** Tratar todas las descargas de agua residual,
- 4.** Ampliar los sistemas de drenaje y control de inundaciones para enfrentar los retos del cambio climático y la cambiante geografía física del Valle de México.

Currículum vitae

ERNESTO ESPINO DE LA O

17 agosto 1940, Chihuahua, Chih.

FORMACIÓN ACADÉMICA

- Ingeniero Civil, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, N.L., 1957 - 1962
- Especialidad en Ingeniería Sanitaria, División del Doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1964
- Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1964 - 1965.
- Ph.D. en Ingeniería Ambiental, The University of Texas, Austin, Texas, EUA, 1965 - 1968.

Cursos de especialización:

- Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con Computadora, Univ. of Michigan, Ann Harbor, 1983.
- Modelos Matemáticos de Calidad del Agua, University of Florida, Gainesville, Fl., 1985.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

- 2002 a la fecha.- Gerente de Agua Potable y Saneamiento, Coordinación de Proyectos del Valle de México, Comisión Nacional del Agua.
- 2000 a 2002.- Director General de *Consultores Asociados en Proyectos Ambientales, S.A. de C.V.*
- 1996 a 1999.- Gerente de *Montgomery Watson México, S.A. de C.V.*
- 1973 a 1995.- Director General de *Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A. de C.V.*
- 1968 a 1972.- Ingeniero de Proyectos con *Engineering Science, Inc.*, en Estados Unidos, Brasil y Colombia.



**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT

Anexos



Vivir Mejor

Salidas artificiales de drenaje

Tajo de Nochistongo

Inicia su construcción en 1607, se termina en 1788.



Gran Canal del Desagüe

- Inaugurado en 1900
- 47.5 km de longitud
- Desemboca en los túneles de Tequixquiac.



Emisor Central

- Inaugurado en 1975
- 50 km longitud
- 6.5 m de diámetro
- Capacidad: 170 m³/s



Estas obras, construidas para evitar inundaciones, exportan el agua residual y de lluvia al vecino estado de Hidalgo.

En 2009 se inició la construcción del Túnel Emisor Oriente de 62 km de largo con capacidad para desalojar 150 m³/s y conducirlos a la PTAR Atotonilco.

Volúmenes de agua en el Plan

1. Precipitación media en el Valle de México: 700 mm/año, **7,000 Mm³/año**,
2. Volumen medio anual de agua residual a tratar en la PTAR Atotonilco: 33 m³/s, **1,000 Mm³/año**,
3. Flujo de retorno de agua para potabilización para el Valle de México, 5 m³/s, **150 a 250 Mm³/año**,
4. Caudal de agua a tratar en plantas de reúso de agua residual en el Valle de México: 9 a 10 m³/s, **300 Mm³/año**.

Volúmenes de agua en el Plan

Concepto	Mm ³ /año	m ³ /s	Normalizado
Lluvia	6,771	215	100
Escurrimiento	747	24	11
Evaporación	5,027	159	74
Ríos y manantiales	85	3	1
Lerma	151	5	2
Cutzamala	470	15	7
Uso urbano	2,040	65	30
Uso industrial	145	5	2
Uso agrícola	397	13	6
Demandas	2,582	82	38
Aguas residuales fuera del VdeM	1,589	50	23
Riego con aguas residuales	214	7	3
Reúso interno	105	3	2
Extracción de acuíferos	1,876	59	28
Recarga de acuíferos	997	32	15
Sobreexplotación	879	28	13

Contrato Atotonilco de Prestación de Servicios

Una adecuada predicción del monto de inversión en la planta y de la multi-anualidad por contraprestación del servicio permitió la contratación del servicio en un tiempo récord de seis meses.

