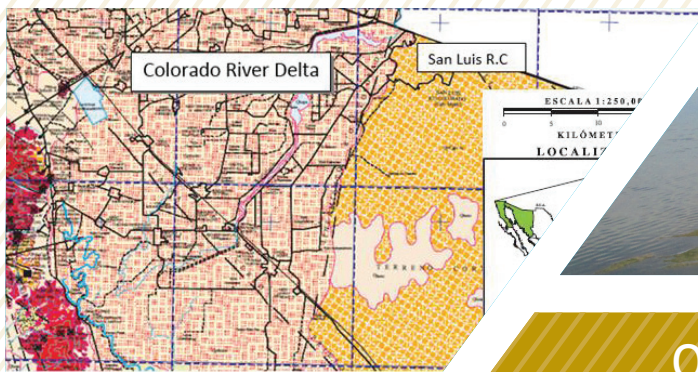


San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora

Tratamiento de Efluentes con el Suelo del Acuífero: Recomendaciones de Mejora



Octubre / 2014

San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora

Tratamiento de Efluentes
con el Suelo del Acuífero:
Recomendaciones de Mejora

**San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora Tratamiento de Efluentes con
el Suelo del Acuífero: Recomendaciones de Mejora**

Tabla de Contenidos

1.	Resumen.....	1
2.	Introducción.....	3
3.	Antecedentes.....	5
4.	Descripción Geológica	7
4.1	Fisiografía.....	7
4.2	Tectónica Regional.....	8
4.3	Estratigrafía.....	9
4.4	Delta del Río Colorado.....	11
5.	Balance Hidrológico	13
6.	Calidad de Agua	15
6.1	Calidad Físicoquímica y Bacteriológica del Acuífero del Valle de Mexicali	15
6.2	Descripción de la PTAR.....	19
6.3	Experiencias Operacionales de la PTAR de Shafdan y el Sistema de Recuperación.....	27
6.4	Conclusiones.....	32
7.	Recomendaciones.....	33
A.	Organización General del Sistema SAT	33
B.	Arado del Suelo.....	35
C.	Monitoreo de Operaciones	36
D.	Consideraciones Adicionales	37
8.	Referencias.....	39

**San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora Tratamiento de Efluentes con
el Suelo del Acuífero: Recomendaciones de Mejora**

Lista de Figuras

1. Croquis del Acuífero de Valle de Mexicali y San Luis Rio Colorado, cerca de San Luis Rio Colorado. Modificado de Google Earth (2014)	3
2. Mapa geológico que muestra la relación entre las formaciones del Delta del Río Colorado y la Mesa Arenosa. Modificado de SGM (2014)	9
3. Diagrama de flujo indicando el régimen de flujo del agua en el Acuífero del Valle de Mexicali (CONAGUA OOMAPAS, 2008)	14
4. Dirección de flujo del agua subterránea (flechas azules). Localización de la PTAR y algunos pozos operados por OOMAPAS (círculos blanco/negro) modificado de Google Earth (2014)....	17
5. Relación química de los pozos en la zona de San Luis Rio Colorado	18
6. Una laguna de estabilización en la PTAR de San Luis Río Colorado.....	20
7. Laguna de infiltración de la PTAR de San Luis Río Colorado	21
8. Pozo de observación y toma de muestra durante la vista de Mekorot el 23 de mayo del 2014.....	21
9. DOC y absorbancia UV254 en un pozo de observación de Shafdan (OW 54) subsecuente al efluente de recarga en el acuífero	29
10. Compuestos nitrogenados en un pozo de observación de Shafdan (OW 54) subsecuente al efluente de recarga en el acuífero	29
11. Configuración de operación sugerida de las lagunas de recarga	34
12. Plan propuesto de la recarga de las lagunas durante los ciclos de llenado/secado.....	34
13. Concepto de ciclos de llenado/secado y sus niveles	36

San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora Tratamiento de Efluentes con el Suelo del Acuífero: Recomendaciones de Mejora

Lista de Tablas

1. Parámetros químicos y bacteriológicos en 18 pozos que son operados y gerenciados por OOMAPAS y abastecen agua a la ciudad de San Luis, Rio Colorado (OOMAPAS, 2013)	16
2. Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014)	22
3. Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014) (Continúa)	23
4. Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014) (Continúa)	24
5. Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014) (Continúa)	25
6. Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014) (Continúa)	26
7. Análisis químicos completos sugeridos en la planta SAT	30
8. Análisis de Características Generales sugeridas en la Planta SAT	31
9. Indicadores Químicos Sugeridos en la Planta SAT	31



1 / Resumen

El Organismo Operador Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (OOMAPAS) de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora, está operando la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad. El agua residual con tratamiento secundario de la planta se recarga y almacena en el acuífero del Valle de Mexicali, localizado al sur de la ciudad de San Luis Río Colorado. Durante la fase piloto inicial de este sistema de recarga, hubo varios problemas en el proceso de infiltración. Sin embargo, la información de OOMAPAS indica que el problema ha sido resuelto y la planta esta trabajando apropiadamente en la actualidad.

Por más de 40 años, Mekorot ha estado operando un sistema similar pero de mayores dimensiones en el Estado de Israel (la Planta de Shafdan). La planta de Shafdan recibe los efluentes de Tel Aviv y el área urbana circundante e incluye plantas de tratamiento secundarias de efluentes, Tratamientos con Suelo del Acuífero (SAT: Soil Aquifer Treatment) lagunas de infiltración y pozos de recuperación.

En el caso de que en el futuro, el agua residual infiltrada de la PTAR de San Luis Río Colorado sea utilizada para la agricultura u otros propósitos, entonces la gran experiencia de Mekorot con el sistema de Tratamiento con el Suelo del Acuífero (SAT) sería importante. Por lo tanto, en el último capítulo se dan las recomendaciones de Mekorot involucrando todas las facetas del sistema SAT y los procedimientos de operación, incluyendo la organización y la sincronización de las lagunas de infiltración, los procedimientos de arado, los análisis químicos, los parámetros de monitoreo necesarios (niveles de agua, tiempo de infiltración, calidad de agua) y consideraciones adicionales. Estas recomendaciones están diseñadas para maximizar la efectividad y eficiencia del proceso SAT. Mekorot también proveerá las bases técnicas para fortalecer las regulaciones de la norma oficial mexicana NOM-014-CNA-2003 con respecto a la recarga artificial de los acuíferos.



2 / Introducción

Geografía – El Valle de la Mesa Arenosa y San Luis Río Colorado se localiza en la porción noroeste del Estado de Sonora, en la región noroeste de México. Los límites del Valle de la Mesa Arenosa se extienden dentro de USA y tienen las siguientes coordenadas (Figura 1):

31° 38' a 32° 29' Latitud N. y 114° 17' a 115° 03' Longitud W. (CONAGUA OOMAPAS, 2008).



Figura 1 / Croquis del Acuífero de Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado, cerca de San Luis Río Colorado. Modificado de Google Earth (2014)

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio trata las aguas residuales de la Ciudad de San Luis. La planta está localizada a 5.2 km al sur de la ciudad de San Luis, Río Colorado, en una región llamada la Mesa Arenosa. La Ciudad de San Luis Río Colorado se localiza aproximadamente a 10 km al sur de la ciudad de Yuma, Arizona y aproximadamente a 20 km del Valle Imperial, California. El Valle de Mexicali en el Estado de Baja California también está localizado al oeste y el Desierto de Altar, Sonora está al este y sur llegando al Golfo de California.

El tamaño aproximado del Valle de la Mesa Arenosa Valley en México es 2,500 km². Localizado dentro de este valle está la PTAR, el Acuífero del Valle de Mexicali, el Acuífero de la Ciudad de San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco, Estado de Sonora (CONAGUA OOMAPAS, 2008).

En la Figura 1 PTAR es la Planta Tratadora de Aguas Residuales.

Precipitación Regional – La región se caracteriza por el clima seco con precipitación promedio anual de menos de 50 mm. La precipitación promedio mensual está entre 0 a 8mm. Con tal cantidad no contribuye a la recarga del agua subterránea. La mayor precipitación se presenta durante el fenómeno de "el Niño". La mayor precipitación se concentra entre los meses de Noviembre y Marzo (CONAGUA, 2003).

Temperaturas Regionales – La región está caracterizada por un intervalo anual de temperatura extrema (INEGI, 2001). Las temperaturas promedio de Junio a Septiembre (los meses más calurosos del año) varían por lo general entre 30 y 33°C. Sin embargo, la temperatura diurna se ha registrado que alcanza más de 50°C durante esta estación. Entre Noviembre y Febrero la temperatura promedio varía entre 13 y 15°C. Sin embargo, también se han registrado temperaturas por debajo de cero (CONAGUA, 2003).



