

SEMARNAT



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



CONAGUA
Comisión Nacional del Agua

Subdirección General de Agua
Potable, Drenaje y Saneamiento

Coordinación General de los
Proyectos de Agua Potable y
Saneamiento del Valle de México

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Atotonilco de Tula Estado de Hidalgo

28 de mayo de 2008
México, D.F.

I.- Antecedentes

- En noviembre de 2007, el Director General de la Comisión Nacional del Agua presentó al Sr. Presidente de la República el Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México.
- El Programa atiende diversos problemas en las áreas de protección de acuíferos, desarrollo de nuevas fuentes de agua potable, intercambio de aguas de uso agrícola, drenaje, tratamiento de aguas residuales y restauración ecológica de cuerpos de agua en el Valle de México.
- Las dos obras de mayor envergadura contempladas en el Programa son el Túnel Emisor Oriente y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco de Tula, Estado de Hidalgo.
- El proyecto del Túnel Emisor Oriente ha sido tema de otras reuniones; el tema de la reunión de hoy es la PTAR Atotonilco

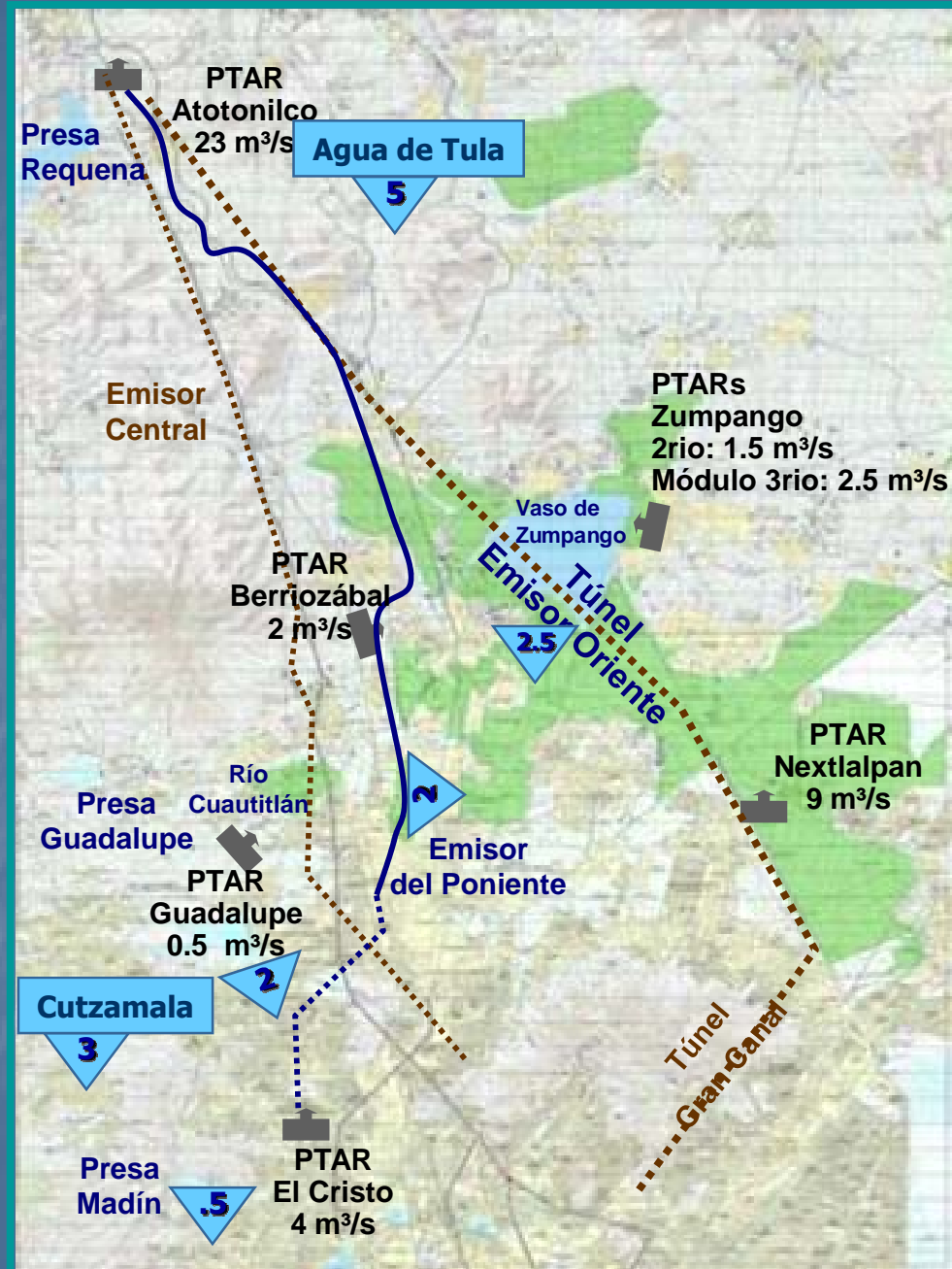
Agua potable y saneamiento en el Programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del Valle de México

Obras 2007 – 2012 (Gasto en m³/s)

PTAR Guadalupe	0.5
PTAR Berriozábal	2.0
PTAR Nextlalpan	9.0
PTAR Zumpango 2rio	1.5
PTAR Zumpango 3rio	2.5
PTAR Vaso El Cristo	4.0
PTAR Atotonilco	23.0
Suma:	42.5



Obras para alivio al acuífero

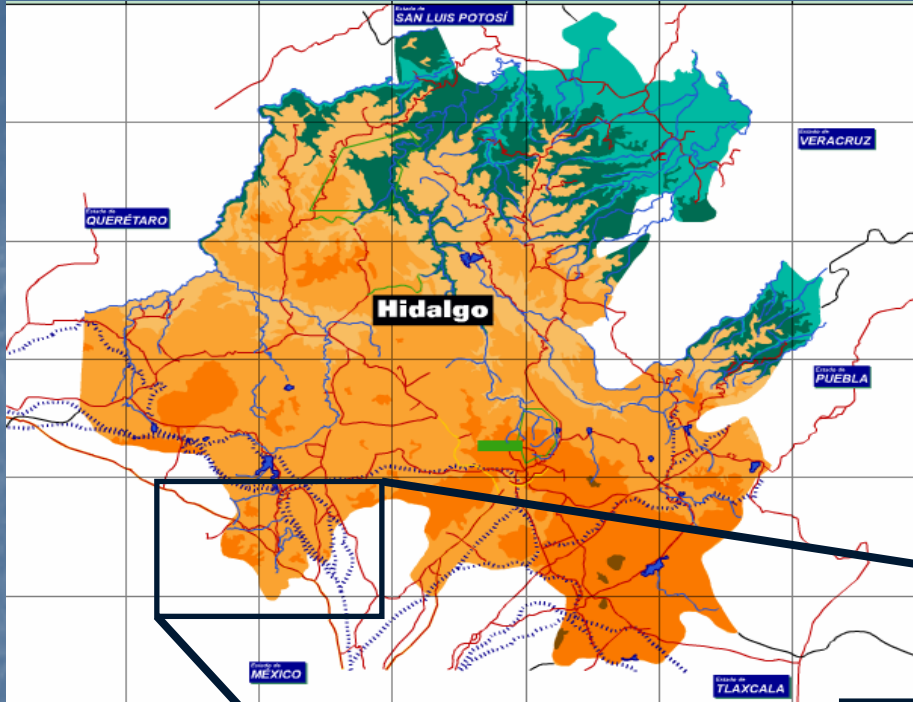


II.- Condiciones generales

- El Valle de México exporta sus excedentes de aguas residuales al Valle de Tula por dos sitios:
 - al oriente por los túneles de Tequixquiac donde descarga sus aguas el Gran Canal,
 - Al poniente a través del Emisor Central y el río El Salto y, a futuro, por el nuevo Túnel Emisor Oriente.
- La PTAR Atotonilco tiene como fin el dar tratamiento a las aguas residuales que se exportan en las descargas del poniente.
- Las aguas residuales se utilizan sin tratamiento en el Valle de Tula para el riego de cerca de 90,000 ha.
- En el Valle de Tula viven 700,000 habitantes de los cuales, 300,000 habitan directamente en las zonas de riego
- Para la construcción de la PTAR la CNA cuenta con un predio de 159 ha en la zona aledaña al Portal de Salida del Emisor Central.

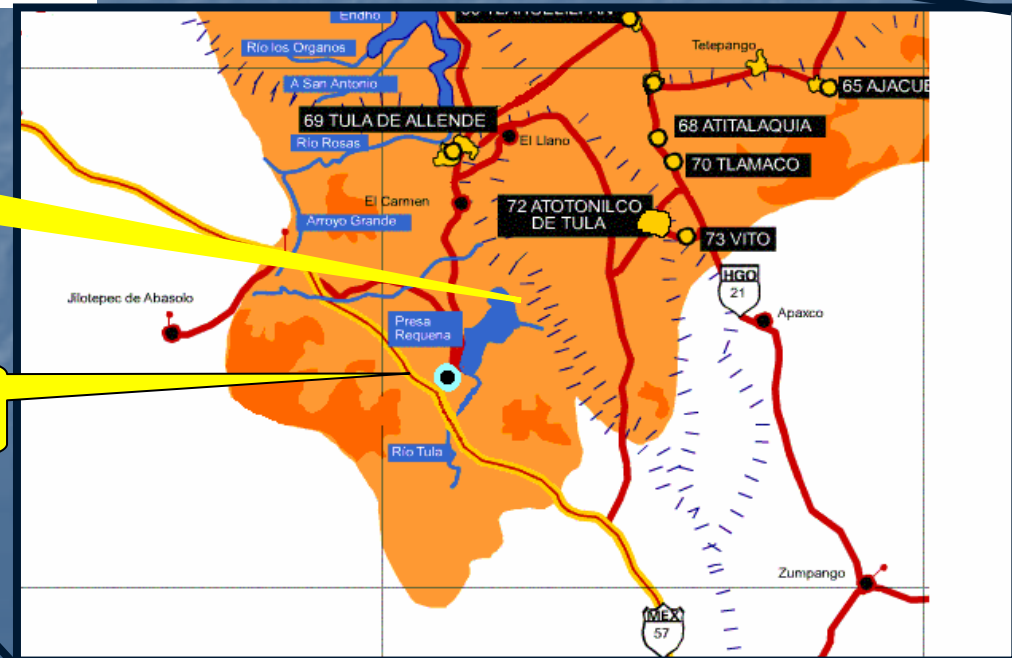
Localización

Para la ejecución de esta obra se cuenta con un terreno con una superficie de 158-51-42 has

