



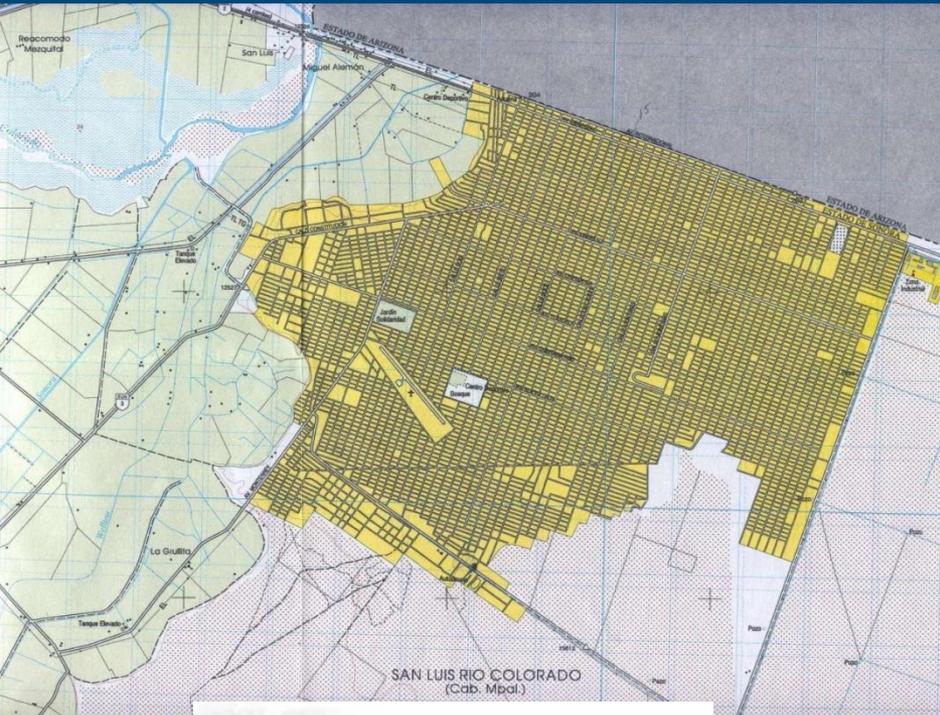
# Recarga Artificial de Acuífero



San Luis Rio Colorado  
Sonora

27/09/2007

# Recarga Artificial de Acuífero



La ciudad de San Luis Río Colorado, ubicada en la parte Noroeste del estado de Sonora, y frontera con el estado de Arizona, Estados Unidos, es una ciudad que sobrepasa los 200,000 habitantes.

En el año 2005 inicio la construcción de la Planta de Tratamiento tipo Biológica Lagunar para sanear en parte las aguas negras producidas por la ciudad con un gasto de 385 lps. y que eran vertidas directamente al lecho seco del Río Colorado.





**OOMAPAS**  
26 Ayuntamiento

El Organismo Operador (OOMAPAS), basado en los estándares de calidad esperados bajo este tratamiento (NOM-001-ECOL-1996), buscó la comercialización de estas aguas para su utilización en la agricultura regional.

Sin embargo, el costo del tratamiento por m<sup>3</sup>, -**Aun cuando es uno de los mas baratos a nivel mundial**-, sobrepasaba significativamente el costo por m<sup>3</sup> del agua para riego agrícola.



Agua del distrito VS Agua tratada  
**\$0.08/m<sup>3</sup> VS \$0.86/m<sup>3</sup>**

Se buscaron otras alternativas de reúso de este recurso:

- Enviarlas de nuevo al Río Colorado;
- Enviarlas (sin costo) a un canal de riego denominado “Canal Independencia”

Ambas opciones distaban 14 Km. del punto de salida de la PTAR a un costo de **\$40,000,000** la obra de conducción.