3 / Antecedentes

La principal característica hidrogeográfica en la zona de San Luis Río Colorado es el Río Colorado, uno de los mayores ríos en el oeste de los USA. El Río Colorado y sus tributarios fluyen a través de la Gran Cuenca y los desiertos de Sonora y Mojave, proveyendo líquido vital para el desarrollo de la vida de la población local y el ecosistema en esta zona árida (Ramírez-Hernández, Hinojosa-Huerta, Peregrina-Llanes, Calvo-Fonseca & Carrera-Villa, 2013). Durante muchos años (desde el último periodo glacial, aproximadamente 140,000 años) el agua arrastró sedimentos que fueron depositados en las partes bajas de la cuenca formando barras arenosas marginales y terrazas. Estos sedimentos se acumularon en la boca del río en el Alto Golfo de California, conocido como el Acuífero del Delta del Río Colorado combinado en el acuífero mayor de esta zona árida llamada el Acuífero del Valle de Mexicali (Cohen, 2013).

El acuífero es utilizado tanto en el Estado de Sonora, México como en el Estado de Arizona USA. Este acuífero transfronterizo tiene una dirección de flujo general del norte al sur, de los Estados Unidos a México. Varios reportes (Cohen, 2013; Ramírez-Hernández et Al, 2013) han estudiado la dinámica del agua subterránea en ambos lados de la frontera. México y los Estados Unidos han firmado varios acuerdos con respecto a la gestión del agua del Río Colorado y la restauración del Delta del Río Colorado.

4

Descripción Geológica

La historia geológica del Río Colorado y la creación del Acuífero del Valle de Mexicali están ligadas a la apertura del Golfo de California y el cambio en el canal ancestral del Río Colorado. Actualmente, actividades tectónicas en la región modifican la Mesa Arenosa. El sistema tectónico en esta región es la extensión más al sur del Sistema de Fallas de San Andrés.

4.1

Fisiografía

El Delta del Río Colorado, y consecuentemente el Acuífero del Valle de Mexicali, está anidado en la región fisiográfica denominada “Sierras de Baja California”, cuyas características geomórficas se definen como una franja estrecha de tierra de aproximadamente 1,300 kilómetros de longitud, y un ancho promedio de 100 kilómetros. La posición actual del delta indica que el delta ha estado acumulando sedimentos por uno a tres millones de años. Concomitantemente, la mayoría del Gran Desierto y la Mesa Arenosa se originan también en esta era. El Río Colorado empezó a depositar sus sedimentos en la orilla norte de la Cuenca Salton aproximadamente hace 5.6 millones de años (Myr), y aproximadamente hace 4 Myr, el delta alcanzó la zona de Yuma (CONAGUA, 2003).

Antes de la construcción de las presas corriente arriba en el Río Colorado, el agua del río alimentaba el Acuífero del Valle de Mexicali y su ecosistema. Actualmente, el Delta del Colorado es una llanura de inundación basta con una agricultura intensiva, cubierta por una red intrincada de canales de conducción de agua. La mayor parte del tiempo, la parte baja del Río Colorado (el delta) está seca.

El delta recibe agua solo después de una lluvia intensa en las partes altas, que fuerzan a las presas a liberar agua o después de decisiones de gestión para liberar agua de la Presa Morales. El delta contiene lagunas como la Laguna Salada y Macuata que han sido abandonadas debido al hecho de que el agua no alcanza estos sitios (CONAGUA, 2003).

4.2 / Tectónica Regional

La evolución tectónica de la zona noroeste de México es muy compleja, caracterizada por al menos cinco eventos tectónicos principales. Dentro de esta zona, San Luis Río Colorado y el delta Río Colorado son de particular interés en este estudio. La historia geológica regional del lugar, incluye varios eventos, como reflejo de las siguientes formaciones (Brusca, 2014):

1. Rocas Basamentales graníticas y metamórficas del Cretáceo Tardío al Terciario Temprano sobreyacidas por
2. Lutitas marinas del Mioceno Tardío-Plioceno Temprano resultado de una incursión del Pre-Golfo de California, sobreyacidas por
3. Areniscas, Limolitas, Lodolitas marinas intercaladas que representan la llegada del Delta del Río Colorado (hace 5.3 a 4.2 Myr), y finalmente
4. Una mezcla de areniscas pobremente consolidadas de grano grueso cubiertas de capas de dunas de arena.

Las actividades tectónicas el Periodo Mioceno Tardío llevaron a la incursión del océano de condiciones marinas en aguas abiertas (la creación del Golfo de California) antes de la llegada de los sedimentos del Río Colorado. Este fue el principal evento que después afectó la ruta del Río Colorado. La siguiente secuencia ocurrida durante el periodo del Plioceno Temprano (hace 5.3 a 4.2 Myr). La secuencia superior (Plioceno tardío-Pleistoceno), la cual hoy aflora cerca del Golfo de Santa Clara (en la orilla noroeste de Sonora), registra depósitos fluviales y subaireales con entrada fuerte del Río Colorado. Hace 6 Myr, las extensiones dentro del límite de la región de la Mesa han rotado las rocas oblicuas al margen de la mesa, y el rifting de la Península de Baja habían comenzado lejos del continente. Este movimiento de rifting ocurrió oblicuamente, del sur al norte. Como la Península de Baja fue jalada de lo que ahora es el continente de México, las aguas del océano empezaron a llenar la cuenca recién formada y el Golfo de California (también conocido como el Mar de Cortés) tomó forma gradualmente (Brusca, 2014).

Incluso actualmente, esta zona (particularmente cerca del Golfo de California) es una franja tectónicamente activa. La Falla de Cerro Prieto actualmente está activa en el límite de la Mesa y esta forma el límite estructural oeste de la cuenca de la cuenca de Altar. Ésta también forma la zona de transición entre el sistema de Fallas de San Andrés al norte y el levantamiento del Pacífico Este en el Golfo de California al sur. El Cerro Prieto es actualmente un pequeño volcán de unos 233 m de altura con un domo de lava diacítica en la mitad del campo geotérmico del Cerro Prieto (Brusca, 2014).

4.3 / Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas emergen en la zona de estudio en los Valles de Mexicali y San Luis Río Colorado, de la parte superior al fondo, consisten principalmente de sedimentos cuaternarios no consolidados del Delta del Río Colorado, como arcilla, limo, arena y gravilla. En la zona circundante hay rocas cristalinas y volcánicas que crean varias Sierras. El Delta del Río Colorado está limitado al suroeste por las sierras de Juárez, El Mayor, La Palmita, Las Pintas y San Felipe, y directamente al sur por el Golfo de California (CONAGUA OOMAPAS, 2008).

Más adelante hay una breve explicación del lecho de piedra que constituye una sierra cronoestratigráfica, comprendiendo el periodo completo, de los periodos Perm-triásico al Cuaternario. La Figura 2 ilustra las formaciones geológicas cerca de San Luis Río Colorado (SGM, 2006).

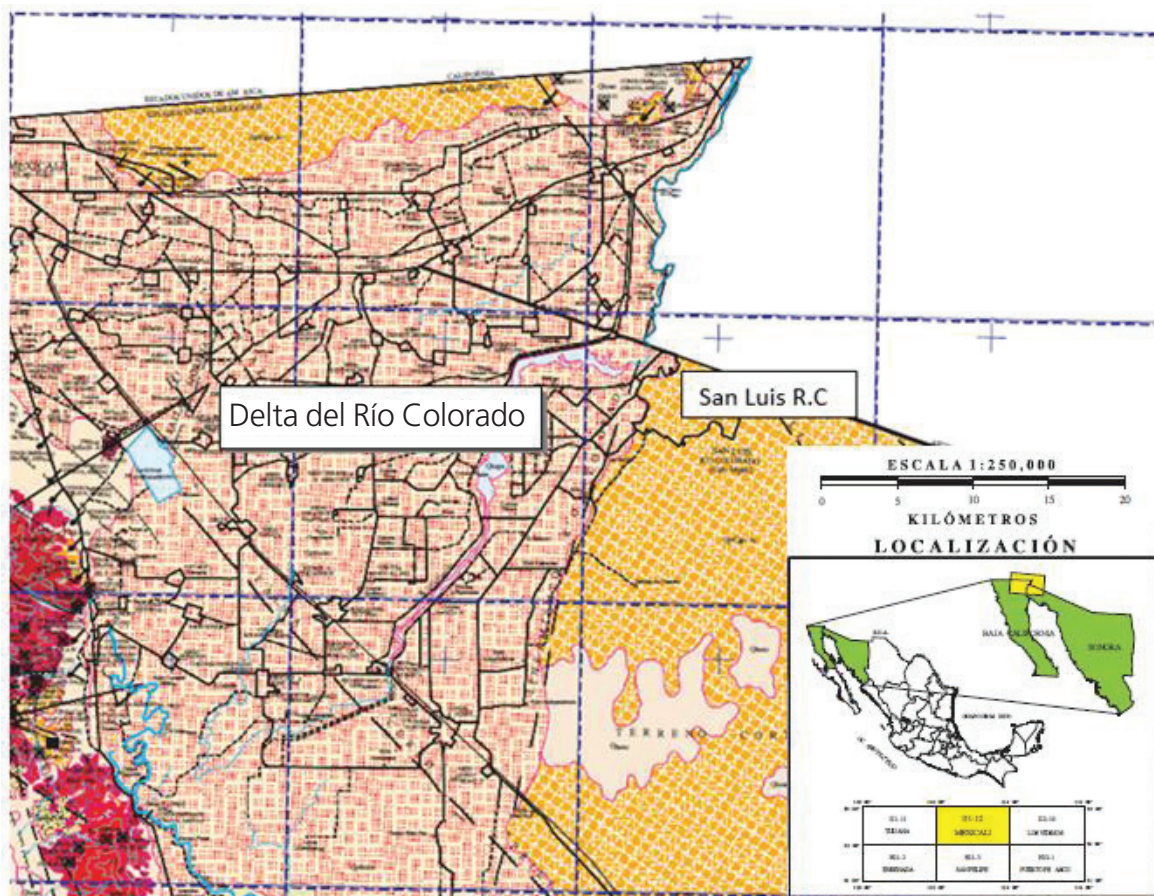


Figura 2 / Mapa geológico que muestra la relación entre las formaciones del Delta del Río Colorado y la Mesa Arenosa. Modificado de SGM (2014)