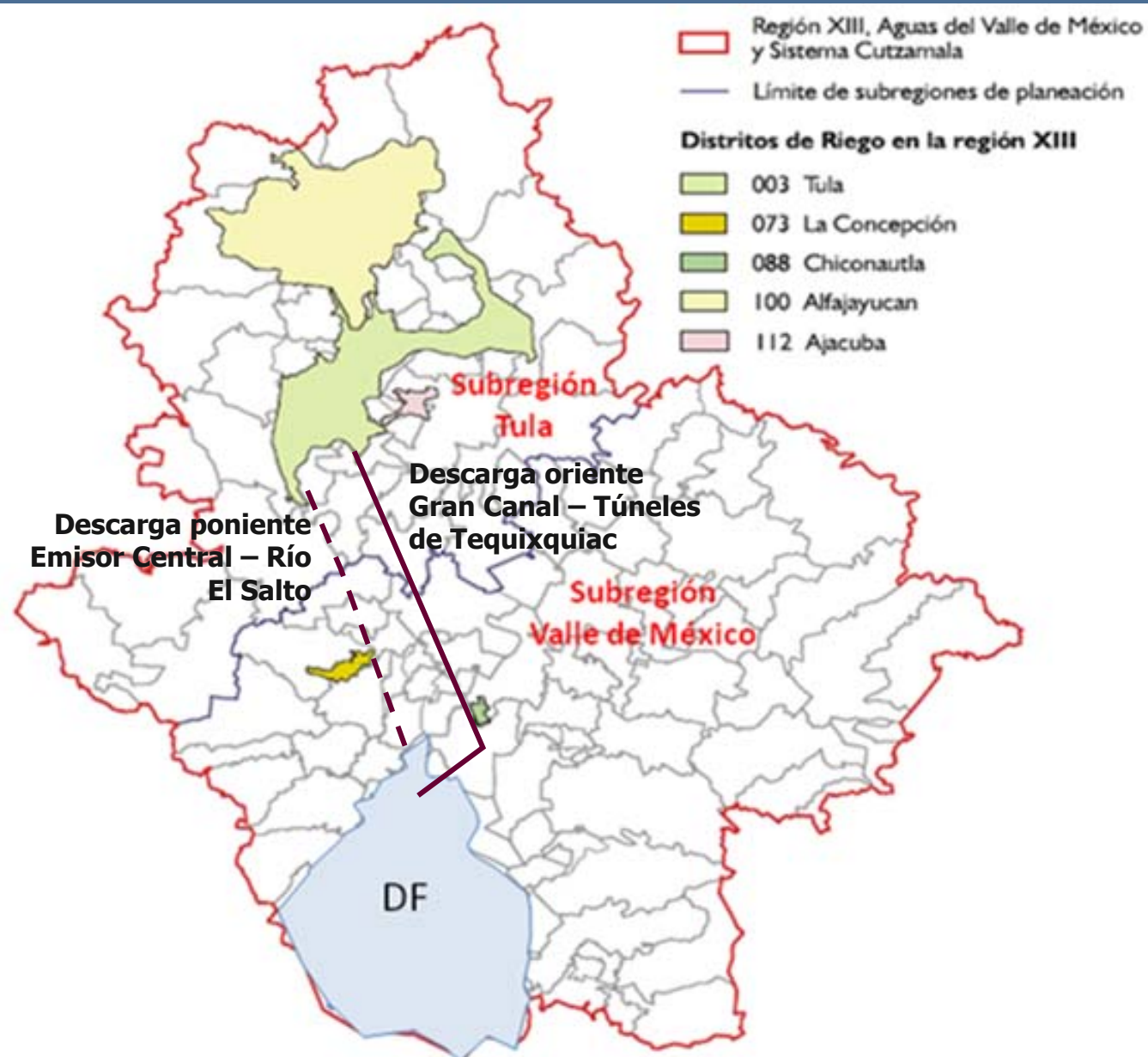


**PTAR.
Atotonilco**

**AUTOPISTA
MÉXICO-QUERÉTARO**

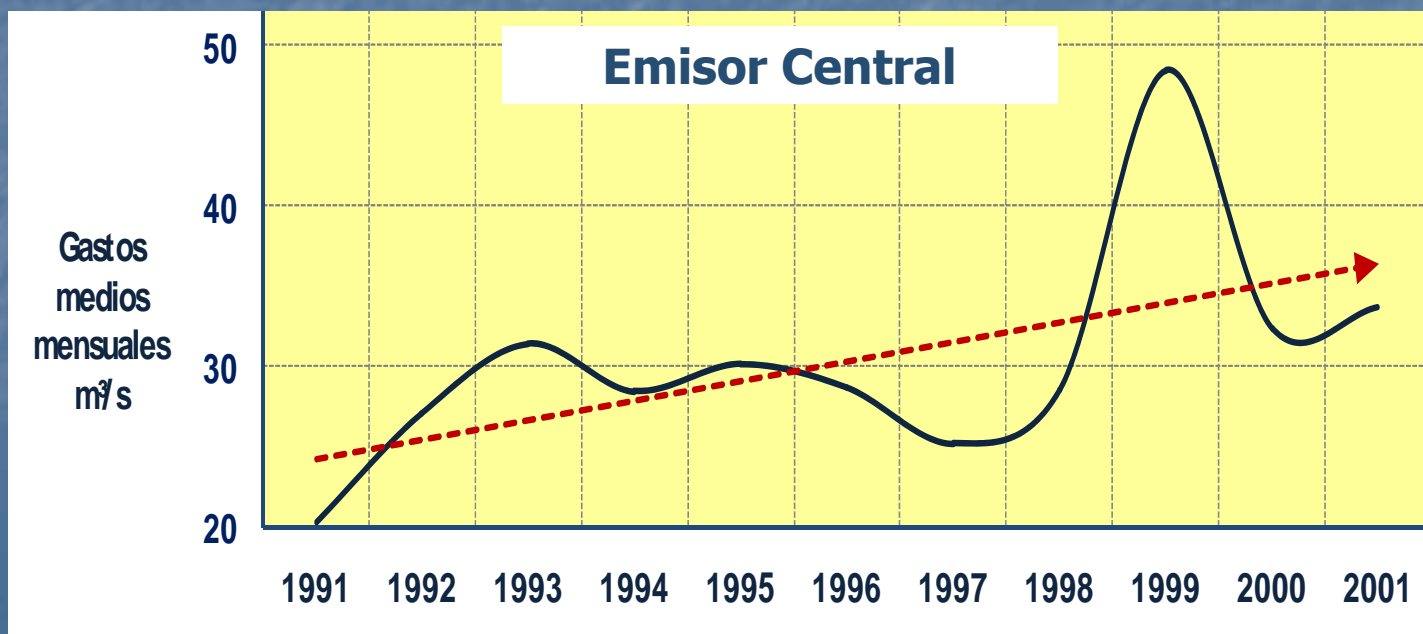
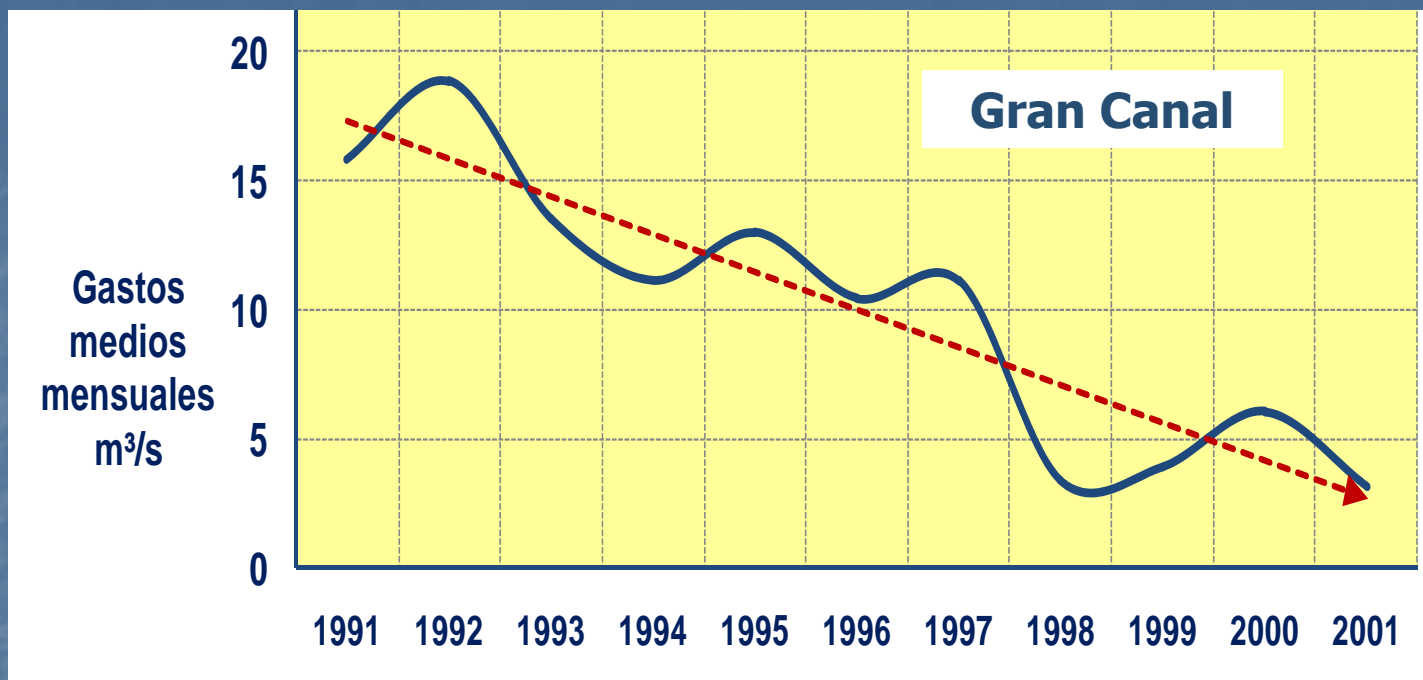


Distritos de riego en la Región XIII



Fuente: SIGA Gravamexsc.