# Planta de Tratamiento





**ANTEPROYECTO DE  
NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-014-CNA-2003**

**“REQUISITOS PARA LA RECARGA  
ARTIFICIAL DE ACUIFEROS”**

**6.3.4.- “El Solicitante”, podrá aplicar agua de recarga con una calidad menor a la establecida en la tabla 1, sujeto al cumplimiento de las condiciones siguientes:**

- a).- Que se construyan SRA únicamente de tipo superficial/subsuperficial;
- b).- Que a distancias menores de 1.0 km. Del límite exterior de las obras de recarga, no existan captaciones que suministren agua subterránea para usos público-urbano o doméstico, y existan captaciones que recuperen el agua de recarga para otros usos distintos a los mencionados;
- c).- **Que se compruebe mediante estudios técnicos, que el suelo y el subsuelo tienen capacidad para remover o reducir la concentración de aquellos elementos del agua de recarga que excedan los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.**

Ante la divulgación del **Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-014-CNA-2003**, el Organismo Operador, solicitó el apoyo y asesoría técnica de la C.N.A. para analizar la factibilidad de llevar a cabo un proyecto de este tipo.

En este Anteproyecto de Norma se establecía que el agua residual utilizada para **Recarga Artificial** debía de cumplir con los límites permisibles de la **NOM-127-SSA1-1994**, (calidad de agua potable),



**COMISIÓN NACIONAL  
DEL AGUA**

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**OFICIO NÚM. BOO.05.- 395**

**ASUNTO:** Proyecto de recarga artificial del acuífero  
"Valle de San Luis Río Colorado".

**México, D. F. a 21 de Abril de 2004**

De la visita técnica realizada por personal de esta Comisión a la zona del proyecto referido, en los días 28 y 29 de enero del presente, se concluye que el sitio seleccionado para construir las obras de recarga es favorable en cuanto a sus características hidrogeológicas locales; además de contar con la ventaja de estar cerca del sitio donde se instalará la planta de tratamiento de esa ciudad, que suministrará el agua de calidad adecuada para la recarga. Por tanto, a fin de continuar con la evaluación técnica del proyecto, se recomienda llevar a cabo un proyecto "piloto" conforme a las disposiciones de la *NOM-014-CNA-2003 "Requisitos para la Recarga Artificial de Acuíferos"* y a los comentarios apuntados en el anexo.

Agradeceré a usted nos remita en su oportunidad la información básica y los resultados derivados de este proyecto. Finalmente, le reitero nuestra mejor disposición de seguir apoyando a ese organismo en el desarrollo de su proyecto.

**ATENTAMENTE**  
**"SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCIÓN"**  
**EL SUBDIRECTOR GENERAL**



**DR. FÉLPEA. ARREGUÍN CORTÉS**

Ante esta posibilidad, y con la oportunidad de tener un suelo con características adecuadas, el Organismo Operador decidió iniciar los estudios correspondientes que dieran certeza para llevar a cabo un proyecto de este tipo.

Se elaboró un proyecto piloto que incluía todas las actividades que permitieran evaluar la capacidad de infiltración del sitio programado y la capacidad de atenuación y remoción de partículas contaminantes por parte de los substratos del suelo.