PTim Gn- E Rocas Igneas y Metamórficas

Estas rocas están compuestas de facies de gneis-esquistos verdes, anfibolitas y granitos que pertenecen al complejo metamórfico Bamori. El complejo también contiene una proporción menor de cuarcita, esquistos y mármol. La edad del grupo es de la era Permo-Triásica, relacionada con la secuencia del Gran Cañón. Las rocas emergen hacia la porción este de la frontera con USA en el lado mexicano de la zona de la Mesa Arenosa. Este grupo de rocas forma lomas pequeñas y aisladas en la frontera con los Estados Unidos y por el otro lado con el Delta del Río Colorado en la sierra conocida como "El Mayor".

Qbp Basaltos

Esta formación está expuesta en el cono volcánico de "Cerro Prieto" y posiblemente también debajo de la parte oeste del Valle de Mexicali.

Qid Delta de Depósitos o Llanuras de Inundación

Estos depósitos están hechos de arcilla, limo y grava fuertemente consolidados, con colores que varían de café rojizo a café oscuro y de verde pálido a verde amarillento. La distribución comprende toda la llanura de inundación del Río Colorado y el Valle de Mexicali. La sedimentación de este sistema fluvial se presenta en el mismo canal fluvial o en la llanura de inundación. Esto crea cambios verticales y horizontales en la litología en distancias cortas.

Qta Terrazas del Antiguo Aluvial

Las terrazas están distribuidas principalmente en la porción oeste del Valle de Mexicali, alrededor de las zonas bajas de la Sierra del Cucapá y El Mayor. Estas terrazas se observan aproximadamente a 2 km hacia El Marítimo y la carretera de Mexicali-San Felipe. El espesor de la terraza es de 15 m, en donde los 5 m de la parte superior están compuestos de una mezcla de grava y arena de origen en rocas ígneas.

Qtf Terrazas Fluviales

Las terrazas de depósitos fluviales están localizadas principalmente en la llanura de San Luis Rio Colorado y Andrade. Consisten de arena con grava y limo, con colores alternados de gris claro a gris amarillento. Estos componentes de capas delgadas, con estructura laminar y entrecruzados. El espesor promedio es de 15 a 20 m y concordantemente cubre los depósitos deltaicos. Presentan buenas condiciones para la infiltración artificial debido a que su sección superior es freática.

Qca Conglomerado Fluvial

El conglomerado está compuesto de rocas clásticas ígneas (principalmente granitos) y rocas metamórficas. El tamaño varía de grava a rocas y también a partículas arenosas. Se presentan en capas de espesor variable con estratificación masiva cruzada. Desde un punto de vista hidrológico, debido a su composición métrica granular, este conglomerado presenta buenas condiciones para la infiltración.

Qcm Depósitos de Canales Antiguos y Meandros Abandonados

Los depósitos antiguos de canales abandonados están asociados principalmente al Río Colorado. Las corrientes Hardy y Pescadores se localizan en la porción central y sur del Valle de Mexicali en el centro del delta. Los depósitos están compuestos de arena fina bien clasificada y limo, La estructura laminar indica que estos depósitos se formaron en aguas quietas y que fluyen a baja velocidad. Se caracterizan por su aumento de permeabilidad con la profundidad y espesor variable, son de preferencia delgados con respecto a los otros depósitos mencionados a continuación.

Qe Depósitos Eólicos

Los depósitos eólicos están distribuidos en las porciones norte y oeste de la región. En estas localidades se presentan dunas y médanos, principalmente con arena de composición de cuarcita fina gris amarillenta. Esta arena se presenta en capas delgadas entrecruzadas y con espesor de 12 m en la Mesa de Andrade y 15 m en San Luis Rio Colorado. Comprenden discordantemente los depósitos bajos de la porción norte del valle, y al oeste cubren los depósitos de las terrazas del aluvial antiguo en las llanuras cerca de San Luis Rio Colorado y presentan buenas condiciones hidrológicas para la infiltración. Estos depósitos no forman un acuífero debido a su posición encima del nivel freático.

Ql Depósitos Lacustres

Esta sección está compuesta de arcilla, limo y arena fina. Sus propiedades hidrológicas son pobres y actúa como un acuitardo.

Qalf Depósitos Fluviales Compuestos de Arena y Limo

Esta unidad fluvial está localizada principalmente a lo largo de ambos lados del Río Colorado y la Corriente Hardy. Están compuestas de arena fina y limo ligeramente gris. Grava bien clasificada se encuentra presente en pequeñas proporciones. Esta unidad está presentada en capas delgadas que cubren discordantemente todos los depósitos deltaicos. La secuencia actúa como un transmisor geohidrológico de agua hacia el acuífero.

4.3 /

Delta del Río Colorado

El Río Colorado nace en las Montañas Rocallosas en el Estado de Colorado, a unos 2,000 km de San Luis Rio Colorado, Sonora. El Río Colorado lleva una carga de sedimentos muy pesados y crea un gran delta en el extremo del Golfo de California. Como se mencionó antes, el río comenzó a depositar sus sedimentos en la orilla norte de la Cuenca Salton, hace aproximadamente 5.6 Myr. Y el delta alcanzó la zona de Yuma hace aproximadamente 4 Myr. Por lo tanto, las arenas más antiguas en el

Gran Desierto pueden ser de esa edad aproximada. La posición actual del delta es una edad probable de 1 a 3 millones de años.

El Delta es enorme y muy grueso (más de 1.5 km). Está compuesto de muchos canales sepultados que representan el flujo de superficie dinámica en un delta. La unidad estratigráfica que forma el acuífero en el delta es arena fina a media en los canales sepultados. En algunos casos la arena está asociada con gravas y algunas veces con arcilla. En los lugares donde estos canales sepultados están por debajo de la superficie del agua, estos son un buen acuífero. Las arenas y gravas en la zona no saturada actúan como un buen medio de infiltración que transmite agua al acuífero.

Las presas que se construyeron en el río actúan como trampas de sedimentación. Consecuentemente, la cantidad de sedimentos que llegan al delta están actualmente en tendencia decreciente y la erosión antes que la acreción ha llegado a ser el proceso físico dominante en el Delta del Río Colorado. La reducción del flujo de agua del río ha dado como resultado grandes cambios para el delta: menos limo, pocos nutrientes, mayor salinidad y mayor concentración de los contaminantes.



5

Balance Hidrológico

En la zona comprendida por este estudio, el agua subterránea proporciona un abastecimiento de agua muy importante a la población local, proveyendo 31% del volumen total disponible del agua del acuífero. Existen algunos acuíferos en el estado de Sonora, la mayoría de los cuales están en un estado de déficit debido a la sobreexplotación y/o contaminación con agua marina (principalmente de la zona costera), o por contaminación de los flujos de retorno del riego agrícola. Los acuíferos en la región del Río Colorado, en la Mesa Arenosa, Mexicali y San Luis Río Colorado, están considerados como sobreexplotados así como un decaimiento anual del nivel de agua de 22 cm desde 1999 (CONAGUA, OOMAPAS, 2008).

Históricamente, los ríos Colorado y Gila han sido las fuentes de casi toda el agua subterránea en la zona a ambos lados de la frontera. Previo al desarrollo de los pozos de agua, los canales de riego, infraestructura agrícola y la construcción de reservorios corriente arriba, los dos ríos suplían agua al acuífero por medio de infiltración directa. El flujo característico regional de noreste a sureste, de la unión de los ríos Gila y Colorado cerca de Yuma Arizona, hacia San Luis Río Colorado y hacia la parte norte del Golfo de California, fué la dirección preferencial del movimiento del agua cuando ocurría el flujo natural. En la región noroeste del Valle de Mexicali, el flujo tenía una componente occidental, hacia el mar Salton.

Cohen (2013) en su informe "Groundwater Dynamics in the Colorado River Limitrophe" menciona que a través del límite de Sonora – Arizona, un volumen de aproximadamente 100 millones de m³ viene de las infiltraciones del Río Colorado a Mexicali, Mesa Arenosa y San Luis Río Colorado. Estas infiltraciones se dan por medio de los canales de flujo tanto de USA como de México, así como del riego agrícola.