1. La SHCP autorizó a CONAGUA, **previo a la licitación**, una multi-anualidad basada en los costos anuales totales del tratamiento:

- Estimación de CONAGUA 1,074 M\$ por año
- Propuesta ganadora 1,066 M\$ por año
- Diferencia - 0.8%

2. La SHCP autorizó, **previo a la licitación**, un subsidio al proyecto basado en el monto estimado de la inversión inicial:

- Estimación de CONAGUA 9,264 M\$
- Propuesta ganadora 9,394 M\$
- Diferencia + 1.4%

Datos económicos y financiero de la PTAR Atotonilco

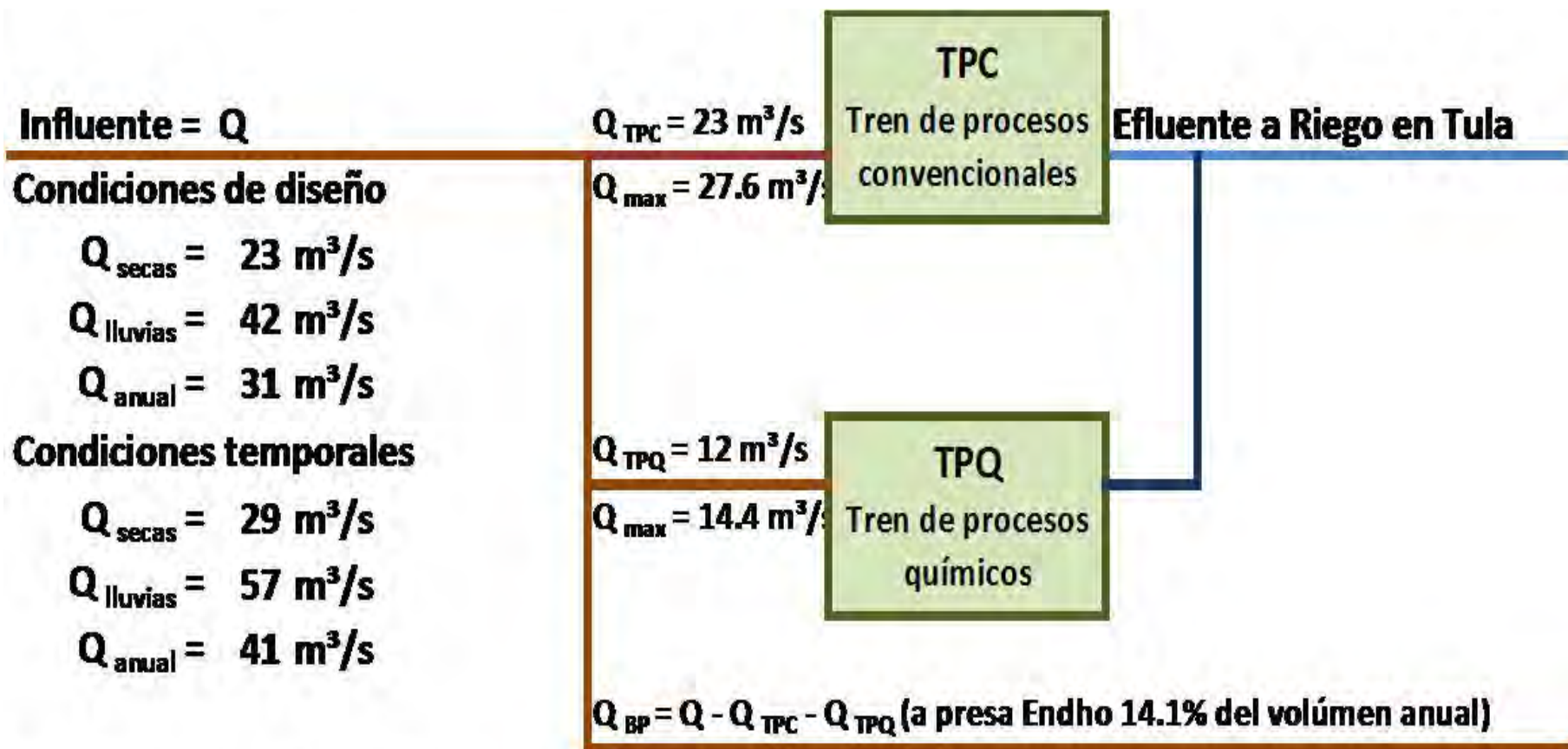
(pesos octubre 2009)