### Las actividades incluyeron:

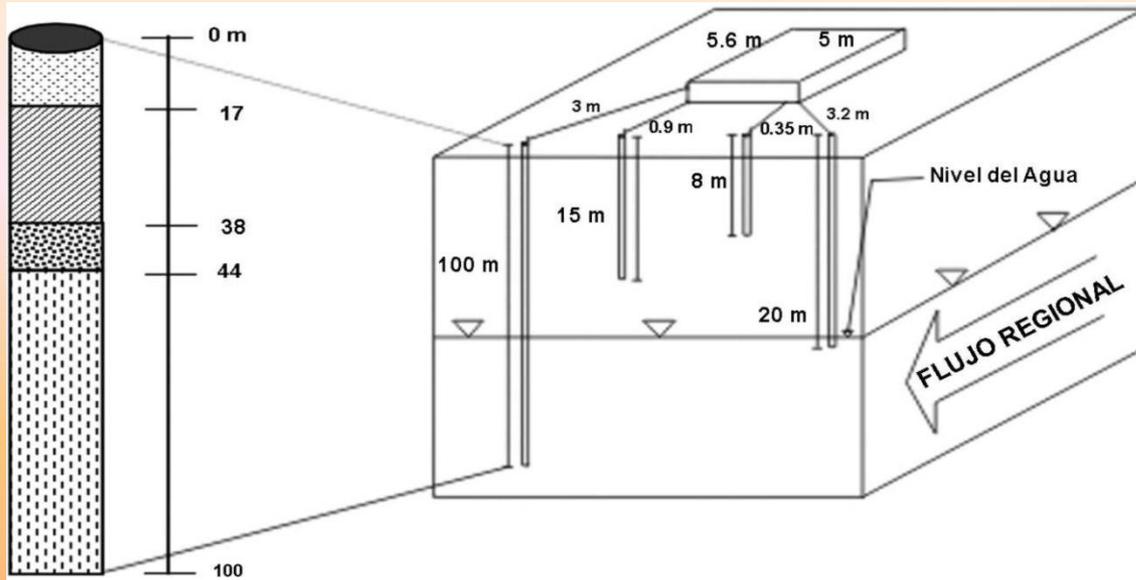
La elaboración de mapas que contenían la ubicación geográfica de la obra de recarga;

Captaciones subterráneas aledañas,

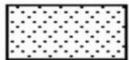
Fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea;

Imagen satelital referenciando el sitio con respecto a la mancha urbana así como el mapa de ubicación;

Y las características de la fuente de agua residual a infiltrar.



### SIMBOLOGIA



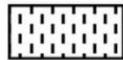
Arena de grano medio a fino



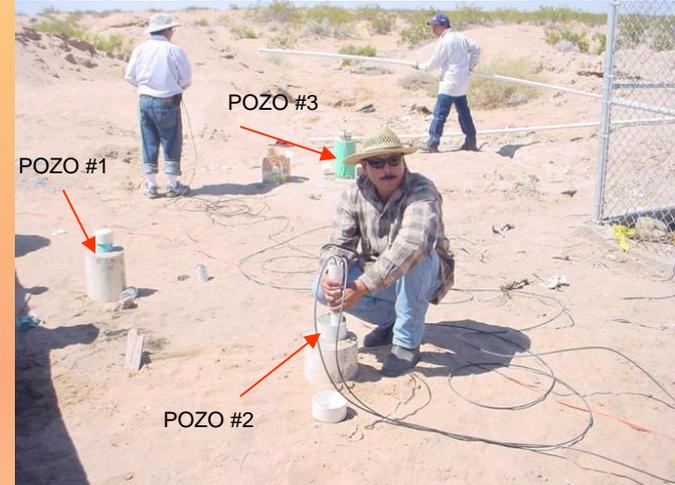
Arenas finas con limos arcillosos



Arena fina y gravilla con interacción de limos arcillosos



Arenas y gravillas



Se construyó una pila de 5 m x 5.6 m x 1 m de altura y tres pozos de 8, 15 y 20 metros, utilizándose también un pozo profundo de 100 m. previamente construido para la obra de la PTAR. Las actividades de campo principales que se realizaron fueron la valoración de las propiedades hidráulicas del acuífero en la zona de proyecto: **Conductividad Hidráulica, Transmisividad, Porosidad, Coeficiente de almacenamiento**, incluyendo las características **fisicoquímicas y microbiológicas** del agua subterránea nativa.