Gastos medios mensuales en los meses de estiaje

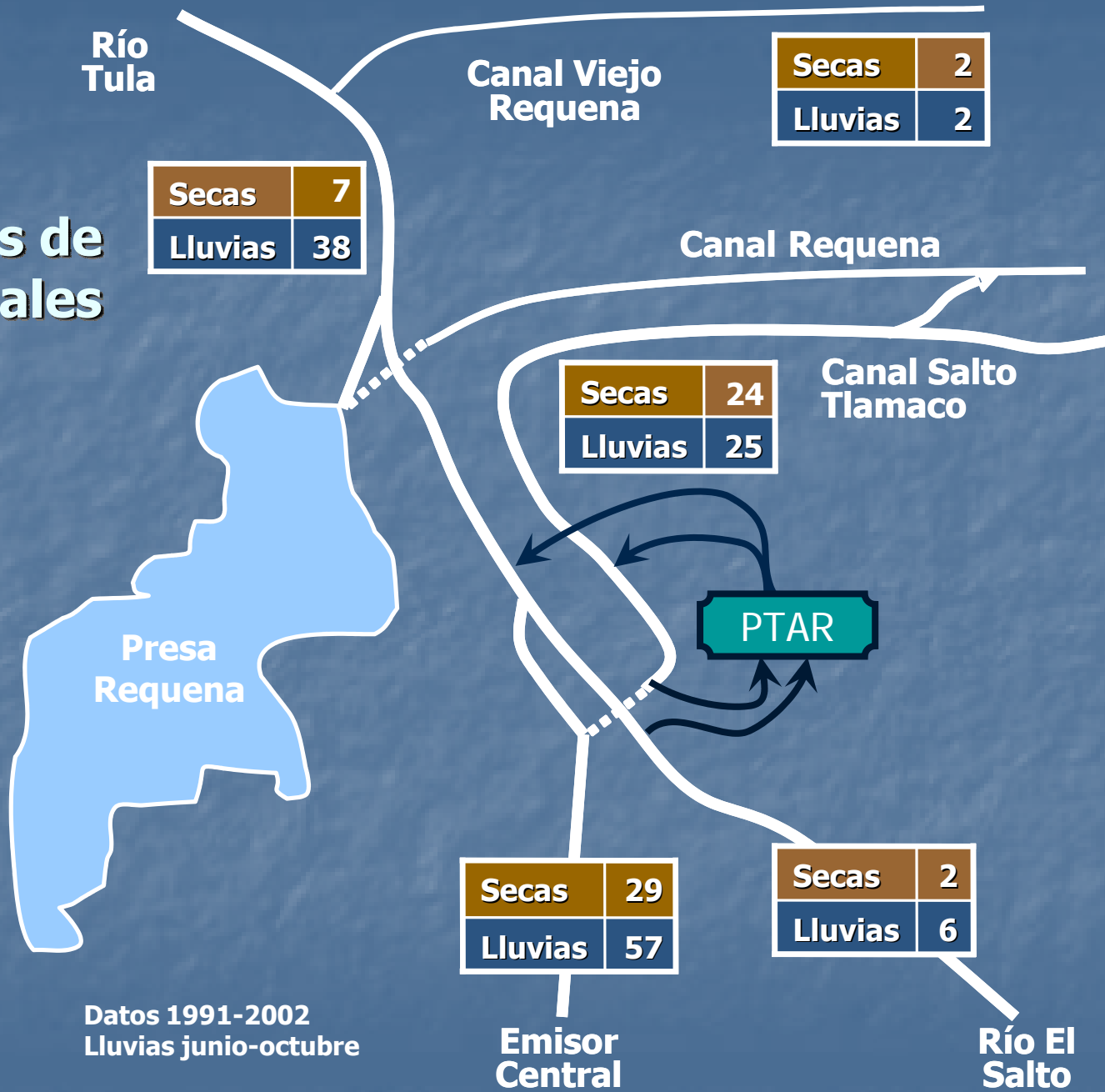


Sitio para construcción de PTAR El Salto



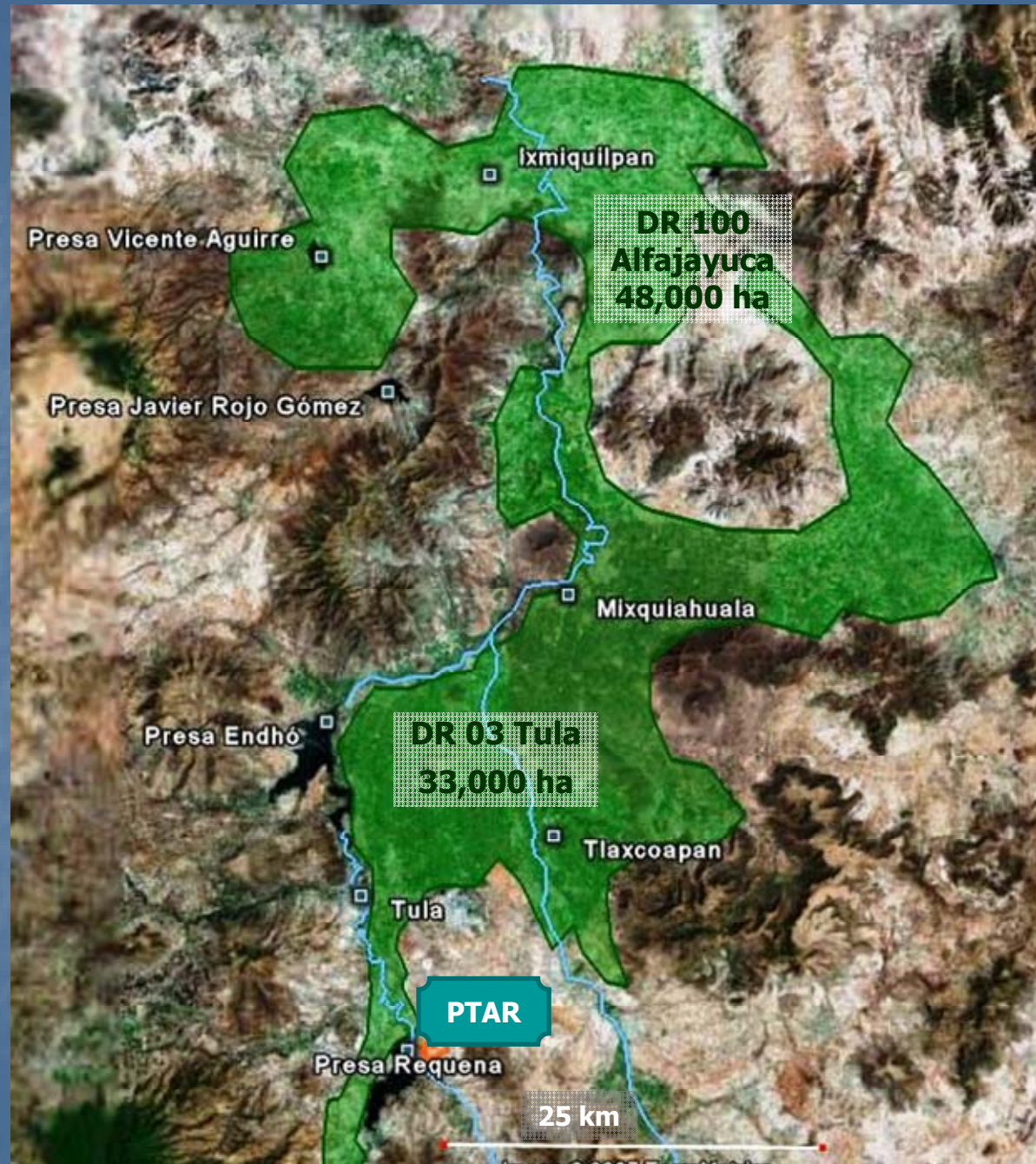
Gastos Medios de Aguas Residuales

Año 2001
m³/s

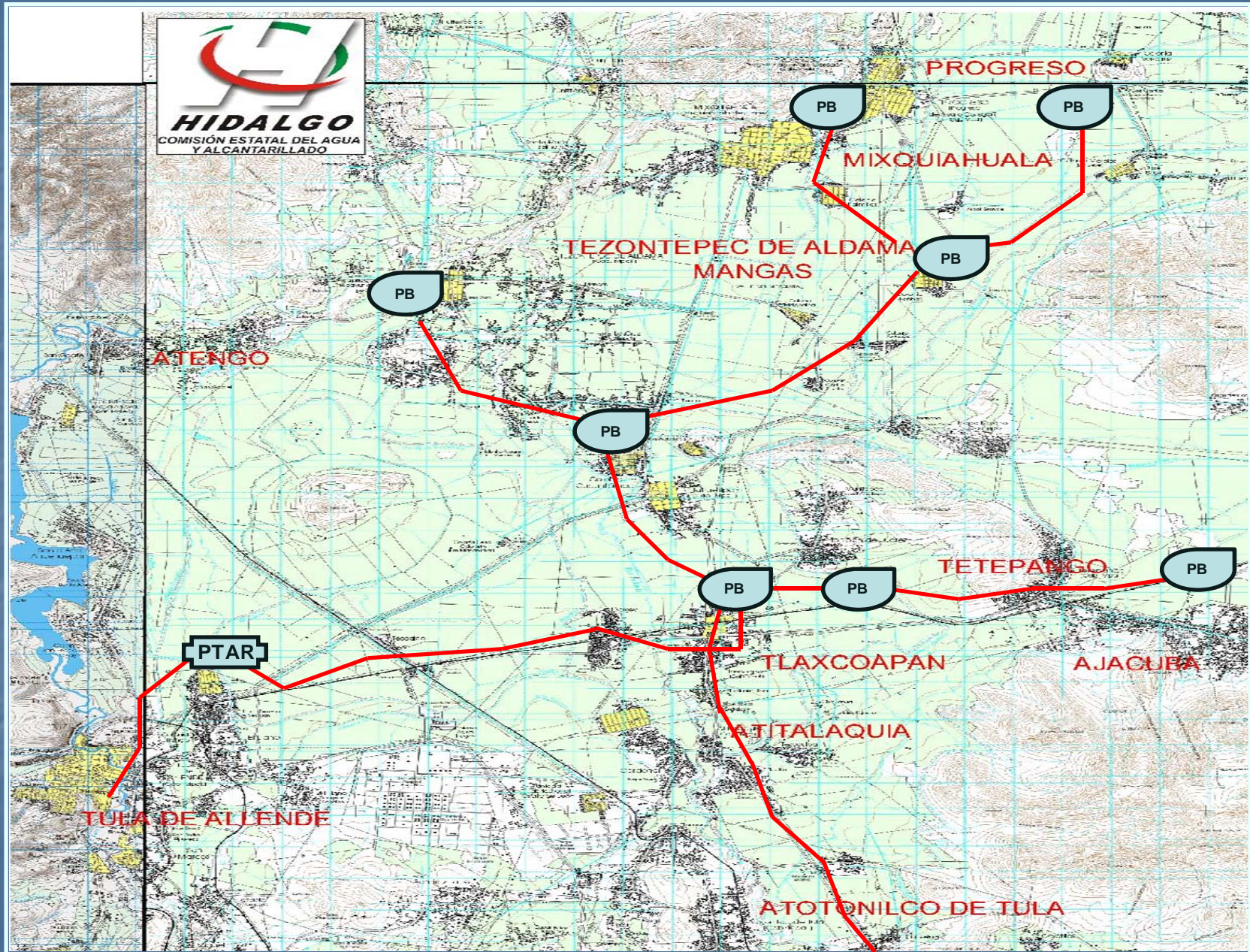


Datos 1991-2002
Lluvias junio-octubre

Zonas de Riego en el Valle del Mezquital



Obras de saneamiento en el Valle de Tula



III.- Características del terreno para la PTAR

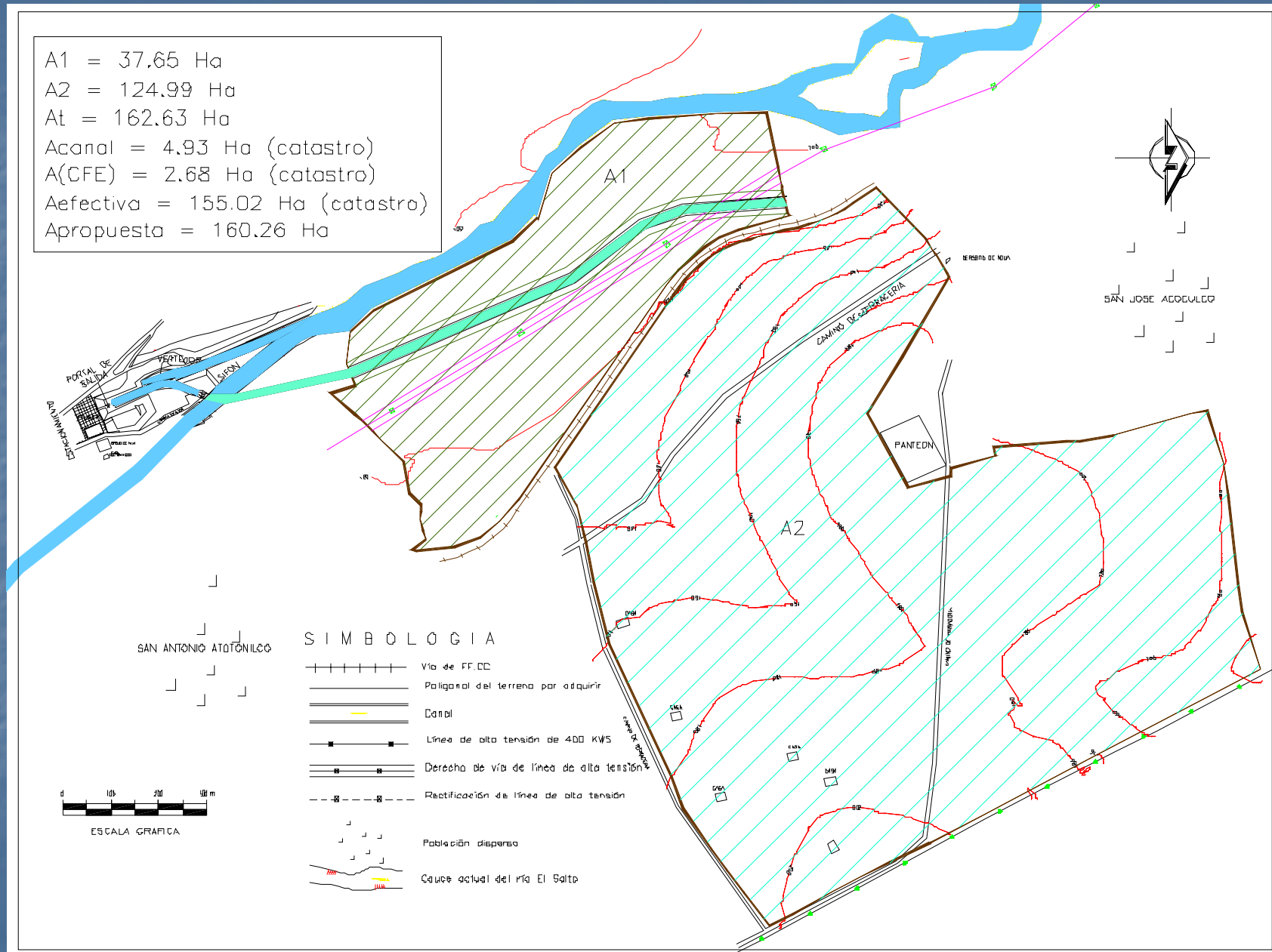
- El terreno se encuentra en un entorno rural.
- En las zonas aledañas se encuentran bancos de calizas (CaCO_3), bancos de arcilla, hornos de cal (CaO) e importantes cementeras. La explotación de materiales ha dejado grandes socavones aptos para la disposición final de lodos.
- Los suelos son alcalinos.
- El terreno lo atraviesa una línea de ferrocarril y otra pasa en sus inmediaciones.
- Por el terreno pasa una línea de alta tensión de CFE.
- El terreno se encuentra junto al principal canal de riego del DR 003 y junto al río El Salto.
- El terreno se encuentra a pocos metros del Portal de Salida del Emisor Central y en donde desembocará el futuro Túnel Emisor Oriente

Terrenos destinados para la construcción de la PTAR



Sitio para la PTAR

A1 = 37.65 Ha
 A2 = 124.99 Ha
 At = 162.63 Ha
 Acanal = 4.93 Ha (catastro)
 A(CFE) = 2.68 Ha (catastro)
 Afectiva = 155.02 Ha (catastro)
 Apropuesta = 160.26 Ha



Banco de arcilla

Cementos Cruz Azul



Capacidad estimada

1,000,000 m³

Distancia a PTAR El Salto

4 km

Banco de calizas del Ejido Conejos Explotado por Cal Marfil



Capacidad estimada

1,000,000 m³

Distancia a PTAR El Salto

2 km

Banco de calizas "El Xirgo"

Cementos Cruz Azul



Capacidad estimada

3 millones m³

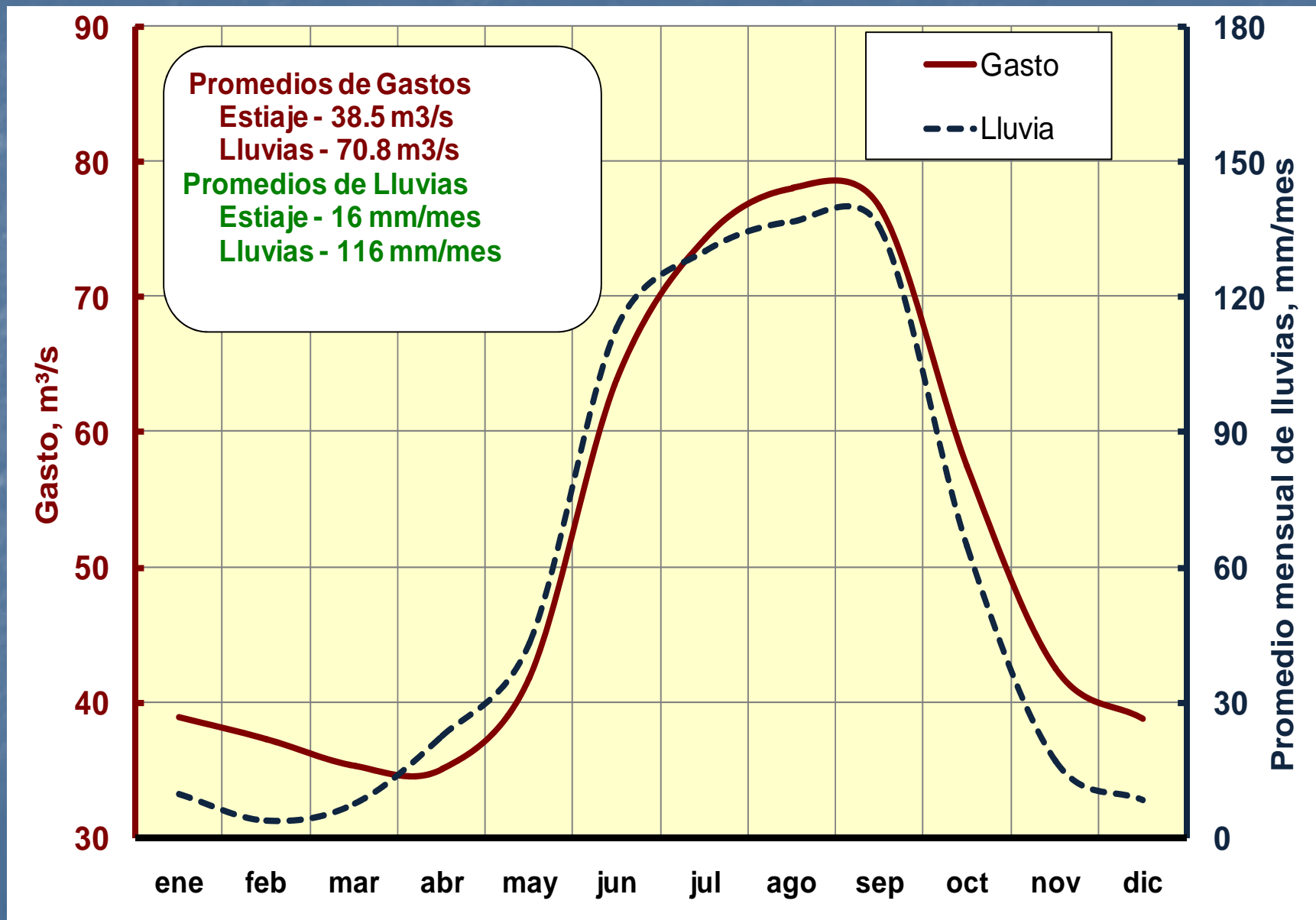
Distancia a PTAR El Salto

6 km

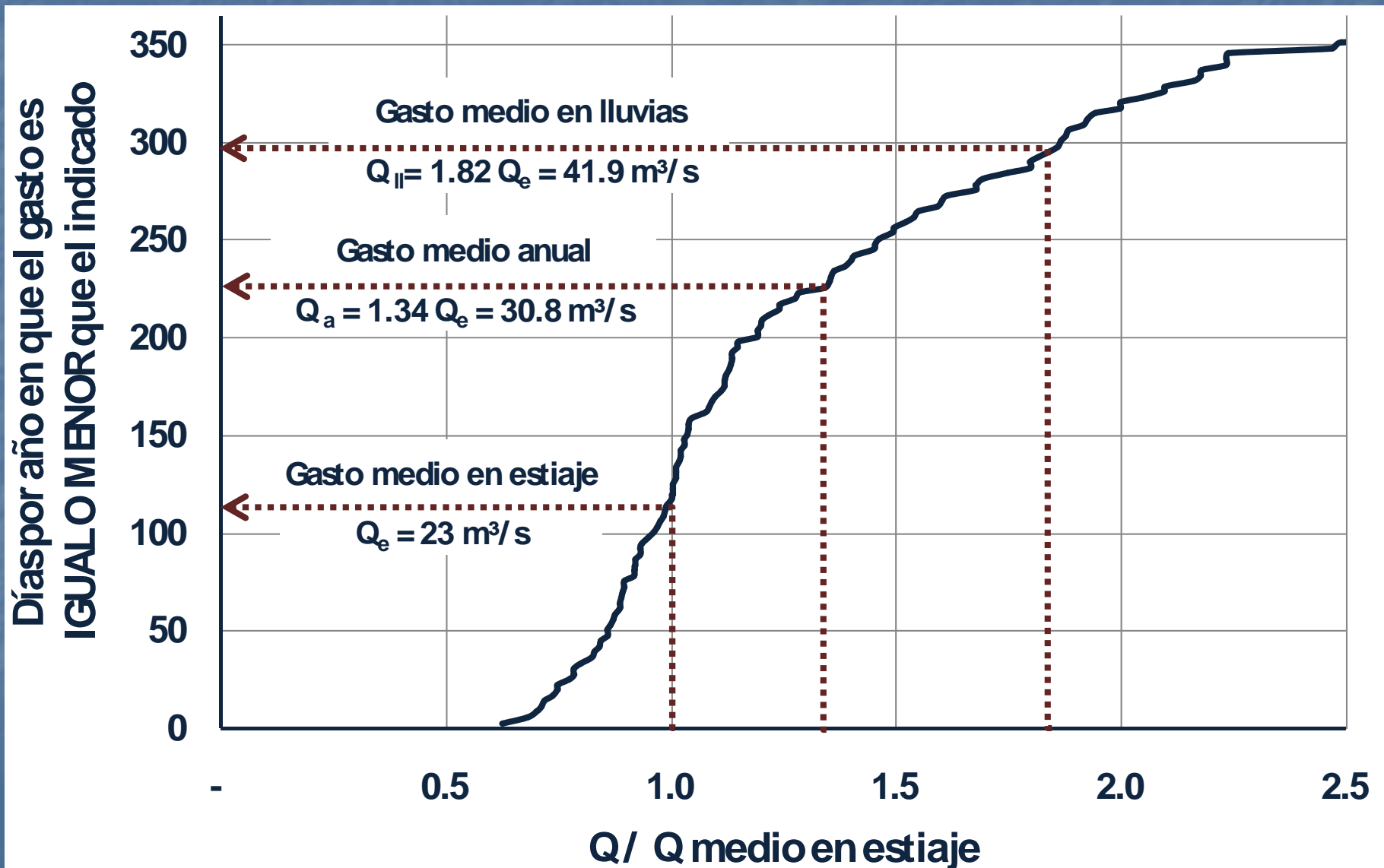
IV.- Caudales y características de las aguas residuales

- El sistema de drenaje de la ciudad de México recibe tanto las descargas domésticas e industriales, como los escurrimientos pluviales de su propia cuenca.
- En el régimen de lluvia del Valle del México cerca del 75% de la precipitación anual ocurre en solo cinco meses del año.
- Con frecuencia, la lluvia se concentra en tormentas de poca duración y alta intensidad.
- A resultas de lo anterior, tanto la cantidad como la calidad de aguas residuales que recibe la red de drenaje presenta fuertes fluctuaciones estacionales.
- Si bien sería deseable, no es económicamente posible dimensionar las unidades de tratamiento para manejar los picos hidráulicos que ocurren en períodos de lluvias intensas.