El acuífero principal en la Mesa Arenosa se localiza en las capas superiores de arena llamadas el aluvial antiguo de la era del Plioceno y el aluvial joven de la era del Holoceno. El bombeo varía entre un mínimo

de aproximadamente 9.0 Mm³/año en 1984 (un año de precipitación abundante y grandes escorrentías) y un máximo de aproximadamente 182.2 Mm³/año en 1982. La extracción anual promedio es de 150 Mm³ para uso agrícola. De acuerdo con la información de explotación de agua subterránea en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA, una división específica de CONAGUA), el volumen de extracción anual se estima en aproximadamente 200 Mm³.

La precipitación en esta zona árida es muy pobre y no contribuye con ninguna recarga directa al acuífero. Los componentes recientes de la recarga del acuífero de San Luis Rio Colorado son:

Flujo lateral de agua subterránea de Arizona (Valle de Yuma). Incluye agua subterránea natural y retornos de riego.

Infiltraciones de agua del Río Colorado en periodos durante los cuales los flujos se presentan en el extremo más bajo del río. Los flujos en la parte más baja del río se presentan sólo después de un año de precipitación excepcionalmente alta o debido a una decisión administrativa de liberar agua de la Presa Morelos.

Las infiltraciones de agua de los canales de riego abiertos y riego por inundación también contribuyen al agua subterránea. La ONU reporta que aproximadamente 40% del agua se pierde en el proceso de riego por inundación.

Ramirez- Hernández et al. (2013) hallaron una fuerte correlación entre las descargas de flujo en el Río Colorado y la elevación del agua subterránea; la dirección regional del flujo es de NE a SO en todos los años, y hay variaciones estacionales y locales en el nivel de agua como resultado del bombeo. La Figura 3 proporciona un diagrama de flujo de los componentes del balance hidrológico.

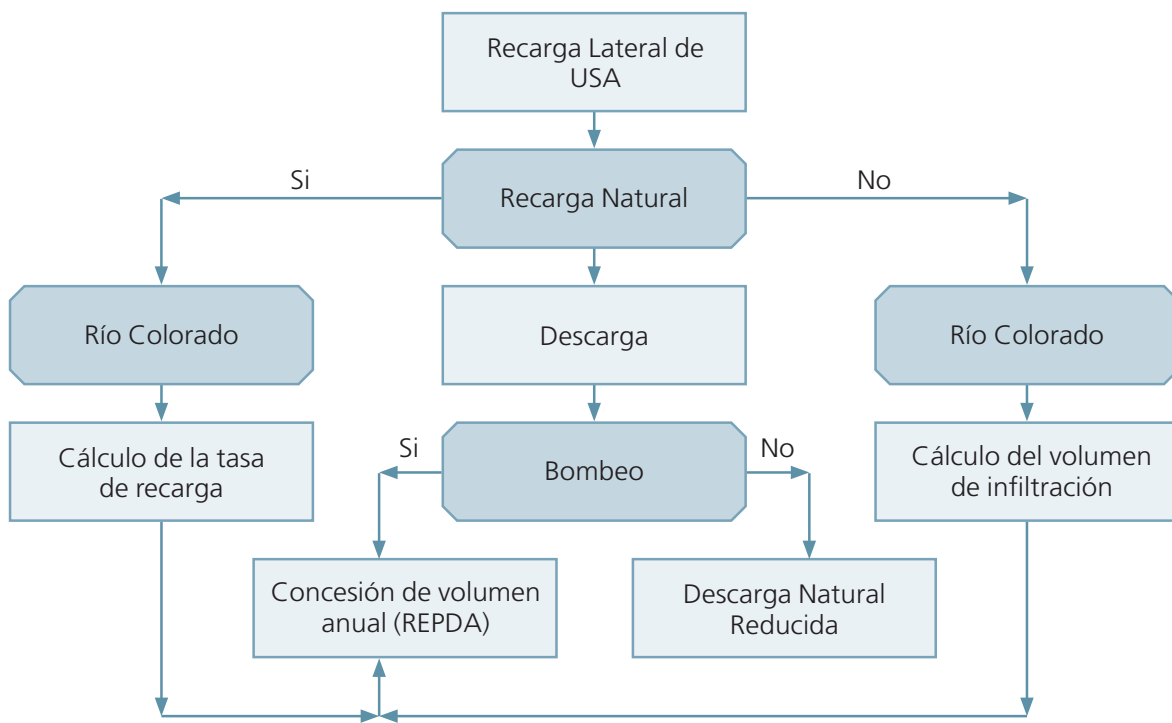


Figura 3 / Diagrama de flujo indicando el régimen de flujo del agua en el Acuífero del Valle de Mexicali (CONAGUA OOMAPAS, 2008)

6 / Calidad de Agua

6.1 / Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica del Acuífero del Valle de Mexicali

La Tabla 1 proporciona datos de la calidad química y bacteriológica del agua subterránea de los pozos que proveen agua potable a la Ciudad de San Luis. La Tabla 1 contiene datos de 18 de 22 pozos con bombeo que fueron muestreados en mayo del 2004. La calidad del agua en cada pozo esta comparada con los límites permisibles (marcados en rojo) como estableció el ESTÁNDAR OFICIAL MEXICANO NOM-127-SSA1-1994 PARA USO Y CONSUMO HUMANO.

Los datos en la Tabla 1 indican que la concentración de cloruros en la mayoría de los pozos está por arriba de la NOM (los límites estándar oficiales aceptables). Los Sólidos Disueltos Totales (TDS) también son altos (debido a la alta concentración de cloruros). Las concentraciones de Manganeso en pocos pozos están un poco abajo de la NOM (SSA, 2000) y pueden estar asociados con la contaminación local. En general, el acuífero está bajo condiciones aerobias y se espera que el Mn sea bajo, por debajo de la NOM. Las concentraciones de nitrato son muy bajas. Por lo tanto, la contribución de los flujos de retorno directos de riego parece que son bajas. Incluso, los coliformes totales y fecales en los pozos analizados están dentro de los estándares con cantidades que no son detectables.

Tabla 1 / Parámetros químicos y bacteriológicos en 18 pozos que son operados y gerenciados por OOMAPAS y abastecen agua a la ciudad de San Luis, Rio Colorado (OOMAPAS, 2013)

	LIMITES PERMISIBLES NOM-127-SSA1-1994	POZO 1	POZO 2	POZO 3	POZO 4	POZO 6	POZO 7	POZO 8	POZO 9	POZO 10	POZO 12	POZO 13	POZO 15	POZO 16	POZO 17	POZO 18	POZO 20	POZO 21	POZO 22	PROM.
Temperatura	OC	26.000	26.000	25.000	25.000	23.000	26.000	27.000	26.000	26.000	27.000	26.000	27.000	26.000	23.000	25.000	27.000	25.000	26.000	25.67
Cl residual libre	0.2 - 1.50 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Cloruros	250 mg/lit	315.300	252.300	227.800	225.200	425.500	319.400	315.300	320.400	240.300	310.300	240.300	334.900	235.300	345.400	280.300	182.700	175.200	180.200	273.67
PH	6.5 - 8.5 U.	7.900	7.600	7.700	7.800	7.300	7.900	7.700	7.800	7.900	7.600	7.800	7.800	7.800	7.600	7.900	8.000	7.900	8.000	7.78
Olor	AGRADABLE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Sabor	AGRADABLE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Color	20 U. ESC. PLAVCOB	10.000	13.000	10.000	8.000	10.000	8.000	8.000	8.000	10.000	10.000	10.000	10.000	8.000	13.000	8.000	10.000	10.000	8.000	9.56
Turbiedad	5 U.T.N.	0.300	0.200	1.100	0.300	0.400	0.200	0.200	0.500	0.400	0.400	0.500	3.100	0.500	0.700	0.300	0.200	0.300	0.300	0.55
Coliformes totales	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Coliformes fecales	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Cianuros (CN)	0.07 mg/lit	0.001	0.002	0.001	0.004	0.003	0.001	0.002	0.028	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001	0.00
Dureza Total (CaCO ₃)	500 mg/lit	379.600	285.700	407.600	369.600	809.100	339.600	409.500	447.500	339.600	419.500	359.600	559.400	353.600	683.200	367.600	179.800	278.700	239.700	401.61
Fluoruros	1.5 mg/lit	0.600	0.331	0.282	0.270	0.150	0.279	0.220	0.250	0.244	0.189	0.214	0.225	0.256	0.266	0.257	0.329	0.281	0.296	0.27
Fenoles	0.3 mg/lit	0.410	0.033	0.110	0.091	0.027	0.049	0.049	0.050	0.045	0.105	0.054	0.064	0.051	0.038	0.141	0.053	0.050	0.129	0.09
Nitratos	10 mg/lit	1.885	2.009	0.013	0.435	1.850	2.235	1.552	0.111	0.265	0.220	0.281	0.122	0.012	0.025	0.025	0.068	0.012	0.023	0.62
Nitritos	1.00 mg/lit	0.038	0.043	0.000	0.020	0.016	0.000	0.008	0.007	0.010	0.011	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.01
Nitrogeno Amoniacal	0.50 mg/lit	0.048	0.258	0.121	0.079	0.488	0.030	0.039	0.051	0.105	0.053	0.051	0.065	0.071	0.569	0.115	0.284	0.498	0.144	0.17
Sulfatos	400.00 mg/lit	160.367	191.201	191.957	157.122	395.997	152.832	179.809	163.022	116.886	175.372	146.426	244.984	110.796	310.245	130.422	128.366	177.704	98.804	179.57
Sdt	1,000 mg/l	920.000	890.000	950.000	856.000	1780.000	1020.000	1120.000	1104.000	780.000	1016.000	816.000	1374.000	822.000	1240.000	910.000	664.000	660.000	644.000	975.89
Aluminio	0.2 mg/lit	0.025	0.000	0.000	0.020	0.000	0.038	0.056	0.023	0.038	0.000	0.000	0.052	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.02
Arsenico	0.05 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.00
Bario	0.7 mg/lit	0.056	0.040	0.077	0.066	0.031	0.047	0.062	0.068	0.084	0.054	0.046	0.055	0.072	0.066	0.061	0.060	0.070	0.039	0.06
Cadmio	0.005 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Cromo	0.05 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.00
Cobre	2.00 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Hierro	0.30 mg/lit	0.028	0.000	0.141	0.038	0.090	0.031	0.023	0.058	0.038	0.041	0.037	0.511	0.115	0.170	0.041	0.049	0.066	0.037	0.08
Manganeso	0.15 mg/lit	0.053	0.057	0.199	0.092	0.339	0.025	0.049	0.174	0.044	0.107	0.079	0.180	0.142	0.305	0.118	0.045	0.062	0.067	0.12
Mercurio	0.001 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Plomo	0.01 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Sodio	200 mg/lit	185.353	213.637	152.825	184.354	315.143	219.989	208.179	192.058	171.038	199.872	182.019	195.101	151.471	177.126	177.352	175.816	136.970	170.963	189.40
Zinc	5.00 mg/lit	0.007	0.000	0.005	0.000	0.010	0.019	0.005	0.025	0.017	0.000	0.009	0.103	0.010	0.008	0.003	0.017	0.005	0.000	0.01
Trihalometanos Tot.	0.20 mg/lit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00