Con el objeto de conocer rápidamente las características hidráulicas del acuífero, se utilizó agua limpia del pozo profundo, infiltrándola dentro de la pileta, tomándose muestras de agua en los cuatro pozos de observación, obteniéndose los valores de los parámetros de **K saturada de 4.8 m/día**, **Transmisividad promedio = 2246 m<sup>2</sup>/día**, **Porosidad=25%**, **Coefficiente de almacenamiento = 25%**



Posteriormente, se procedió a realizar las mismas pruebas con agua residual tratada (SS=0.1 ml/l y SST=18.66 mg/l BOD= 49 mg/l) observándose variaciones descendentes de la tasa de infiltración debido a la colmatación de sedimentos en el fondo de la pileta. A las 24 hrs de iniciada la infiltración se tuvo una reducción de la mitad del valor de 4.8 m/día medido en la prueba con agua limpia. A las 48 hrs este valor se redujo a 0.5 m/día y a las 72 hrs la tasa de infiltración disminuyó hasta 0.12 m/día.

	LIMITES PERMISIBLES NOM-127-SSA1-1994	LIMITES PERMISIBLES NOM-001-ECOL-1996 PROMEDIOS DIARIOS	PROMEDIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA INFILTRADA			
			PILETA	PROFUNDIDAD DE MUESTREO		
				15 m	20 m	POZO PROFUNDO
COLIFORMES TOT.	0		10,500,000	250	51	0
COLIFORMES FEC.	0	2,000	10,500,000	250	51	0
HUEVOS DE HELMINTO		5 huev/lt				
COLOR	20 U. ESC. PLA/COB		63	66	92	0
OLOR Y SABOR	AGRADABLE		DESAGRAD.	DESAGRAD.	DESAGRAD.	AGRAD.
TURBIEDAD	5 U.T.N.		31.000	61.00	1,053.000	2.000
PH	6.5 - 8.5 U.	5 A 10 U.	7.500	8.400	7.870	7.050
TEMPERATURA						
ALUMINIO	0.2 mg/lt		0.020	0.040	0.120	0.030
ARSENICO	0.05 mg/lt	0.4	0.000	0.000	0.000	0.000
BARIO	0.7 mg/lt		0.540	0.510	0.580	0.340
CADMIO	0.005 mg/lt	0.4	0.000	0.000	0.000	0.000
CIANUROS (CN)	0.07 mg/lt	3	0.000	0.000	0.000	0.000
CI RESIDUAL LIBRE	0.2 - 1.50 mg/lt		0.100	0.100	0.100	0.100
CLORUROS	250 mg/lt		339.000	252.000	412.000	2520
COBRE	2.00 mg/lt	6 mg/lt	0.030	0.320	0.060	0.020
CROMO TOTAL	0.05 mg/lt	1.5	0.000	0.000	0.000	0.000
DUREZA TOTAL (CaCO3)	500 mg/lt		22.500	41.330	256.670	301.000
FENOLES	0.3 mg/lt		0.000	0.010	0.020	0.000
FLUORUROS	1.5 mg/lt		0.820	0.650	1.567	0.193
FIERRO	0.30 mg/lt		0.120	0.192	0.255	0.032
FOSFORO TOTAL		30 mg/lt				
MANGANESO	0.15 mg/lt		0.110	0.170	0.570	0.020
MATERIA FLOTANTE		ausente				
MERCURIO	0.001 mg/lt	0.02	0.000	0.000	0.000	0.00
NITRATOS	10 mg/lt		0.580	4.030	1.400	0.280
NITRITOS	1.00 mg/lt		0.072	0.004	0.004	0.005
NITROGENO AMONIACAL	0.50 mg/lt		19.475	0.178	0.118	0.132
NITROGENO TOTAL		60 mg/lt				
NIQUEL		4 mg/lt				
PLOMO	0.01 mg/lt	1 mg/lt	0.001	0.001	0.001	0.001
SODIO	200 mg/lt		156.500	134.7000	193.700	119.300
SDT	1,000 mg/l		1,521.000	1,117.700	1,717.300	968.700
SOLIDOS SEDIM.		2 ml/lt				
SOL. SUSP. TOT.		200 mg/lt				
DEM. BIOQ. DE OXI.		200 mg/lt				
GRASAS Y ACEITES		25 mg/lt				
SULFATOS	400.00 mg/lt		450.000	280.000	452.000	280.000
SUST. ACT. AL AZUL DE METILO	0.50 mg/lt		7.450	0.220	0.100	0.040
TRIHALOMETANOS TOTALES	0.20 mg/lt		17.500	0.060	0.010	0.000
YODO RESIDUAL LIBRE	0.2 - 0.5 mg/lt		0.000	0.000	0.000	0.000
ZINC	5.00 mg/lt	20	0.040	0.090	0.090	0.040