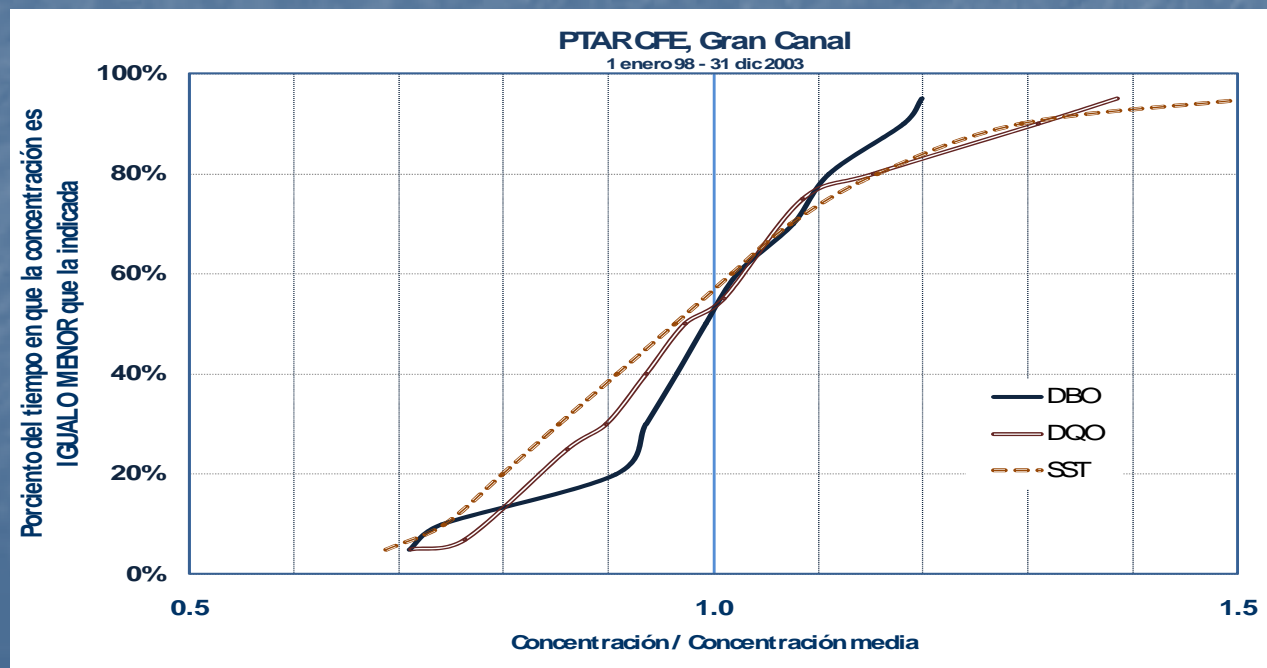
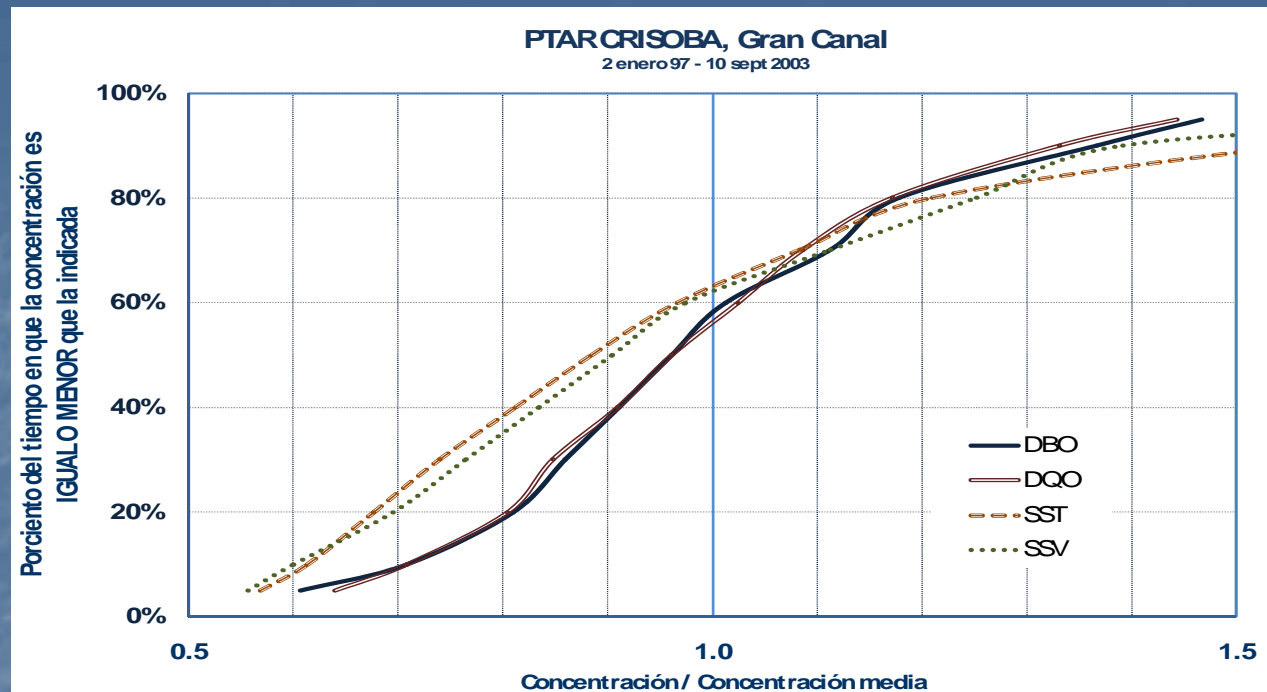
Exportaciones medias mensuales al Valle de Tula en los años 1991 a 2001



Distribución probabilística de gastos de llegada a la PTAR Atotonilco



Variaciones probabilísticas en la calidad de las agua residuales



Fluctuaciones en calidad de las aguas residuales en El Salto

Parámetro	Unidad	El Salto		
		Secas	Lluvias	Anual
Temperatura	°C	16 a 23		
pH	UpH	7.0 a 8.5		
Sólidos suspendidos totales	mg/l	250	400	313
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l	150	250	192
DBO ₅ total	mg/l	250	200	229
Nitrógeno total de Kjeldhal	mg/l	40	25	38
Fósforo total	mg/l	12	10	11
Grasas y aceites	mg/l	16	12	14
Sulfuros	mg/l	10	4	8
Coliformes fecales	NMP/100 ml	6.0E+07	1.0E+08	
Huevos de helminto (totales)	U/l	4 a 10		

Normas de calidad de la descarga

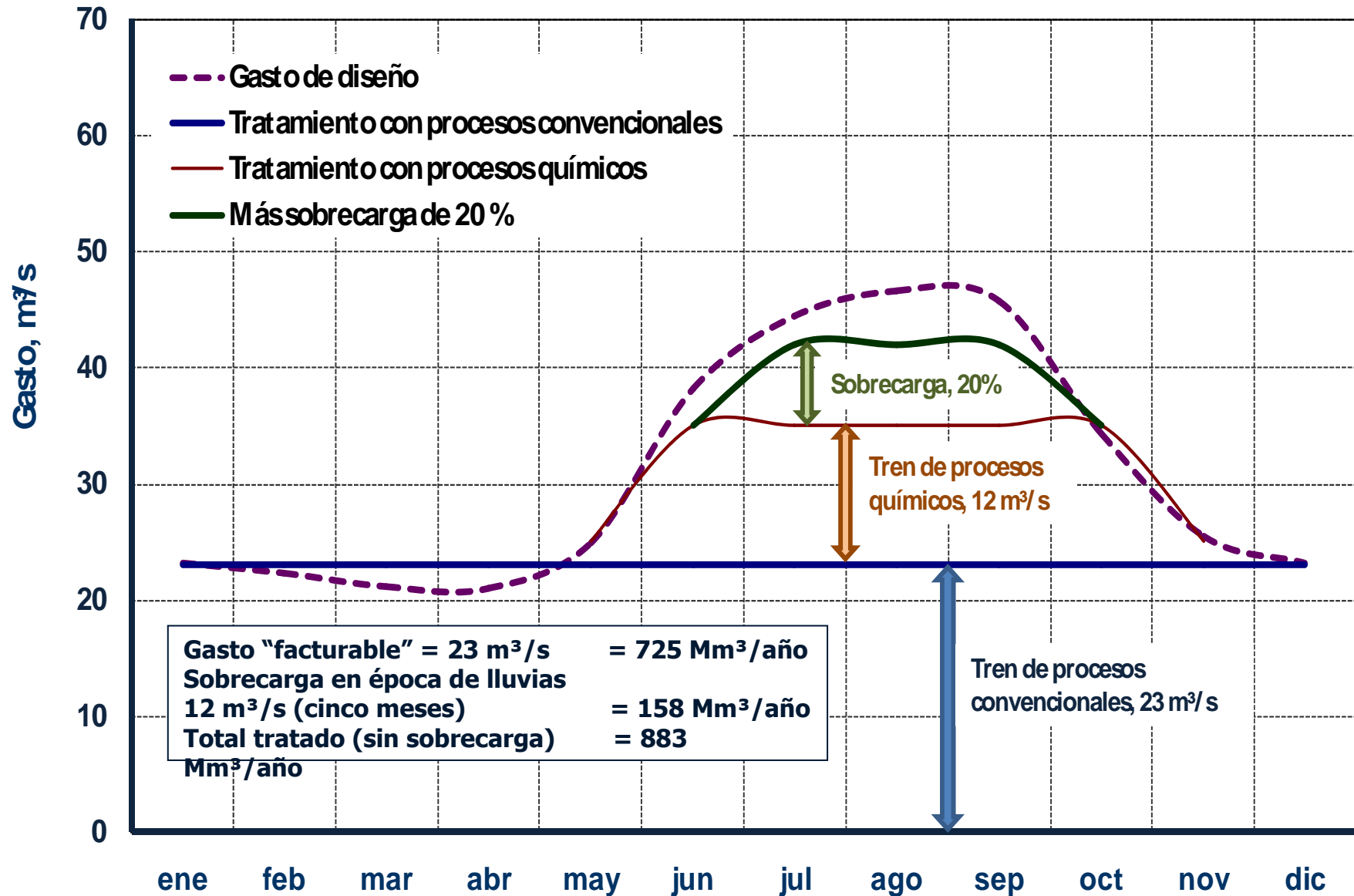
Parámetro	Unidades	Promedio mensual	Promedio diario
Grasas y aceites	mg/l	15	25
Sólidos sedimentables	ml/l	1	2
Sólidos suspendidos totales	mg/l	40	60
DBO5	mg/l	30	60
Nitrógeno total	mg/l	15	25
Fósforo total	mg/l	5	10
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1,000	2,000
Huevos de helminto	#/l	1	1
Cadmio total	mg/l	0.1	0.2

v.- Aspectos técnicos de la PTAR

Tratamiento de las aguas residuales

- Con el fin de dimensionar el problema, la Comisión Nacional del Agua realizó un ejercicio de diseño de una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales.
- Los objetivos del ejercicio fueron, entre otros:
 - estimar requerimientos de terrenos,
 - estimar necesidades de energía y otros insumos (cloro, polímeros, coagulantes, etc.), estimar generación de lodos y alternativas para su disposición final,
 - estimar generación de empleos,
 - estimar costos de inversión y de operación y mantenimiento, etcétera.
- **La solución escogida de ninguna manera debe ser interpretada como una imposición sobre los licitantes del proyecto, ni sus criterios económicos o de diseño como una restricción o recomendación de la CNA**

Gastos de llegada y capacidad de tratamiento, condiciones de diseño para Q medio en secas de 23 m³/s



Esquema de funcionamiento hidráulico de la PTAR

Influente = Q

Condiciones de diseño

$$Q_{\text{secas}} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{lluvias}} = 42 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{anual}} = 31 \text{ m}^3/\text{s}$$

Condiciones temporales

$$Q_{\text{secas}} = 29 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{lluvias}} = 53 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{anual}} = 39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{TPC}} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$$