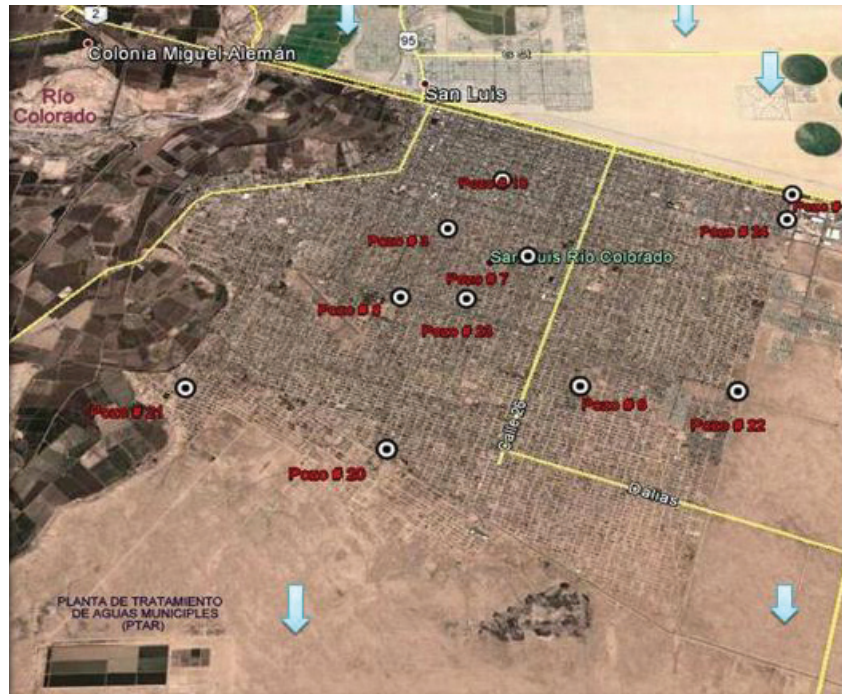


Figura 4 / **Dirección de flujo del agua subterránea (flechas azules). Localización de la PTAR y algunos pozos operados por OOMAPAS (círculos blanco/negro) modificado de Google Earth (2014)**

En una zona árida como la Mesa Arenosa varias relaciones químicas típicas son importantes para entender la fuente de la salinización. El proceso de evaporación en una zona árida crea costras de sal (halita, yeso, sales de potasio y magnesio, y calcita) que llegan al agua subterránea. Las relaciones químicas típicas son (Puente y De La Peña, 1978):

- Cl/Br (relación de peso) > 300
- Na/Cl (relación de equivalentes) > 1
- $Ca/(SO_4+HCO_3)$ (relación de equivalentes) < 0.75

Los datos en la Tabla 1 nos son suficientemente completos para realizar la evaluación de las fórmulas de los índices anteriores. Sin embargo, el índice de Na/Cl va de 0.51 a 0.96 entre los pozos, con dos de los 18 pozos mostrando índices de 0.95 y 0.96 respectivamente (Puente y de la Peña, 1978).

Además los datos en la Tabla 1, se obtuvieron de un artículo que fué publicado en "Campo Geotérmico de Cerro Prieto - Baja California", México 1982. Los datos se recabaron en abril de 1978 a través de la zona completa del Delta del Río Colorado. El reporte no menciona la profundidad de los pozos y la profundidad del ranurado. Las muestras en la Figura 5 son las localidades de los pozos de este estudio que estuvieron más cercanas a San Luis Rio Colorado. Estos datos indican que el índice de Cl/Br en la mayoría de los pozos está por arriba de 300 y el índice de Na/Cl está cerca o es mayor que 1. Los resultados de los dos juegos de datos son consistentes uno con otro, e indican que la alta concentración de cloruros es causada por la disolución de las sales minerales.

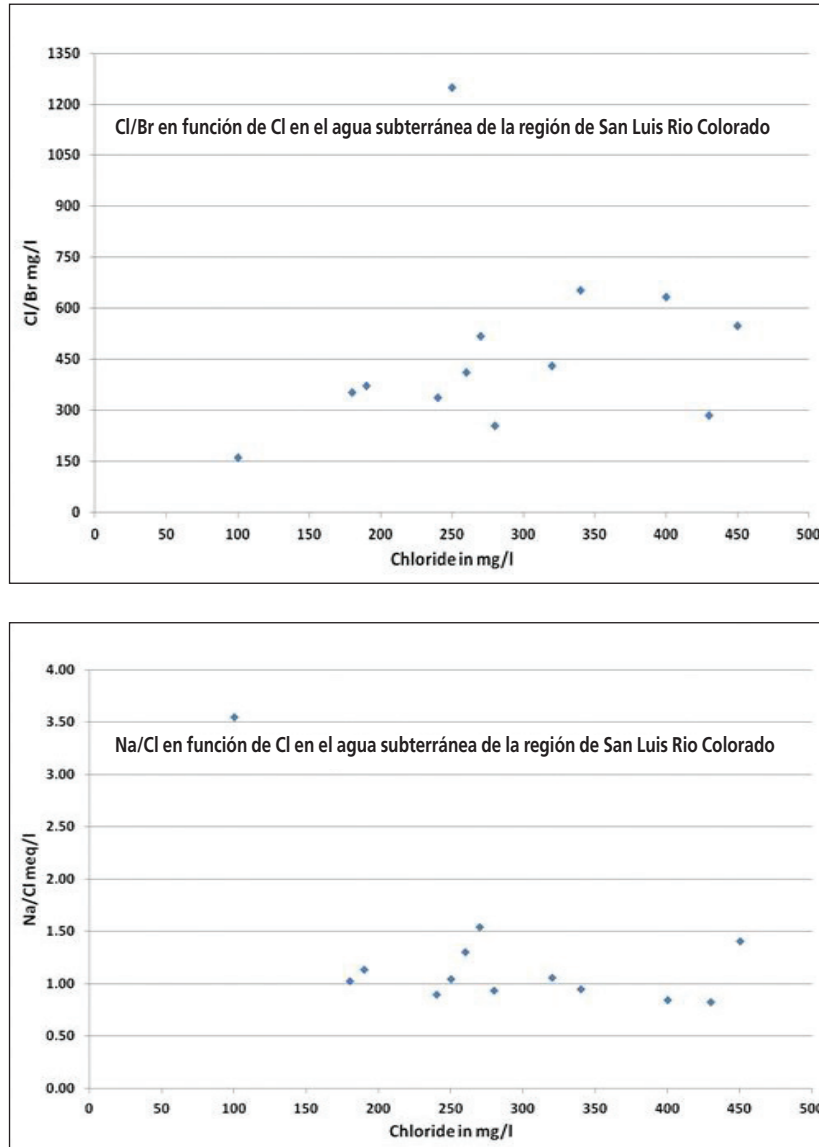


Figura 5 / Relación química de los pozos en la zona de San Luis Rio Colorado

En el reporte de "Campo Geotérmico de Cerro Prieto - Baja California", México 1982, se midieron los isótopos estables y Tritio. Los isótopos y los datos químicos indican las siguientes fuentes de agua relacionadas al acuífero en la zona de San Luis Río Colorado (Puente & De la Peña, 1978):

- El agua en el acuífero de la Mesa Arenosa, contiene agua del "Viejo Río Colorado" y agua de la cuenca del Río Gila.
- Lejos al este (del Río Colorado) aumenta el porcentaje de agua del captador del Río Gila.