## Conclusiones del Estudio Piloto

Los resultados arrojados por los análisis del agua infiltrada, mostraron una importante reducción de los parámetros bacteriológicos tales como coliformes totales y fecales, con reducciones hasta de 200,000 veces de la concentración original, sobresaliendo los primeros 15 metros de profundidad con eliminación de 900,000 NMP/100 ml por metro recorrido y reducciones de otros parámetros químicos, como nitratos, sodio, dureza total, bario, cadmio, aluminio, arsénico, cobre, fierro, mercurio y plomo.

Las concentraciones de Cloruros, Sulfatos, Sólidos Disueltos Totales y Manganeso, aumentaron por arriba de la NOM-127-SSA1-1994.

Estos incrementos pueden deberse al proceso de lavado de sales durante su recorrido por la zona no saturada y en el caso del manganeso, a la presencia de este elemento en ciertos estratos de arenas limo arcillosas.

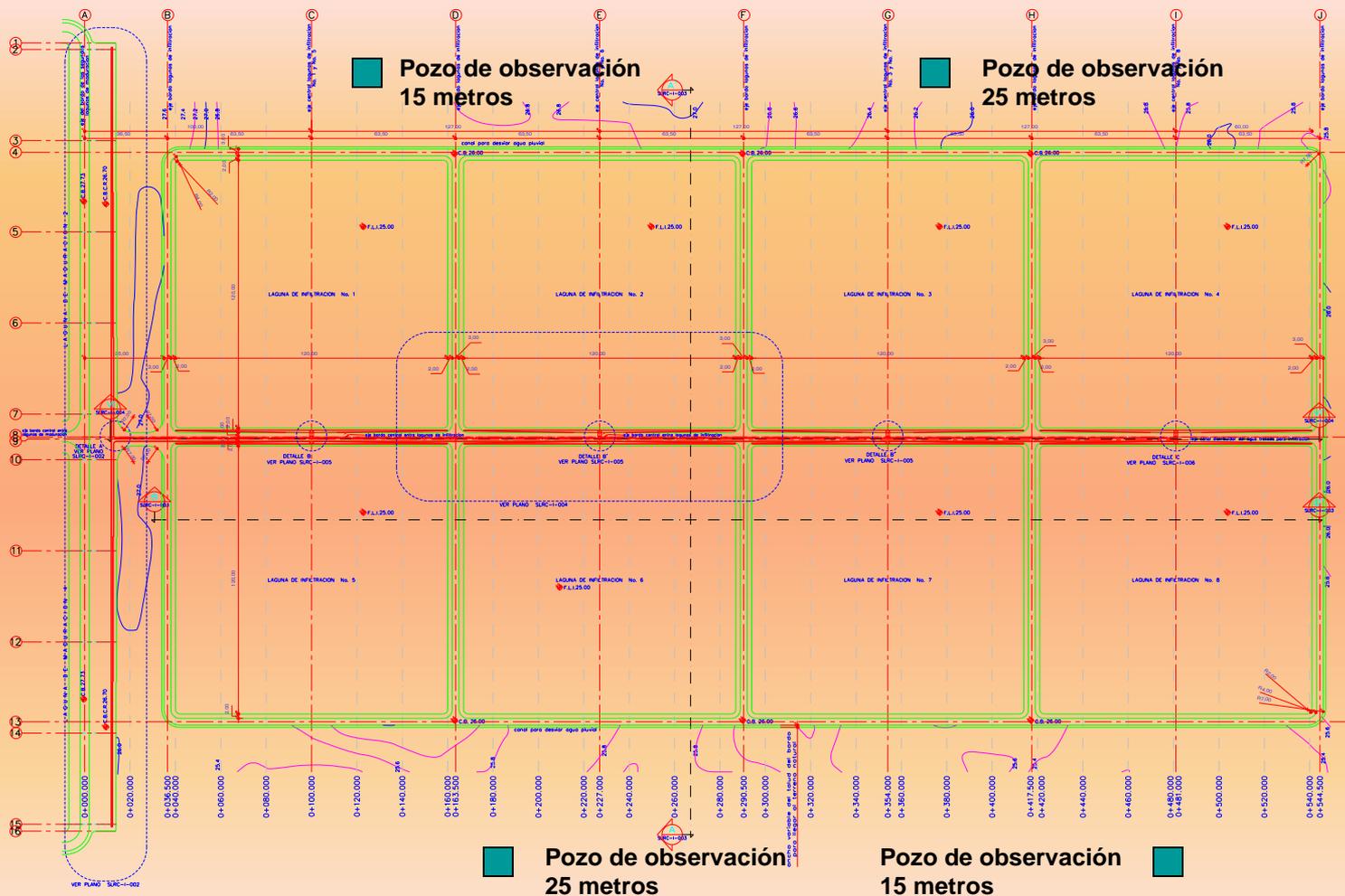
Con los resultados del estudio piloto, donde se demostró que la contaminación del acuífero es de bajo riesgo, el Organismo Operador, OOMAPAS, elaboró el Proyecto Ejecutivo "**Recarga Artificial de Acuífero**" el cual consiste de un arreglo de dos trenes de 4 lagunas cada uno, alimentadas por un canal central, y con dimensiones unitarias de 120 m x 120 m, y 1 m de altura, con una tasa de infiltración saturada de 2.12 m/día con un ciclo de operación de 1 día de llenado por 6 días de secado y 0.5 m de tirante de operación