TPC

Tren de procesos
convencionales

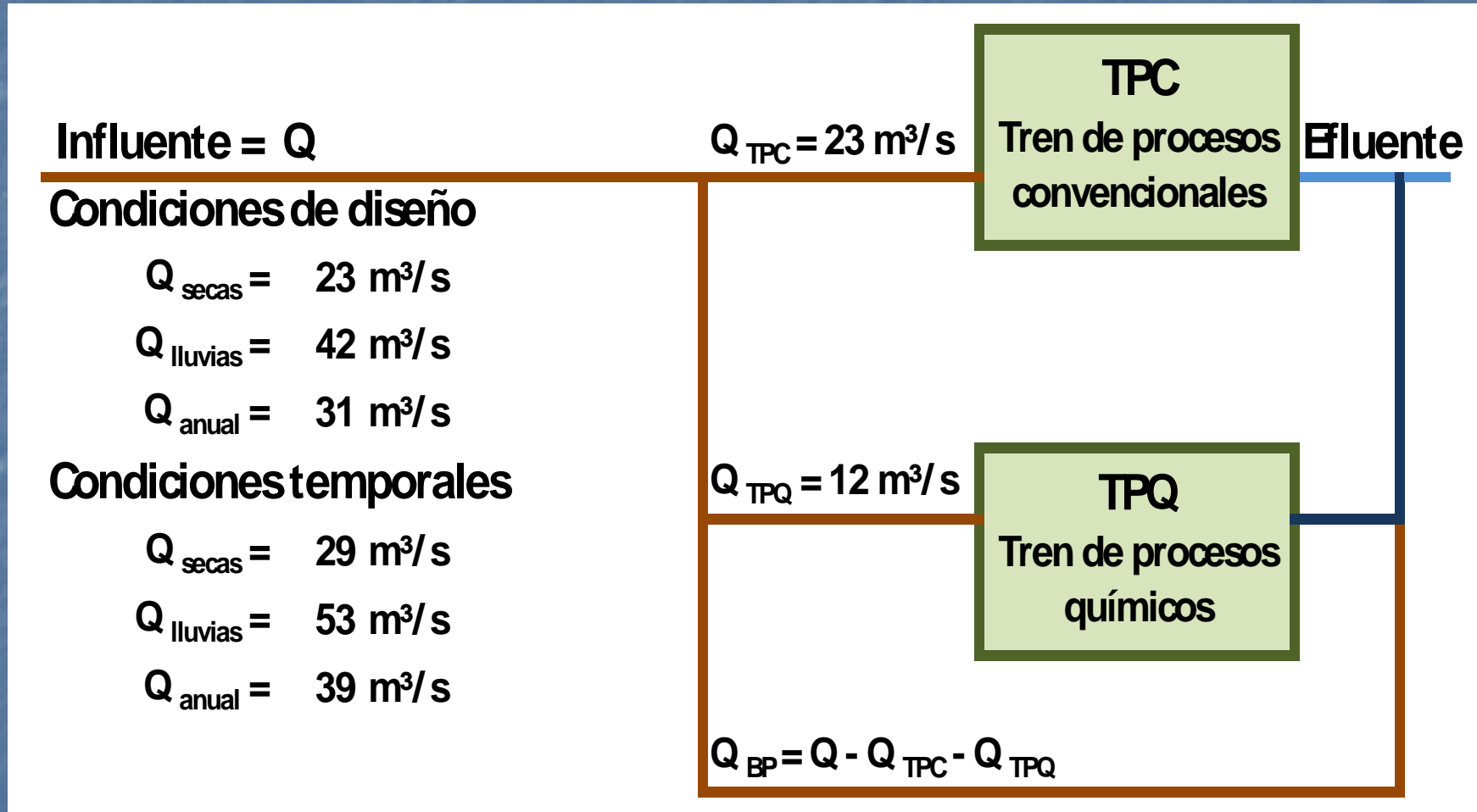
Efluente

$$Q_{\text{TPQ}} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$$

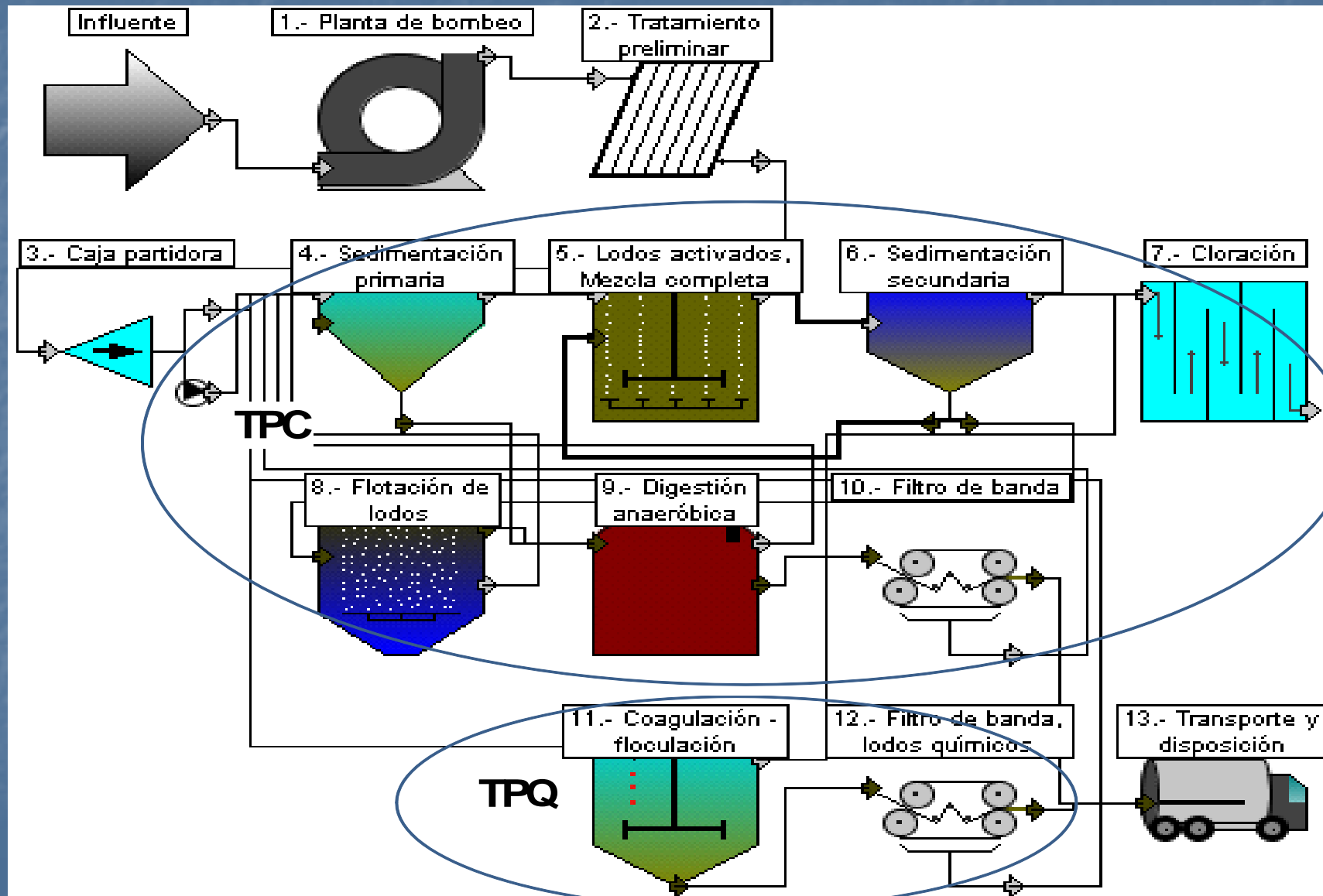
TPQ

Tren de procesos
químicos

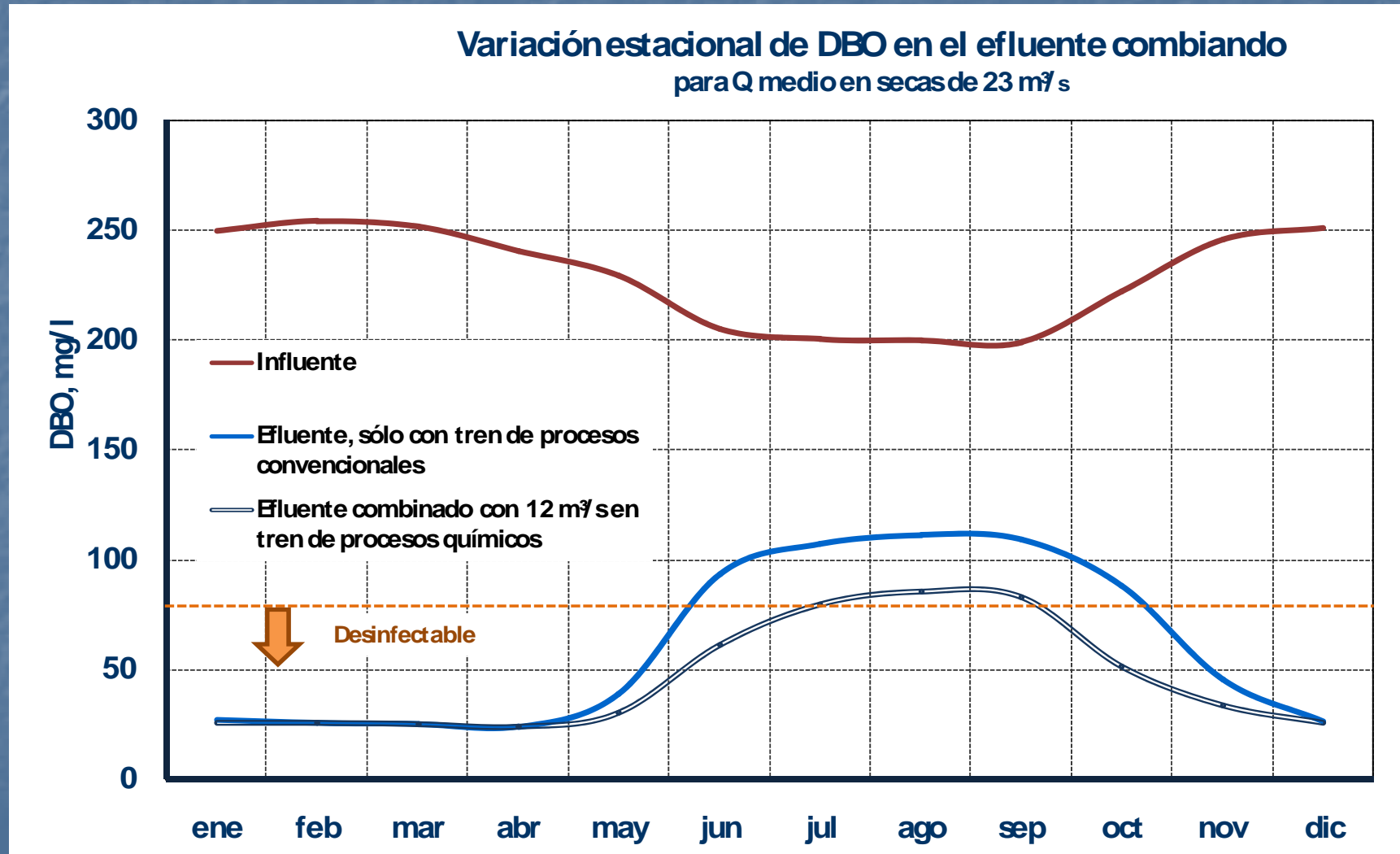
$$Q_{\text{BP}} = Q - Q_{\text{TPC}} - Q_{\text{TPQ}}$$



Trenes de tratamiento de la PTAR



Efectos del TPQ en la calidad del efluente



Producción de lodos

Lodos producidos					
Proceso	Peso húmedo t/día	Contenido de sólidos	Peso seco t/día	Densidad t/m3	Volumen m ³ /día
10.- Filtro de banda del TPC	3,200	19%	608	1.20	2,667
12.- Filtro de banda, TPQ, <i>sólo se producen en los meses de lluvia</i>	2,768	19%	526	1.20	2,307
Total, válido para meses de lluvia	5,968	19 %	1,134	1.20	4,974

Peso seco y contenido orgánico de lodos

Parámetro	Lodos del TPC	Lodos del TPQ <i>5 meses del año</i>	Total <i>en época de lluvias</i>	Unidades
Volumen	2,670	2,310	4,980	m ³ /día
Peso seco				
Sólidos inorgánicos	310	205	515	t/día
Sólidos orgánicos	299	321	620	t/día
Sólidos totales	609	527	1,135	t/día

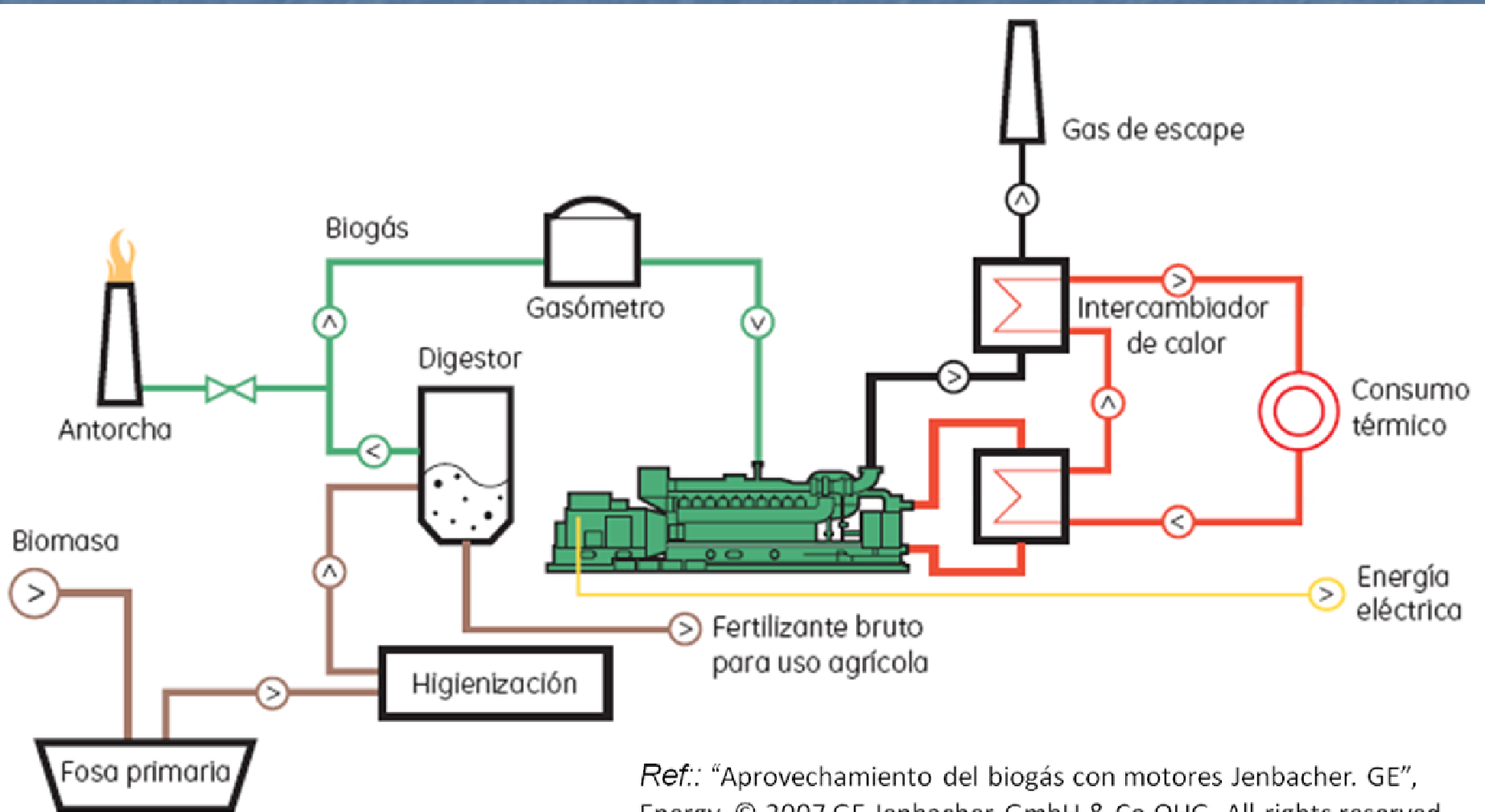
Contenido calorífico de lodos

Energía calorífica en lodos por peso seco	5.3 giga cal / t, sólidos totales
Lodos producidos en, peso seco	609 t/día de TPC, al 90%
Energía en lodos	3,201 giga cal / día
	155 Mw
Energía requerida para producir cemento (2)	0.74 giga cal / t de cemento
Producción potencial de cemento con energía de lodos	4,311 t/día
Costos de energía con coke de petróleo	2.0 dls / M BTU
	7.94 dls / giga cal
Valor de la energía calorífica de lodos de TPC, a precios de coke de petróleo	102 M\$/año

(1) WEF, MOP 8, Vol III, Cap. 23, p 48.