6.2 / Descripción de la PTAR

De acuerdo con los datos de población de la Oficina Mexicana de Censos (INEGI, 2011), El municipio de San Luis Río Colorado actualmente está poblado por 200,000 residentes. La tasa anual promedio de crecimiento poblacional ha sido de 2.3% en los últimos años, y se espera que la población alcance 420,000 en el año 2018.

Como respuesta a las necesidades de esta creciente población, CONAGUA y OOMAPAS han iniciado la conexión de los residentes de la ciudad a un sistema de colección de aguas residuales, y la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

La capacidad de diseño de la PTAR es de aproximadamente 51,850 m³/día (13.7 millones de galones por día (MGD) o 600 litros por segundo (lps)). El afluente actual es de aproximadamente 32,860 m³/día (8.68 MGD o 380 lps). En la primera fase, aproximadamente 2/3 de los residentes fueron conectados al sistema de colección de agua residual. Actualmente la construcción está en proceso de conectar residentes adicionales al sistema de colección de aguas residuales (Border Environment Cooperation Commission, 2014).

La Planta de Tratamiento de aguas residuales fue diseñada para cumplir con los parámetros básicos especificados bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, para descarga de efluentes a ríos, a pesar de que el agua residual tratada está recargando el Acuífero de San Luis Río Colorado debajo de la planta y no a un río (SEMARNAT, 1996). Antes de la construcción de la PTAR, se llevó a cabo un plan piloto que indicó que la tasa de infiltración en las localidades propuestas de Tratamiento del Acuífero en Suelo (SAT) es alta, y que la recarga del efluente tratado es posible. Por lo tanto, la zona no saturada es un buen medio SAT. Con base en los resultados de la planta piloto, la planta a escala industrial incluye dos lagunas anaerobias (Figura 6), dos lagunas facultativas, cuatro pilas de maduración y ocho pilas de infiltración (Figura 7). Actualmente la planta trata 13 millones m³/año del efluente municipal. Se perforaron unos pocos pozos de observación a 5 metros del banco de pilas de infiltración (Border Environment Cooperation Commission, 2014).

En mayo del 2014, los expertos de Mekorot visitaron la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y la zona de la Mesa Arenosa, cerca de San Luis Río Colorado, Sonora. Se muestreó el agua de un pozo de observación con un tubo muestreado (Figura 8) para análisis visual, no se notó turbidez, olores ni sólidos suspendidos. El personal de OOMAPAS mostró un análisis del pozo que se presenta en la Figura 8.

De la observación se colectaron datos fisicoquímicos y bacteriológicos del pozo de observación que es adyacente a los bancos de infiltración (los datos se muestran en las Tablas 2 a 6 incluida). Estos datos de calidad de agua se envían mensualmente a las autoridades en la Ciudad de México. Estos datos de calidad de agua indican que hay una mejora significativa en la calidad del efluente (química y bacteriológica) subsecuente a la infiltración SAT. Como se observa en el agua potable (Tabla 5), el

agua en el pozo de observación se caracteriza por altas concentraciones de sulfatos y cloruros (sulfato 190 mg/l y cloruros 375 mg/l). Las concentraciones de Fe y Mn son muy altas (Fe- 0.584 mg/l y Mn- 0.835 mg/l). Esto indica que debajo de la pila de infiltración el agua se encuentra bajo condiciones anaerobias. No se encontraron coliformes en el pozo de observación, lo que indica que el suelo del sistema de tratamiento del acuífero está trabajando apropiadamente incluso a una distancia muy corta del sitio de infiltración.

Como fué el caso de la fuente de agua potable del acuífero par la Ciudad de San Luis, la concentración de cloruro del agua infiltrada fue realmente alta. Esto es debido a que las concentraciones originales de cloruro fueron altas (ver la Tabla 1). Esta restricción debe ser considerada al evaluar las opciones para el reúso del agua infiltrada.

No se emplean procedimientos de monitoreo para acompañar el flujo del efluente tratado de SAT en su flujo corriente abajo en el acuífero. Algunos pozos se localizan corriente abajo y es importante usar estos pozos a fin de determinar en dónde se han presentado, como resultado del sistema de infiltración SAT, cambios en los niveles del acuífero y la calidad del agua.

El periodo en el cual el efluente pasa de la primera laguna de estabilización a la laguna de infiltración requiere de aproximadamente 28 días. El ciclo de infiltración (tiempo de derrame) requiere de aproximadamente 7 días. Actualmente, la decisión de cuándo parar el proceso de infiltración e iniciar el dragado está basada en evaluación visual. La gestión del proceso de derrame (y concomitantemente la eficiencia total y velocidad de proceso de la planta) puede mejorarse significativamente instalando herramientas de medición.



Figura 6 / **Laguna de estabilización en la PTAR de San Luis Río Colorado**



Figura 7 / **Laguna de infiltración de la PTAR de San Luis Río Colorado**

Pozo de observación

Muestra de agua



Figura 8 / **Pozo de observación y toma de muestra durante la visita de Mekorot el 23 de mayo del 2014**

Tabla 2 / Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014)

F-IPR1-2

LABORATORIOS • ABC
QUIMICA INVESTIGACION Y ANALISIS S.A. de C.V.

JACARANDAS No. 19, COL. SAN CLEMENTE, ALVARO OBREGON, MEXICO D.F. 01740
 Tels. (55) 53-371160 CON 15 LINEAS Fax (55)56-358487 e-mail: lababc@labsabc.com.mx Página Web: www.labsabc.com.mx



INFORME DE PRUEBAS

No. DE ORDEN: 344308	No. DE LABORATORIO: 344308-1	FOLIO: 727454	FECHA DE EMISION: 29/04/14
-------------------------	---------------------------------	------------------	-------------------------------

DATOS GENERALES

CLIENTE:	ORGANISMO OPERADOR MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE SAN
DIRECCION:	AV. 16 DE SEPTIEMBRE Y 6ta. - S/N COMERCIAL SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA, 83449
CONTACTO:	At'n: LUIS ALBERTO ROBLES ROJAS

INFORMACION DE MUESTREO

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	AFLUENTE DE PTAR
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	11 de Abril del 2014 24:HS
MUESTREADO POR:	LABORATORIOS ABC
MUESTREADOR:	NOHE GRANILLO
MATRIZ:	Agua Residual

RESULTADOS DE ANALISIS DE CAMPO:

AA	PARAMETRO	METODO ANALÍTICO	UNIDADES	RESULTADO	D	LDM	LPC	ANALIZADO	
								FECHA	AN
FISICOQUIMICOS 6M - AC									
1,2,3	PH EN CAMPO 1	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,26	1	4	***	10/11/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 2	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,17	1	4	***	10/11/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 3	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,28	1	4	***	10/11/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 4	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,28	1	4	***	10/11/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 5	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,37	1	4	***	11/04/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 6	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,36	1	4	***	11/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 1	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	28,3	1	0,1	***	10/11/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 2	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	29,8	1	0,1	***	10/11/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 3	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	27,8	1	0,1	***	10/11/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 4	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	25,4	1	0,1	***	10/11/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 5	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	24,7	1	0,1	***	11/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 6	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	24,8	1	0,1	***	11/04/14	GRB
1,2,3	MATERIA FLOTANTE EN CAMPO	NMX-AA-006-SCFI-2010	---	AUSENTE	1	NA	NA	10/11/14	GRB

OBSERVACIONES DE MUESTREO:

NINGUNA

En la 1a Columna se indica la clave del organismo de acreditación o dependencia que aprueba el método analítico utilizado (ver notas)

Tabla 3 / Reporte del análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014)
(Continúa)

F-IP1R1-2

LABORATORIOS • ABC

QUIMICA INVESTIGACION Y ANALISIS S.A. de C.V.