Agua residual tratada, del efluente de la PTAR, con parámetros de  $BOD_5=46.7$  mg/l, SST= 83 mg/l y SS= <0.1 ml/l



# ARREGLO GENERAL LAGUNAS DE INFILTRACION



## Canal central y Canaletas vertedoras Lagunas de Infiltración.



Valores de conductividad hidráulica para varios suelos:	
Suelos arcillosos	< 0.1 m/día
Limosos	0.2 m/día
Arenosos limosos	0.3 m/día
Arcillo limosos	0.5 m/día
Arenas finas	1.0 m/día
<b>Arenas medias</b>	<b>5.0 m/día</b>
Arenas gruesas	>10 m/día

A mediados del mes de julio de 2007, se terminó la obra con un costo de \$14,220,000 pesos, financiados gratuitamente por el Banco de Desarrollo de América del Norte (BANDAN), con fondos del programa de Infraestructura Ambiental Fronteriza México-USA. (BEIF)



El 30 de Julio del año 2007, empezó el proceso de Infiltración con un gasto aproximado de 300 litros por segundo



Superficie por laguna = 1.44 has.

# Laguna de infiltración con 5 días de operación.



# Problemas operativos

- .- La producción excesiva de algas y el incumplimiento en la calidad del agua tratada referente a las concentraciones de sólidos sedimentables por arriba de los 20 ml/l, causan taponamientos (Colmatación) en la superficie del área de infiltración, reduciendo considerablemente el tiempo de operación por laguna.



Costras de M.O de  
0.5 a 1.0 cm de  
espesor

# Limpieza de Lagunas



**Rastrillado con Tractor y Escrepa**

## Construcción de Pozos de Observación





**Toma de muestras en los pozos de observación**

**1 Muestra por semana.**

COORDINACIÓN GENERAL DE  
RECAUDACIÓN Y FISCALIZACIÓN  
SUBGERENCIA DE COORDINACIÓN  
HACENDARIA Y PROCEDIMIENTOS  
FISCALES

OFICIO No. B00.00.03/10/12 3386

SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



Federación, la representación de las personas físicas o morales ante las autoridades fiscales, se hará mediante escritura pública o carta poder firmada ante dos testigos y ratificadas las firmas del otorgante y testigos ante las autoridades fiscales, notario o fedatario público.