(2) Wikipedia

Aprovechamiento de gases del digestor para calentamiento y generación de energía eléctrica



Ref.: "Aprovechamiento del biogás con motores Jenbacher. GE", Energy, © 2007 GE Jenbacher GmbH & Co OHG. All rights reserved

VI.- Aspectos económicos

Inversión y costos de operación y mantenimiento de la planta

Concepto		Inversión M\$	OyM M\$/año
Obras de llegada		264	59
Tren de Procesos Convencionales (TPC)		4,530	363
Tren de Procesos Químicos (TPQ)		412	138
Unidades y servicios comunes	Edificios, laboratorios, transporte de lodos, etcétera	487	55
Suma		5,693	615
Otros costos	Tuberías e interconexiones, instalación eléctrica, instrumentación y control, etcétera	1,666	17
Total		7,359	632

Los costos de operación de este cuadro están calculados como si el TPQ operase todo el año, en realidad el TPQ sólo trabajará cuando el gasto influente exceda la capacidad del TPQ, los costos reales anuales de OyM se estiman en **542 M\$/año**

Costos y beneficios de gasoeléctrica

Generación de energía en PTAR Atotonilco	
SV destruidos en digestor anaeróbico	250 ton/día
Gas producido (70% metano)	9,729 m ³ /hr
Potencia aprovechable	21 Megawatts
Energía aprovechable	0.49 Mw-hr/día
	180 M kw-hr/año
Valor de energía producida	0.43 M\$/día
	158 M\$/año
Gasoeléctrica	
Inversión en gasoeléctrica @ de 2 M dls/MW	452 M \$
Costo de operación y mantenimiento @ 0.015 dls/kwhr	30 M \$
Inversión capitalizada en 2 años de construcción	519 M\$
Pago de capital en 20 años de operación @ 8 % anual	53 M\$/año
Costo anual total	83 M\$/año
Beneficio neto	75 M\$/año

Valor de los bonos de carbono

Ref.: CRC, p. F 241

WEF MOP 8, Vol. 3, C 22, p. 24 y 25

$$V = nRT/P$$

$$R = 0.082$$

$$^{\circ}K = 273.2 + ^{\circ}C$$

Parámetro	Unidades
P	atm
V	l
n	gm mol
T	°K

n	T		P	V
gm mol	°C	°K	atm	l
1	20	293	0.70	34.36

Características de gases del digestor

Gas	gm mol	%	Peso
CH ₄	16.01	70%	11.21
CO ₂	44.01	30%	13.20
Mezcla	24.41	100%	24.41
Densidad	0.71 gm/l		

Gas producido

9,729 m³/hr

6,911 kg/hr

Producción de metano de digestores

3,173 kg/hr

27,796 t/año

Potencial de calentamiento global del CH₄ referido a concentraciones de CO₂

21

Reducción Eq. de CO₂, descontando el CO₂ producido en gasoeléctrica, t/año

507,276 t/año

Bonos de Carbono, @ 270 \$/t de CO₂ (16.5 €/t CO₂)

137 M\$/año

Pesos moleculares:

$$CH_4 = 12 + 4 \cdot 1 = 16$$

$$CO_2 = 12 + 2 \cdot 16 = 44$$

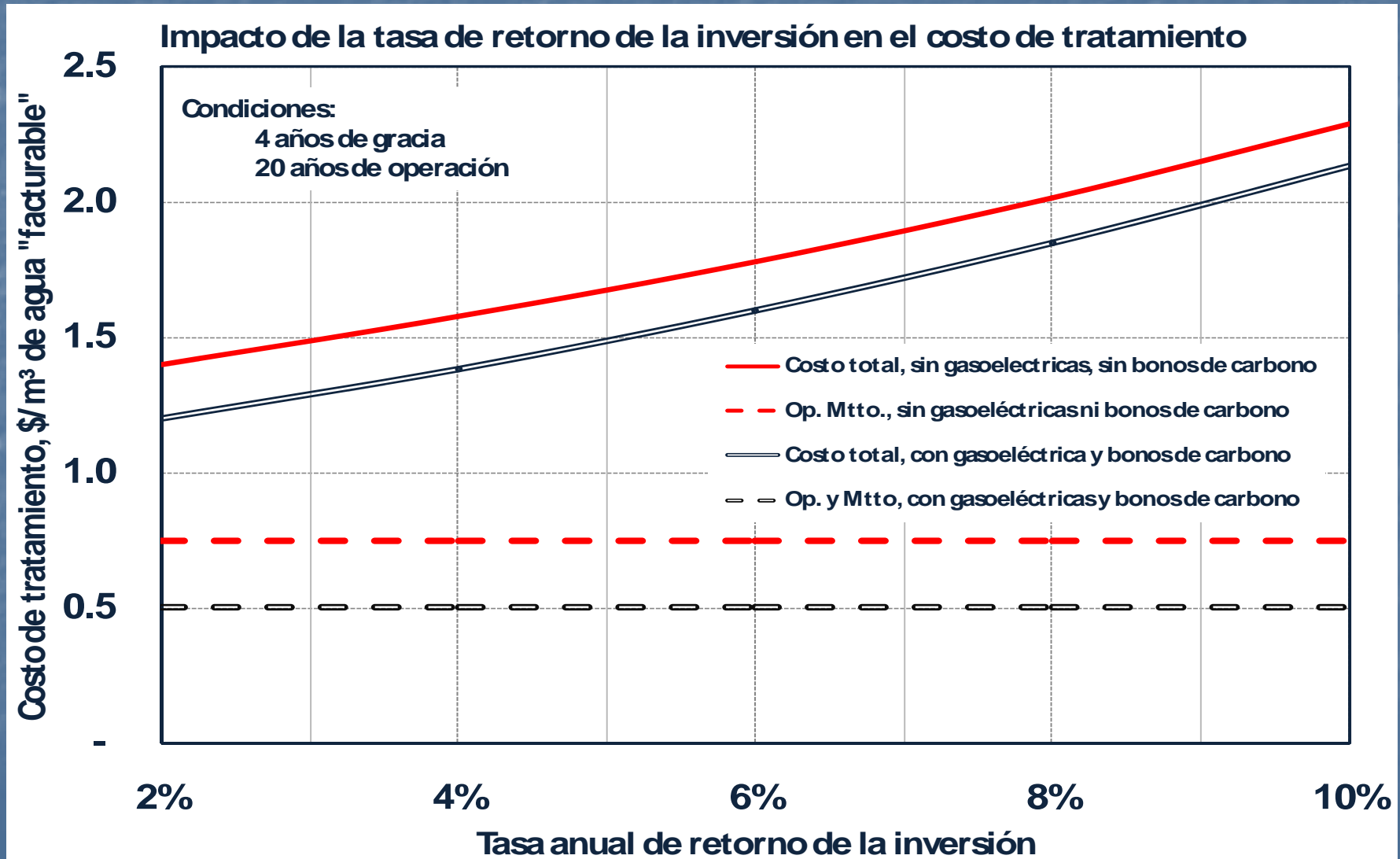
$$Rel. [CO_2] / [CH_4] = 2.75$$

Costos del tratamiento

Inicio del año	PTAR		Inversión capitalizada al inicio del año 5	
	Inversión total = 7,091 M\$ <small>ene. 2007</small>		Tasa de interés anual	
	Inversión anual		6%	10%
	%	M\$	M\$	M\$
1	20%	1,418	1,790	2,039
2	35%	2,482	2,956	3,259
3	35%	2,482	2,789	2,976
4	10%	709	752	776
		Suma	8,287	9,050
Pagos al capital, en M\$/año = <small>con un plazo de amortización de 26 años</small>			637	949
T1 para gasto facturable (\$/m ³) =			0.88	1.31
Costos de operación y mantenimiento, M\$/año =			542	
T2 + T3 para gasto facturable, \$/m ³ =			0.75	
Costo total por agua facturable (\$/m ³) =			1.63	2.06

Los costos del cuadro no consideran el beneficio de los bonos de carbono cuyo importe se estima en \$ 274 millones por año (incluyendo los derivados por la combustión del metano para el calentamiento del digestor), a razón de 16.5 €/ton CO₂, ni el beneficio neto de la gasoeléctrica que se estima en \$ 83 millones por año, para un total de \$ 357 millones por año, equivalentes a 0.49 \$/m³.

Impacto de la tasa de retorno en el costo de tratamiento



VI.- Aspectos administrativos y contractuales

Calendario de obras

SERVICIOS	2008	2009	2010	2011	2012
	m a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n	m a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n	m a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n	m a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n	m a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n a m j j a s o n d e f i n
Gerencia Externa					
Proceso de Licitación	■				
Servicios Generales	■				
Planta de Tratamiento y Obras Complementarias					
Proceso de Licitación		■			
Proyecto ejecutivo			■		
Construcción Obra Civil			■		
Equipamiento				■	
Puesta en marcha					■

Calendario de obras

Planta de Tratamiento	2008		2009												
	nov	dic	ene	feb	mzo	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
Publicación Pre-Bases	■														
Publicación de Convocatoría	18														
Visita de Obra	27														
Junta de Aclaraciones	28														
Periodo de preparación ofertas	■														
Presentación de Propuestas							18								
Evaluación de Propuestas							■								
Preparación dictamen y fallo									■						
Firma del contrato										■					
Inicio de actividades											17				
Proyecto, Construcción Puesta en Marcha											■				
Proyecto Ejecutivo											■				
Construcción Obra Civil															■
Equipamiento															
Pruebas															
Puesta en Marcha															
Obras Complementarias			■												

Para la implementación del proyecto la CONAGUA tiene bajo consideración:

- Contratar la construcción, operación y mantenimiento a largo plazo de la PTAR Atotonilco con un esquema de Contrato de Prestación de Servicios (CPS)
- Contratar los servicios de una compañía privada para la gerencia del proyecto en sus aspectos técnicos
- Contratar los servicios de asesoría legal, económica y financiera de una institución bancaria

El Contrato de Prestación de Servicios (CPS) de la PTAR Atotonilco (GEP) sería licitado en el mes de noviembre del presente año.

El plazo para la preparación de ofertas será de 131 días.

El plazo estimado de construcción de la PTAR es de 3 años 8 meses.

El contrato de la gerencia externa de proyecto (GEP) será licitado en un concurso público el próximo martes 2 de junio.

Los interesados contarán con seis semanas para la presentación de ofertas.