JACARANDAS No. 19, COL. SAN CLEMENTE, ALVARO OBREGON, MEXICO D.F. 01740
Tels. (55) 53-371180 CON 15 LINEAS Fax (55)56-358487 e-mail: lababc@labsabc.com.mx Página Web: www.labsabc.com.mx



INFORME DE PRUEBAS

No. DE ORDEN: 344308	No. DE LABORATORIO: 344308-1	FOLIO: 727454	FECHA DE EMISION: 29/04/14
-------------------------	---------------------------------	------------------	-------------------------------

RECEPCION DE LA MUESTRA

FECHA Y HORA:	12 de Abril del 2014 11:45
No. FRASCOS:	22
PRESERVACION ADECUADA:	SI

OBSERVACIONES DE RECEPCION DE LA MUESTRA:

FECHA DE MUESTREO DEL 10/04/14 AL 11/04/14

RESULTADOS ANALITICOS

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	D	LDM	LPC	ANALIZADO FECHA	AN
1,2,3	DBO TOTAL	NMX AA-028-SCFI-2001	mg/L	200	150	2	***	12/04/14	MAE
1,2	DQO TOTAL	NMX AA-030-SCFI-2001	mg/L	439	1	10	***	22/04/14	SAJ
1,2	HUEVOS DE HELMINTO	NMX AA-113-SCFI-1999	HH/L	0	1	0,2	***	23/04/14	GAJ
1,2,3	MERCURIO	NMX AA-051-SCFI-2001/EPA 7470A-1994 (II)	mg/L	0,000100	2	5.00E-5	0,0005	17/04/14	OLI
1,2,3	SOLIDOS SEDIMENTABLES	NMX AA-004-SCFI-2000	mL/L	ND	1	0,10	***	17/04/14	MRL
A	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	127,5	1	5	***	16/04/14	ALC
BIOLOGICOS NOM 001 6M									
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 1	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	15000000	100000	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 2	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	9300000	100000	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 3	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	46000000	100000	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 4	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	24000000	100000	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 5	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	46000000	100000	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 6	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	110000000	100000	3	***	12/04/14	CAG
Y	MEDIA GEOMETRICA DE COLIFORMES FECALES	CALCULO	NMP/100 mL	30335346	1	NA	NA	17/04/14	CAG
METALES NOM 001									
1,2,3	ARSENICO	NMX AA-051-SCFI-2001/EPA	mg/L	ND	2	0,00139	0,0125	16/04/14	POV

En la 1a Columna se indica la clave del organismo de acreditación o dependencia que aprueba el método analítico utilizado (ver notas)

Tabla 4 / Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014) (Continúa)

F-IPIR1-2

LABORATORIOS • ABC
QUIMICA INVESTIGACION Y ANALISIS S.A. de C.V.

JACARANDAS No. 19, COL. SAN CLEMENTE, ALVARO OBREGON, MEXICO D.F. 01740
 Tels. (55) 53-371160 CON 15 LINEAS Fax (55)56-358487 e-mail: lababc@labsabc.com.mx Página Web: www.labsabc.com.mx



INFORME DE PRUEBAS

No. DE ORDEN: 344308	No. DE LABORATORIO: 344308-2	FOLIO: 727455	FECHA DE EMISION: 29/04/14
-------------------------	---------------------------------	------------------	-------------------------------

DATOS GENERALES

CLIENTE:	ORGANISMO OPERADOR MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE SAN
DIRECCION:	AV. 16 DE SEPTIEMBRE Y 6ta. - S/N COMERCIAL SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA, 83449
CONTACTO:	At'n: LUIS ALBERTO ROBLES ROJAS

INFORMACION DE MUESTREO

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	EFLUENTE DE PTAR
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	11 de Abril del 2014 24:HS
MUESTREADO POR:	LABORATORIOS ABC
MUESTREADOR:	NOHE GRANILLO
MATRIZ:	Agua Residual

RESULTADOS DE ANALISIS DE CAMPO:

AA	PARAMETRO	METODO ANALÍTICO	UNIDADES	RESULTADO	D	LDM	LPC	ANALIZADO	
								FECHA	AN
FISICOQUIMICOS 6M - AC									
1,2,3	PH EN CAMPO 1	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,91	1	4	***	10/04/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 2	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	8,12	1	4	***	10/04/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 3	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	8,28	1	4	***	10/04/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 4	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,93	1	4	***	10/04/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 5	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	8,00	1	4	***	11/04/14	GRB
1,2,3	PH EN CAMPO 6	NMX AA-008-SCFI-2011	UpH	7,83	1	4	***	11/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 1	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	25,3	1	0,1	***	10/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 2	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	29,0	1	0,1	***	10/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 3	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	28,6	1	0,1	***	10/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 4	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	22,5	1	0,1	***	10/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 5	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	21,6	1	0,1	***	11/04/14	GRB
1,2,3	TEMPERATURA EN CAMPO 6	NMX AA-007-SCFI-2000	°C	21,1	1	0,1	***	11/04/14	GRB
1,2,3	MATERIA FLOTANTE EN CAMPO	NMX-AA-006-SCFI-2010	---	AUSENTE	1	NA	NA	10/04/14	GRB

OBSERVACIONES DE MUESTREO:

NINGUNA

En la 1a Columna se indica la clave del organismo de acreditación o dependencia que aprueba el método analítico utilizado (ver notas)

Tabla 5 / Reporte de los análisis fisicoquímicos del efluente de la PTAR (CONAGUA, 2014)
(Continúa)

F-IPIR1-2

LABORATORIOS • ABC
QUIMICA INVESTIGACION Y ANALISIS S.A. de C.V.
JACARANDAS No. 19, COL. SAN CLEMENTE, ALVARO OBREGON, MEXICO D.F. 01740
Tels. (55) 53-371160 CON 15 LINEAS Fax (55)56-358487 e-mail: lababc@labsabc.com.mx Página Web: www.labsabc.com.mx



INFORME DE PRUEBAS

No. DE ORDEN: 344308	No. DE LABORATORIO: 344308-2	FOLIO: 727455	FECHA DE EMISION: 29/04/14
-------------------------	---------------------------------	------------------	-------------------------------

RECEPCION DE LA MUESTRA

FECHA Y HORA:	12 de Abril del 2014 11:45
No. FRASCOS:	22
PRESERVACION ADECUADA:	SI

OBSERVACIONES DE RECEPCION DE LA MUESTRA:

FECHA DE MUESTREO DEL 10/04/14 AL 11/04/14

RESULTADOS ANALITICOS

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	D	LDM	LPC	ANALIZADO	
								FECHA	AN
1,2,3	DBO TOTAL	NMX AA-028-SCFI-2001	mg/L	42	30	2	***	12/04/14	MAE
1,2	DQO TOTAL	NMX AA-030-SCFI-2001	mg/L	182	1	10	***	22/04/14	SAJ
1,2	HUEVOS DE HELMINTO	NMX AA-113-SCFI-1999	HH/L	0	1	0,2	***	23/04/14	GAJ
1,2,3	MERCURIO	NMX AA-051-SCFI-2001/EPA 7470A-1994 (II)	mg/L	0,000300	2	5,00E-5	0,0005	17/04/14	OLI
1,2,3	SOLIDOS SEDIMENTABLES	NMX AA-004-SCFI-2000	mL/L	ND	1	0,10	***	17/04/14	MRL
A	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	36,0	1	5	***	16/04/14	ALC
BIOLOGICOS NOM 001 6M									
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 1	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	70	10	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 2	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	230	10	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 3	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	1500	10	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 4	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	2400	10	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 5	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	430	10	3	***	12/04/14	CAG
1,2	COLIFORMES FECALES A 44±1°C/24H EN CALDO EC - 6	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	2400	10	3	***	12/04/14	CAG
Y	MEDIA GEOMETRICA DE COLIFORMES FECALES	CALCULO	NMP/100 mL	625	1	NA	NA	17/04/14	CAG
METALES NOM 001									
1,2,3	ARSENICO	NMX AA-051-SCFI-2001/EPA	mg/L	ND	2	0,00139	0,0125	16/04/14	POV

En la 1a Columna se indica la clave del organismo de acreditación o dependencia que aprueba el método analítico utilizado (ver notas)

San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora Tratamiento de Efluentes con el Suelo del Acuífero: Recomendaciones de Mejora

Tabla 6 / Reporte de análisis fisicoquímicos y biológicos de las instalaciones de la PTAR (CONAGUA, 2014) (Continúa)

LABORATORIOS • ABC
QUIMICA INVESTIGACION Y ANALISIS S.A. de C.V.

JACARANDAS No. 19, COL. SAN CLEMENTE, DELEG. ALVARO OBREGON, MEXICO, D.F. 01740
 + (55) 53-371180 CON 15 LINEAS Fax: (55) 56258487 e-mail: lababc@lababc.com.mx Página Web: www.lababc.com

RESUMEN DE RESULTADOS Y COMPARACION CON LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE ACUERDO A TABLA DE LINEAMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA
ARTICULO 224 FRACCION V DE LA LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA PARA EL USO 2 RIEGO AGRICOLA.