En el caso que nos ocupa, no se desprende que el C. Manuel de Jesús Baldenebro Arredondo acompañe documento por medio del cual acredite la personalidad con la cual promueve legalmente en nombre y representación del Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado.

No obstante lo anterior, se le informa que del análisis a la información que cita en su escrito de petición, esta autoridad puede advertir que manifiesta la intención de lograr una autorización de disminución de los derechos causados por uso o explotación de aguas nacionales, contemplando como parámetro de reducción el importe que representa el volumen de agua que infiltra al acuífero, obteniendo con ello una bonificación en el pago trimestral de \$971,250.00.

El Organismo Operador de Agua de San Luis Río Colorado, actualmente realiza los trámites ante la CONAGUA para obtener el Certificado de Calidad de agua Infiltrada y con ello ser sujeto a que se le bonifique los volúmenes de Infiltración hasta por **\$3,885,000 anuales**

# Aseorias



**Dr. Peter Dillon (Australia)**



**Dr. Herman Bouwer (USA)**

## Social and economical issues

Mexican water users are not yet familiar with artificial recharge practices. It is possible to face scepticism's and social resistance. For example, surface water recharge is not widely accepted by users that do not understand the advantages of subsurface as a treatment plant or as storage. According to some of them, it does not make sense to infiltrate water into the ground and then recover it later.

Greater social opposition can be expected for wastewater recharge when there is a possibility of using recovered water directly or incidentally for potable purposes.

Resistance is mainly due to 'green groups' that adopt a strict position - sometimes justified, defending human health. They can ask for standards that may be difficult to achieve. Sometimes, they forget that incidental recharge associated to country development may generate pollution which control is difficult.

Artificial recharge involves high costs derived from preliminary studies, design, construction, operation, maintenance, and monitoring of systems. Small-scale application from industrial and municipal users can be achieved, if they can obtain some benefits. In general, small farmers cannot support artificial recharge. They are numerous and their water consumption is high. Private recharge projects in small scale are appreciated and joint efforts can bring local benefits for aquifers. Larger recharge projects to create or increase available water storage for future use are

only feasible if government and organized users support them. This possibility is being addressed by local Groundwater Technical Committees (COTAS) for over-exploited aquifers, as a strategy for sustainable management.

## CUESTIONAMIENTOS SOCIALES Y ECONOMICOS

Los usuarios Mexicanos aun no están familiarizados con las prácticas de Recarga Artificial. Es posible enfrentar escepticismos y Resistencia Social. Por ejemplo, la Recarga Superficial de agua no es ampliamente aceptada por los usuarios que no entienden las ventajas del uso del subsuelo como sistema de tratamiento o como cuerpo de almacenamiento.

De acuerdo a alguno de ellos, no tiene sentido infiltrar agua dentro del subsuelo y luego recuperarla posteriormente.

La mas grande oposición social para recargar aguas residuales, podría esperarse cuando hay la posibilidad de que esa agua recuperada directa o incidentalmente se use para propósitos de agua potable.

La resistencia se debe principalmente a los grupos ambientales que adoptan una posición estricta.- a veces justificada.- defendiendo la salud humana.

Estos grupos pueden exigir estándares que pueden ser difíciles de alcanzar.

A veces estos grupos olvidan que recargas incidentales asociadas al desarrollo de las ciudades, pueden generar contaminación cuyo control se dificulta.

La Recarga Artificial involucra altos costos derivados de los estudios preliminares, diseño, construcción, operación, mantenimiento y monitoreo del sistema.

Los proyectos de gran magnitud pueden incrementar la disponibilidad de agua para futuros usos y son factibles si el Gobierno y las Organizaciones de usuarios los apoyan.

Muchas Gracias  
por su atención