Tareas del GEP

2012

6ª etapa.- Validación / verificación de puesta en marcha de PTAR

5ª etapa.- Seguimiento de construcción y montajes

4ª etapa.- Revisión de proyecto ejecutivo

3ª etapa.- Evaluación de ofertas, sustento de fallo, impugnaciones

2ª etapa.- Respuestas a preguntas, visitas a sitios, información complementaria

2008

1ª etapa.- Elaboración de Documentos de Licitación de CPS

Conclusiones

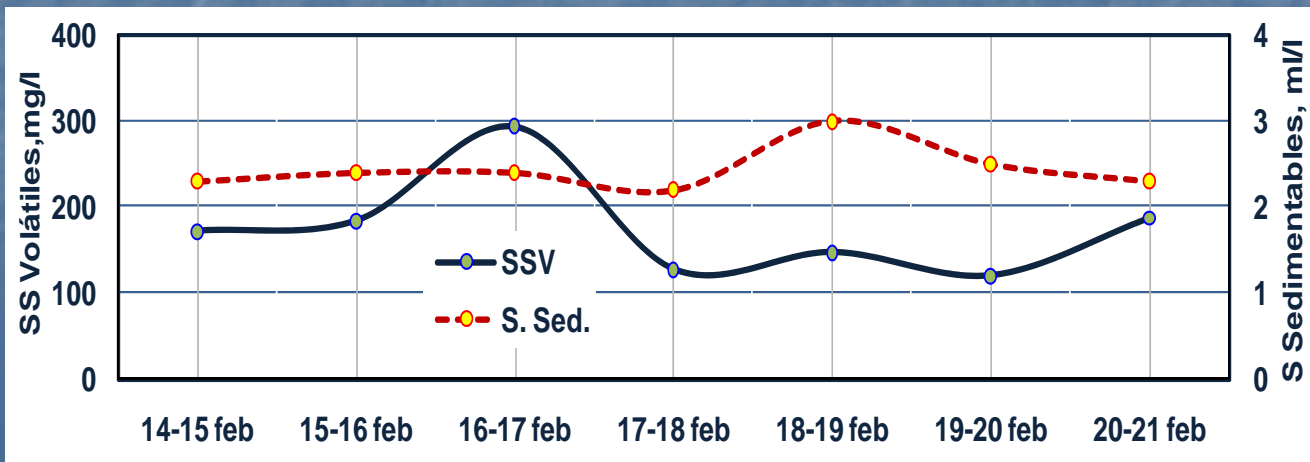
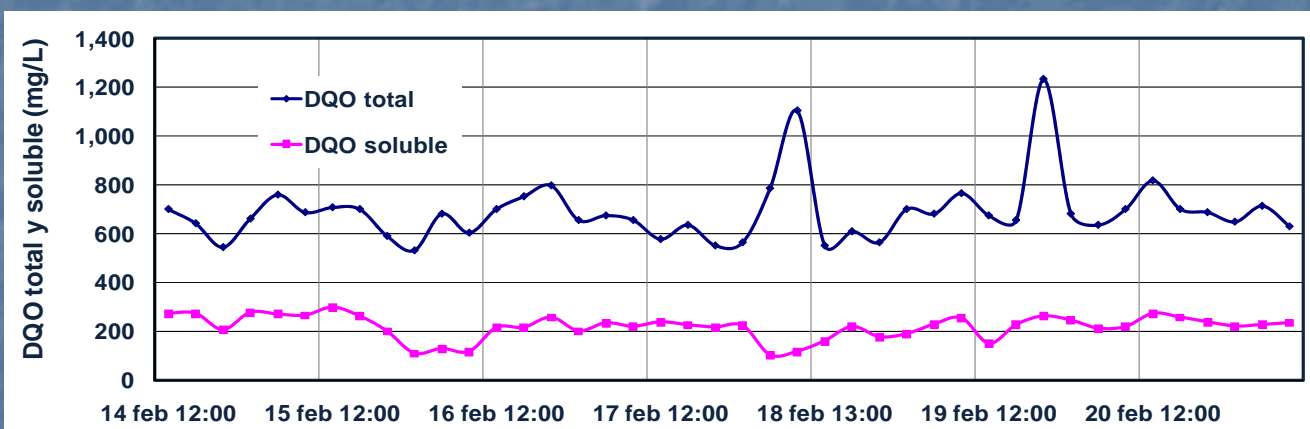
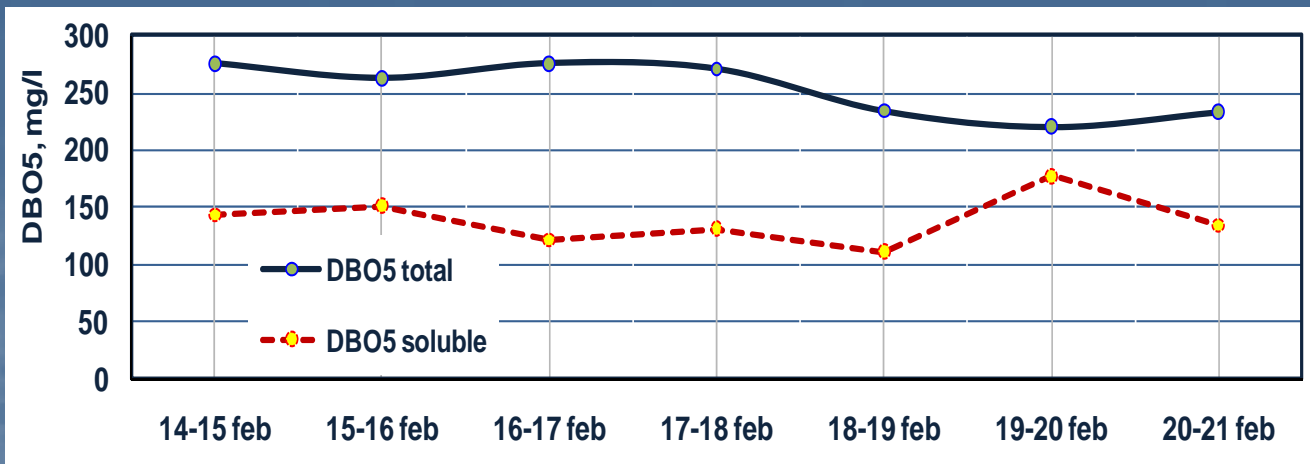
- ✓ La construcción de la PTAR Atotonilco permitirá cumplir con la normatividad establecida en lo que se refiere a las descargas que son vertidas a los cuerpos receptores de aguas nacionales, así como con las Condiciones Particulares de Descarga establecidas al Estado de México y al Distrito Federal.
- ✓ La capacidad de la PTAR Atotonilco representa más del 55% de las aguas residuales exportadas del Valle de México en época de secas.
- ✓ La construcción de la PTAR Atotonilco coadyuvará al logro de la meta fijada por el actual gobierno de tratar al 2012 el 60% de las aguas residuales.
- ✓ El saneamiento de las aguas residuales permitirá también el intercambio de agua de primer uso por agua residual tratada, así como recuperar la calidad de los ríos y lagos del territorio e incrementar la recarga de los acuíferos.

"EL SUMINISTRO ADECUADO DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO A LA POBLACIÓN, ASÍ COMO EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES, BRINDA NO SOLAMENTE BIENESTAR SOCIAL, Y CONTRIBUYE AL DESARROLLO ECONÓMICO Y LA PRESERVACIÓN DE LA RIQUEZA ECOLÓGICA DE NUESTRO PAÍS PARA GARANTIZAR UN DESARROLLO SUSTENTABLE."

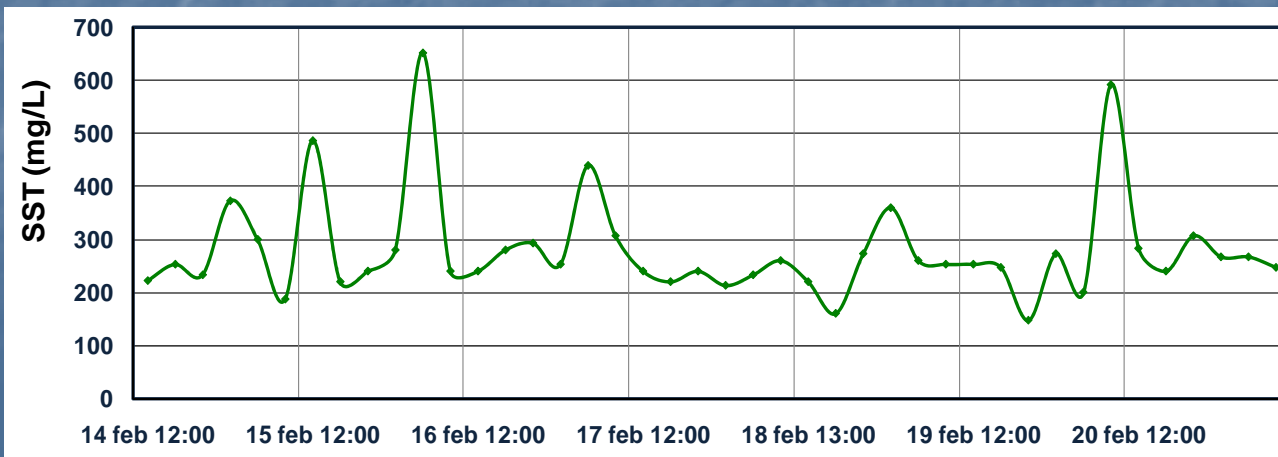
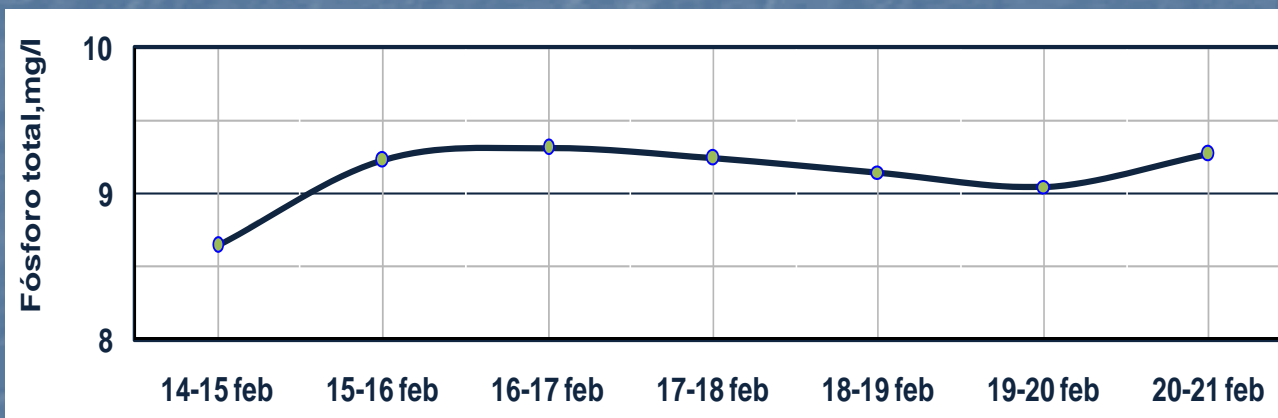
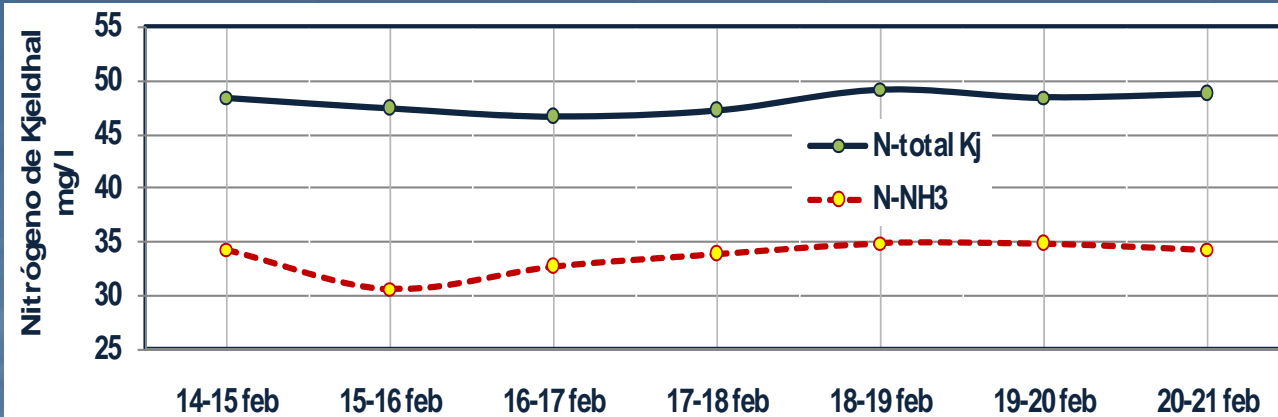
Riego agrícola

Distritos de riego	Superficie ha		Tenencia de la tierra ha		Lámina anual de riego cm	Volumen anual de riego Mm ³	Infraestructura km	
	Dominada	Sembrada	Ejidal	Pequeña propiedad			Canales revestidos	Canales sin revestir
003 Tula	51,706	56,679	27,843	23,863	182	932	677	350
100 Alfajayucan	35,216	21,475	15,466	19,750	183	394	673	0
12 Ajacuba	3,972	3,529	3,379	592	101	34	41	0
Sumas	90,894	81,683	46,688	44,205	178	1,360	1,391	350

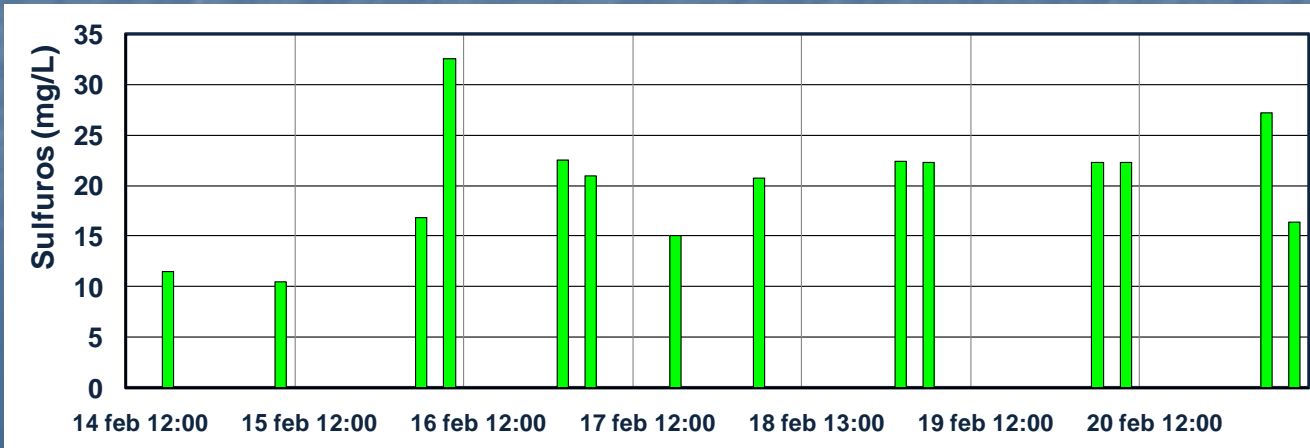
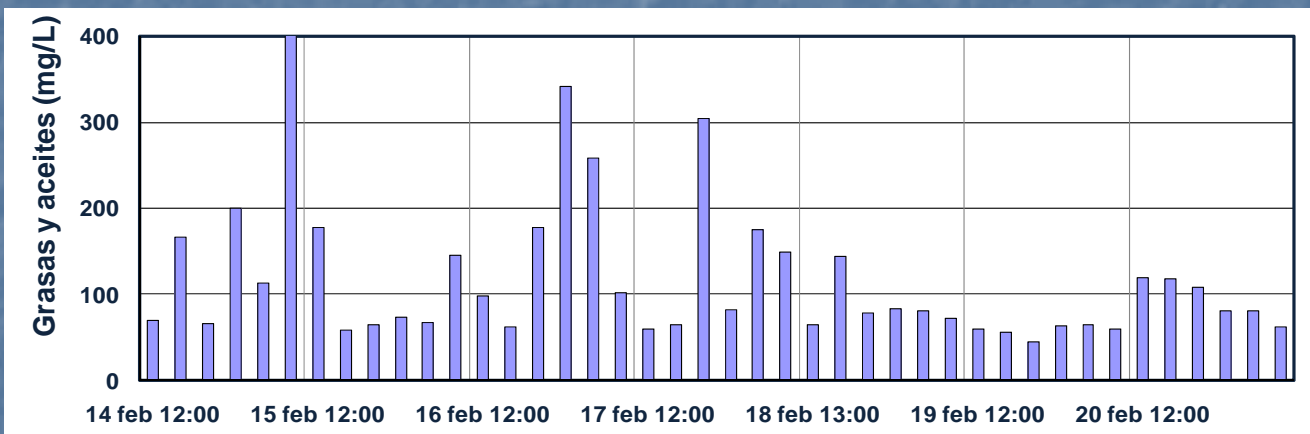
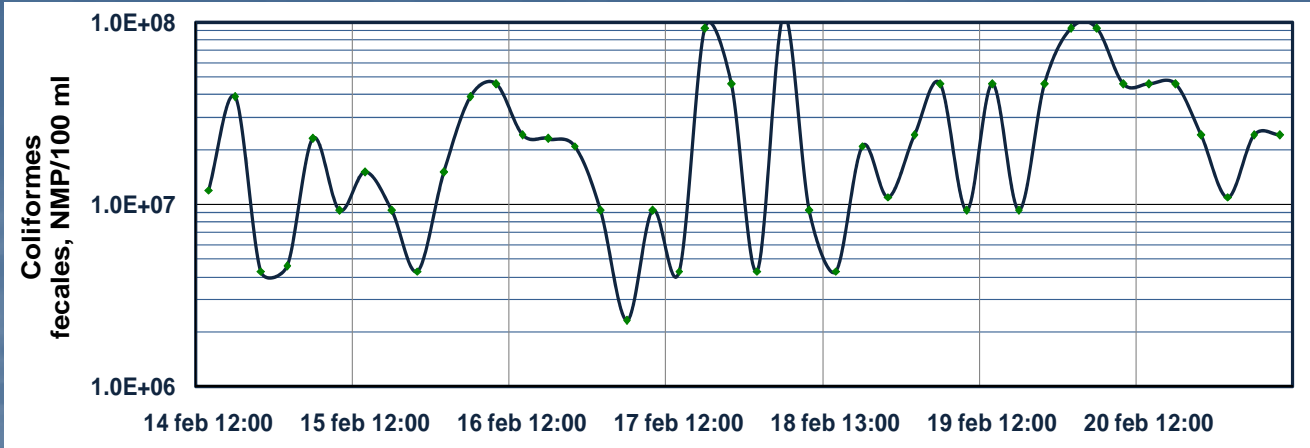
Características de descarga en estiaje año 2006