Monto total de la inversión: 10,022 M\$

Inversión en la construcción de la PTAR, M\$	9,389.22	
Aportación FONADÍN: 4,600 M\$	48.98%	
Participación privada	Capital de riesgo:	20.00%
	Crédito	31.02%
Costo anual total, M\$/año	1,066	
Caudal medio tratado probabil.	33 m ³ /s	
Población equivalente 12 millones de habitantes	2.9 M m ³ /día	
	1,043 M m³/año	
Costo unitario de tratamiento	1.05 \$/m³	
Costo per cápita	90 \$/año/hab	
	7.5 \$/mes/hab	

Capacidades y procesos de PTAR Atotonilco

Diagrama de funcionamiento hidráulico



Nota: Este escenario considera que se construirán todas las PTARs del Programa de Saneamiento

Producción de lodos en la PTAR Atotonilco

Lodo	Concentración de sólidos	Peso seco t/año
Lodo químico	5.0%	95,000
Lodo primario espesado	6.8%	166,000
Lodo secundario espesado	4.0%	94,000
Lodo a digestores	5.3%	354,000
Lodo deshidratado a mono-relleno	28.0%	243,000*

***Equivalente a 2,400 m³/día of lodo húmedo
= 1 camiones de 20 m³ cada 12 min**

Balance de energía y emisión de gases efecto invernadero

GEIs, PTAR Atotonilco

Consumo de energía	245 GW-hr por año
Energía generada en planta	200 Gw-hr por año
Potencia instalada de co-generación	32 Mw
Reducción en la emisión de GEIs	145,000 t CO₂ Eq. por año*

*Metodología AM0080, UNFCCC, Executive Committee

Calidad de diseño del influente a la planta

Parámetro	Unidad	Estiaje			Lluvias		
		Promedio Estacional	Promedio máximo Mensual	Promedio Máximo Diario	Promedio Estacional	Promedio Máximo Mensual	Promedio Máximo Diario
Temperatura	°C	19	21	22	21	22	24
Potencial Hidrógeno	U pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	441	470	475	345	382	434
SST	mg/L	250	300	400	400	500	600
SSV	mg/L	150	180	240	250	310	380
DBO ₅ total	mg/L	250	275	390	200	220	250
DBO ₅ soluble	mg/L	140	180	200	120	132	150
Nitrógeno Kjeldahl total	mg/L	40	45	50	25	30	35
Fósforo total	mg/L	12	14	16	9	11	12
Aceites y Grasas	mg/L	90	100	120	35	40	45
Sulfuros	mg/L	10	13	15	5	10	12
Coliformes Fecales	NMP/100mL	6.00 E+07	4.46E+07	2.00E+8	1.0 E+08	1.00E+9	2.50E+09
Huevos de Helminthos	H/L	2	3	4	4	5	7

Calidad del efluente del TPC

Parámetro	Unidades	Promedio Mensual	Máximo Diario
Temperatura	Grados Celsius	Condiciones Naturales + 1.5	Condiciones Naturales + 2.5
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	5 -10	5 – 10
Grasas y Aceites	mg/l	15	25
Materia Flotante		Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	ml/l	1	2
SST	Estiaje	40	60
	Lluvias	70	105
DBO ₅	Estiaje	30	60
	Lluvias	35	60
Coliformes Fecales	NMP/100 ML	1,000	2,000
Huevos de Helminto	Huevos por Litro	1.0	3.0
Cloro residual	mg/l	0.5	1.0

Calidad del efluente del TPQ

Parámetro	Unidades	Promedio Mensual	Maximo Diario
Temperatura	Grados Celsius	Condiciones Naturales + 1.5	Condiciones Naturales + 2.5
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	5 -10	5 – 10
Grasas y Aceites	mg/l	15	25
Materia Flotante		Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	ml/l	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	75	150
DBO ₅ Total	mg/l	100	200
Coliformes Fecales	NMP/100 ML	1,000	2,000
Huevos de Helminto	Huevos por Litro	1.0	3.0
Cloro residual	mg/l	0.5	1.0

Unidad de saneamiento y reúso El Caracol

Cuatro módulos independientes de 1 m³/s cada uno



Viveros para la producción de diversas especies

Comisión Lago de Texcoco

Áreas forestadas



Plantas halófilas