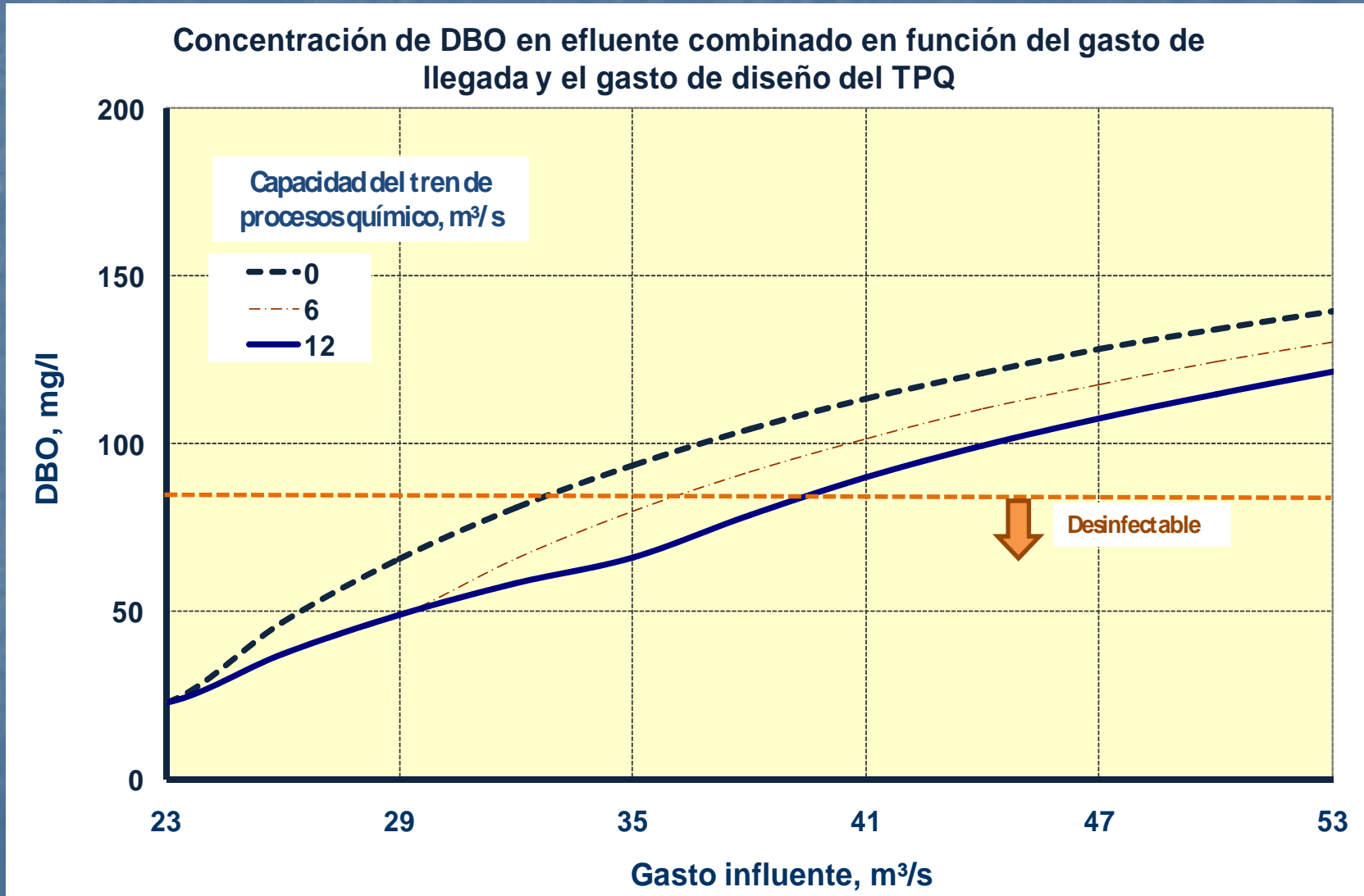
Características de descarga en estiaje año 2006



Características de descarga en estiaje año 2006

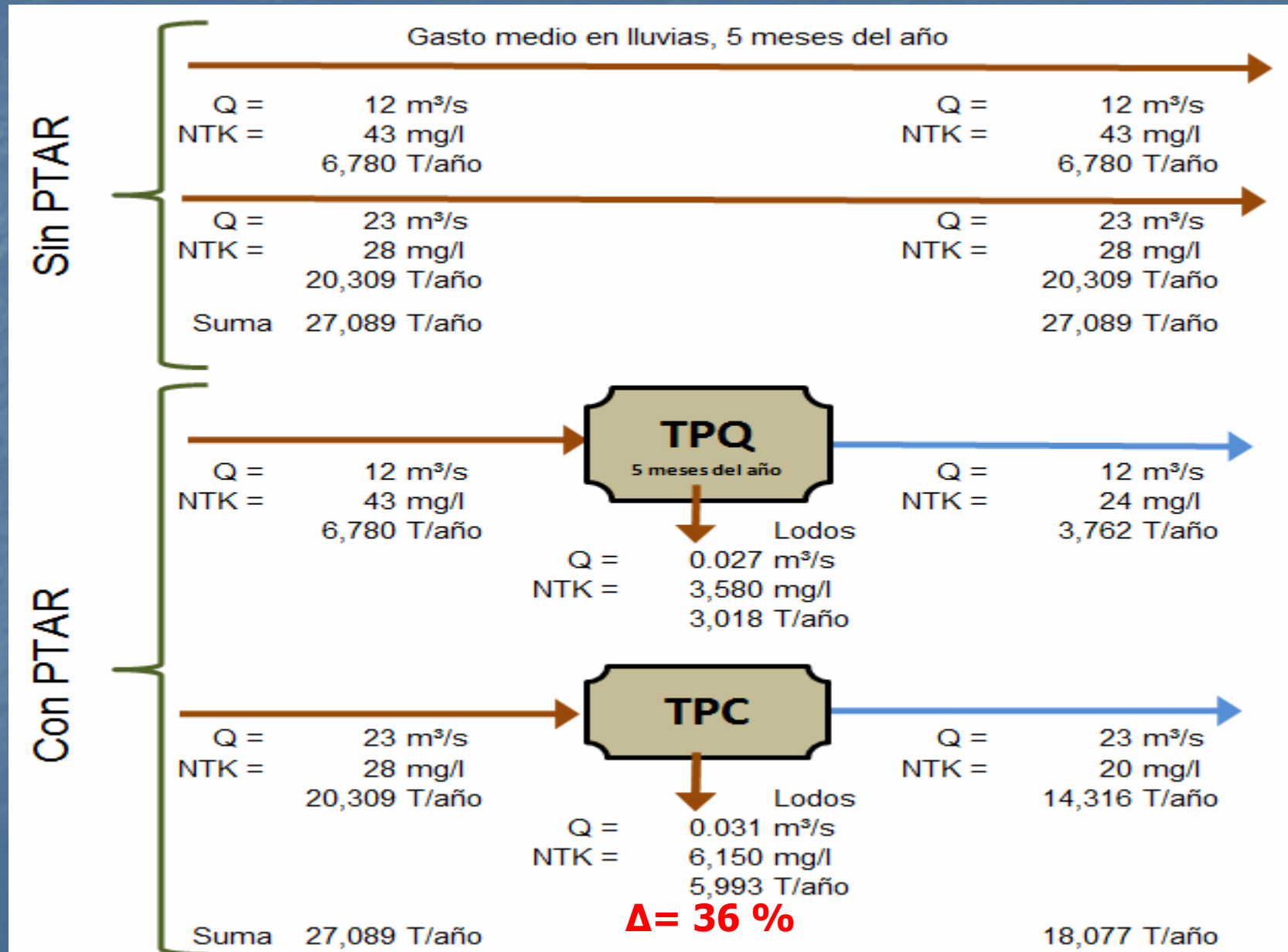


Criterios de selección de capacidad hidráulica del tren de procesos químicos (TPQ)

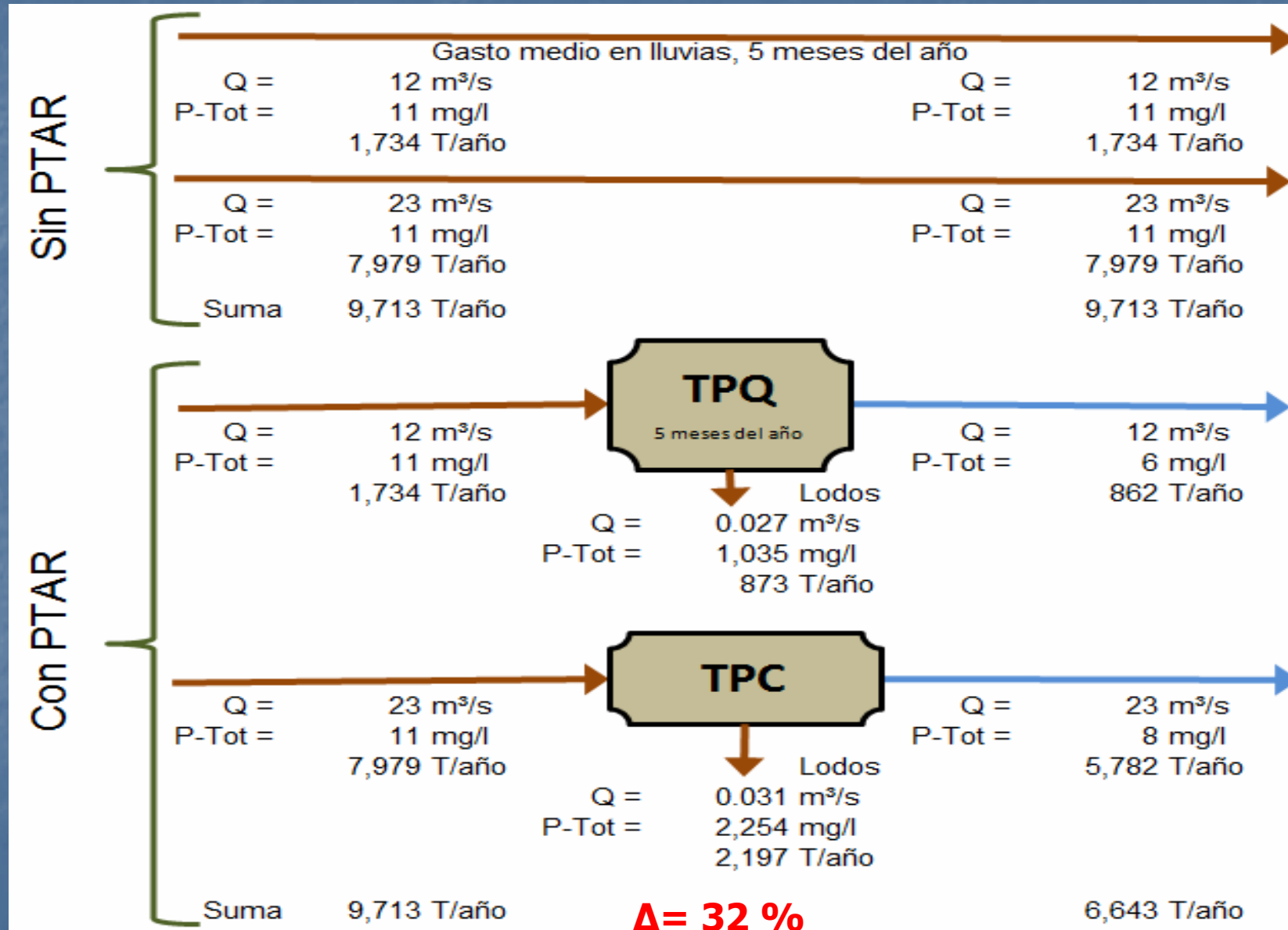


Insumos					
Concepto	Energía eléctrica		Químicos		
	M kw-hr	Mw	Ca(OH) ₂	Cloro	Polímero
	por año		t/año	t/año	t/año
1.- Planta de bombeo	21.6	2.5			
2.- Tratamiento preliminar	0.4	0.0			
4.- Sedimentación primaria	0.3	0.0			
5.- Lodos activados	99.4	11.3			
6.- Sedimentación secundaria	0.8	0.1			
7.- Cloración	0.3	0.0		11,023	
8.- Flotación de lodos	9.6	2.2			73
9.- Digestión anaeróbica (40°C)	6.9	0.8			
10.- Filtro de banda	7.7	0.9			2,219
11.- Coagulación - floculación	2.3	0.3	56,575		
12.- Filtro de banda, TPQ	6.7	0.8			1,920
Sumas	166.0	18.9	56,575	11,023	4,212
Costo unitario, \$/unidad	0.88		880	6,546	31,570
Costo total, M\$/año	146		50	72	133
Producción de gas en digestores					
Potencial calorífico		46Mw =	2	Mw/(m ³ /s)	
Consumo de energía en el digestor		230,231 Mw-hr/año =	26	Mw	
Energía excedente en el gas		168,608 Mw-hr/año =	19	Mw	

Balance de nitrógeno en PTAR



Balance de fósforo en PTAR



Año	Inversión al inicio del año indicado					Inversión capitalizada al inicio del año 5	
	PTAR		Gasoelectrica		Total	Tasa de interés	
	Inv. total = 7,359 M\$		Inv. total = 452 M\$			6% anual	8% anual
	%	M\$	%	M\$	M\$	M\$	M\$
1	20	1,472	--	--	1,472	1,858	2,002
2	35	2,576	--	--	2,897	3,068	3,244
3	35	2,576	80	362	3,177	3,300	3,426
4	10	736	20	90	826	876	892
Suma						9,102	9,565
Amortización de la inversión a 20 años, M\$/año						794	974
T1 para gasto facturable, \$/m³						1.09	1.34
Costo de operación y mantenimiento, M\$/año							542
Beneficio neto de gasoelectrica, M\$/año							75
Costo neto de operación y mantenimiento, M\$/año							467
T2 + T3 para gasto facturable, \$/m³							0.64
						6% anual	8% anual
Costo total por agua facturable, \$/m³						1.73	1.98

Ingresos por venta de "Bonos de carbono" del orden de 137 a 274 M\$/año