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	CUMPLIMIENTO	DIL.	LDM	LPC
PARAMETROS INORGANICOS							
ALUMINIO	mg/L	0.50800	5.0	CUMPLE	1	0.00102	0.0100
ANTIMONIO	mg/L	ND	0.1	CUMPLE	1	0.00051	0.0005
ARSENICO	mg/L	0.04880	0.1	CUMPLE	1	0.00017	0.0010
BERILIO	mg/L	ND	0.5	CUMPLE	1	0.00006	0.0010
BORO	mg/L	0.30720	VER NOTA 1	VER NOTA 1	1	0.00878	0.0005
CADMIO	mg/L	ND	0.01	CUMPLE	1	0.00001	0.0005
CIANUROS (COMO CN)	mg/L	0.0082	0.02	NO CUMPLE	1	5.0	---
CLORUROS (COMO Cl)	mg/L	375.2	150	NO CUMPLE	1	0.00110	0.0100
CROMO	mg/L	0.00510	0.2	CUMPLE	1	0.00011	0.0010
CROMO TOTAL	mg/L	0.00860	0.1	CUMPLE	1	0.00089	0.0100
FERRO	mg/L	0.58390	5.0	CUMPLE	1	0.0068	0.05
FLUORUROS (COMO F)	mg/L	0.0432	1.0	NO CUMPLE	1	0.00009	0.0010
MANGANESO	mg/L	0.83510	0.2	CUMPLE	1	0.00008	0.0010
NIQUEL	mg/L	0.01190	0.2	CUMPLE	1	0.00013	0.0005
PLOMO	mg/L	ND	0.5	CUMPLE	1	0.00033	0.0010
SELENIO (COMO SELENATO)	mg/L	ND	0.02	CUMPLE	3	0.49	5.0
SULFATOS (COMO SO4)	mg/L	189.99	250	CUMPLE	1	0.00090	0.0100
ZINC	mg/L	0.05250	2.0	CUMPLE	1	0.00090	0.0100
PARAMETROS ORGANICOS							
ACROLEINA	ug/L	ND	0.1	CUMPLE	1	0.044	0.23
ALDRIN	mg/L	ND	0.02	CUMPLE	10.0	0.00000005	0.0000005
CLORDANO (MEZCLA TECNICA DE METABOLITOS)	mg/L	ND	0.003	CUMPLE	10.0	0.00000001	0.0000005
DDE (1,1 Di (CLOROFENIL)-2,2 DICLOROETILENO)	mg/L	ND	0.04	CUMPLE	10.0	0.00000007	0.0000005
DIELDRIN	mg/L	ND	0.02	CUMPLE	10.0	0.00000008	0.0000005
HEPTACLORO	mg/L	ND	0.02	CUMPLE	10.0	0.00000012	0.0000005
HIIDROCARBUROS POLIAROMATICOS							
TOXAFENO	mg/L	ND	0.005	CUMPLE	10.0	0.002	0.010
PARAMETROS FISICOS							
MATERIA FLOTANTE	---	AUSENTE	AUSENTE	CUMPLE	1	NA	NA
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	Uph	9.53	6.0-9.0	NO CUMPLE	1	NA	NA
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	1570	VER NOTA 2	VER NOTA 2	1	100	---
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	NE	50	NA	1	5	---
RELACION DE ABSORCION DE SODIO (RAS)	---	NE	VER NOTA 3	VER NOTA 3	1	NA	NA
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	ND	1000	CUMPLE	1	1.1	---

En el caso de los resultados expresados como ND, para calcular la Cantidad Mínima Detectable en la muestra analizada, se debe multiplicar el LDM por la dilución efectuada (DIL)

OBSERVACIONES:
 LMP = LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
 LDM = LIMITE DE DETECCION DEL METODO
 NOTA 1: CULTIVOS SENSIBLES AL BORO, UN MAXIMO DE 0.75 mg/L; OTROS HASTA 3.0 mg/L
 NOTA 2: CULTIVOS SENSIBLES 500-1000 mg/L. CULTIVOS CON MANEJO ESPECIAL 1000-2000 mg/L; CULTIVOS TOLERANTES A SUELOS PERMEABLES 2000-5000 mg/L
 NOTA 3: PARA FRUTAS SENSIBLES RELACION DE ABSORCION DE SODIO RAS <=4 Y PARA FORRAJES DE 8-18 CUANDO LA DESCARGA DIRECTAMENTE A SUELO CON USO EN RIESGO AGRICOLA
 *** EL VALOR REPORTADO EN LA COLUMNA DEL LDM CORRESPONDE A LA CANTIDAD MINIMA DETECTABLE DEL METODO

6.3 / Experiencias Operacionales de la PTAR de Shafdan y el Sistema de Recuperación

Resumen

La larga historia de experiencia operacional de Mekorot de la PTAR de Shafdan se puede aplicar para una mejora significativa de la PTAR de San Luis Rio Colorado y el sistema de recarga del acuífero

Durante el curso de operación de Shafdan, decenas de experimentos alternos y pruebas piloto con acercamientos a nuevas formas de operar, tecnologías y sistemas han creado una planta de tratamiento de aguas residuales única por su estabilidad y eficiencia. Shafdan fue escogida por la ONU como una instalación ejemplar para todo el mundo debido a sistema de tratamiento SAT único, estable y eficiente (Ephrati, 2012).

Descripción de las instalaciones de la PTAR Shafdan

Por más de 40 años, el Proyecto de Recuperación de la Zona de Dan (en la PTAR de Shafdan) ha tratado agua residual del Área Metropolitana de Tel Aviv y varios municipios circundantes. Las aguas residuales colectadas de la región de Dan, consiste aproximadamente de 90% drenaje doméstico y 10% de drenaje industrial. Subsecuente al tratamiento secundario aproximadamente 135 Mm³/año del efluente es recargado en un acuífero por medio de un sistema de tratamiento con el suelo del acuífero (SAT). El tiempo de retención en el acuífero en el proceso SAT es de 6 a 12 meses. La planta consiste de 6 zonas de cuenca de recarga (cada una comprende un número de lagunas de infiltración) que cubren un área total de 110 ha. Las lagunas de infiltración de Shafdan están localizadas entre 3 a 4 km tierra adentro, sobre el Acuífero Costero de Israel. Shafdan hace uso de la arenisca Cuaternaria del acuífero freático que es uno de los mayores recursos de agua fresca de Israel. El acuífero costero se compone de unidades de arena Cuaternaria alternadas con areniscas calcáreas margas y arcillas. Las operaciones de recuperación y recarga se basan en la inundación intermitente y secado de cuencas amplias controlando el paso de efluentes a través de la zona insaturada que tiene un espesor de 15 a 30 m. La zona insaturada juega un papel decisivo en la eficiencia del sistema de SAT y el bombeo subsecuente del agua recuperada es por medio de perforaciones que rodean a las cuencas abiertas. La calidad del agua recuperada es muy buena, los detergentes y fenoles se reducen en un 40 a 70% y los coliformes, coliformes fecales, estreptococos fecales y enterovirus no son encontrados. Por lo tanto, las aguas están clasificada por el ministerio de Salud como "permitible para ingestión accidental" (Aharoni y col. 2011).

El agua recuperada se bombea del acuífero a los pozos de producción en los alrededores. La producción se hace a través de los pozos que se perforaron en dos círculos rodeando a todas las cuencas. Las perforaciones se hicieron tomando en cuenta las características hidráulicas del acuífero

y los requerimientos de que el tiempo de residencia en el acuífero excedan los 50 días. La pluma del efluente es retenida en un radio de más de 1,500 metros de la cuenca de derrame. El círculo interior de pozos bombea pozos con agua caracterizada como 100% efluentes recuperados mientras que el círculo exterior bombea agua que es una mezcla de agua subterránea local y efluentes tratados. Controlando la línea de depresión del nivel de agua en el círculo exterior se minimizan las pérdidas de agua fresca requeridas para un aislamiento de los efluentes recuperados del principal cuerpo del acuífero. Este control permite una producción continua de agua fresca del acuífero adyacente a la planta de tratamiento de Dan.

Los pozos de observación se localizan entre las lagunas y el círculo interior. La mayoría de los pozos de observación están abiertos en el horizonte principal del acuífero. Pero en lugares críticos hay una batería de pozos de observación en donde cada pozo está abierto a un horizonte distinto del acuífero.

El agua de alta calidad (considerada como potable de acuerdo incluso con los estándares más estrictos) recuperada (ver los datos en los reportes anuales) se bombea entonces 87 km al sur de Israel en donde se usa para riego agrícola sin ninguna restricción (CDM; 2014).

Con base en la experiencia en la planta de Shafdan la primera acción inmediata que las autoridades deben llevar a cabo en la PTAR de San Luis Río Colorado es perforar varios pozos de observación alrededor de las lagunas de infiltración a una distancia de 150 a 200 metros desde estas lagunas. En esos pozos el nivel y la calidad del agua serán monitoreadas. Estos datos ayudarán a las autoridades a decidir si se usará en el futuro, el agua recuperada con el sistema de SAT para usos agrícolas.

Éxitos, Retos Operacionales Futuros y Optimización de la Calidad del Agua

Asegurar una alta calidad del agua consistente requiere de una gestión cuidadosa de las cuencas de recarga, como parte de un plan regulador operacional. Este plan incluye el monitoreo de la calidad del efluente, la tasa de infiltración de cada una de las lagunas y la calidad del agua recuperada (CDM, 2014).

Minimizando las Concentraciones de Carbono Orgánico Disuelto – las concentraciones del carbono orgánico disuelto (DOC) usualmente se presentan entre 10 y 15 mg/l en el efluente secundario de Shafdan, antes de la infiltración. Subsecuente a la infiltración SAT las concentraciones de DOC se reducen significativamente (Figura 9). Durante los pasados 15 años, las mayores concentraciones de DOC en el agua de posfiltración se presentaron en los años 2000- 2001, tiempo en el cual el sistema de SAT de Shafdan estaba sobrecargado. El periodo de sobrecarga llevó a condiciones anaerobias en la zona no saturada, por lo tanto, llevó a concentraciones mayores que las deseadas de DOC después de la filtración. Desde entonces, las mejoras al sistema SAT de la PTAR, los procedimientos y la tecnología han llevado a reducciones en la concentración de DOC después del filtro a través de los años (Figura 9).

Reducción de las Variaciones Estacionales en la Concentración de Parámetros – Los cambios estacionales de UV, DOC y concentraciones de nitrógeno se observan en el agua del efluente subsecuente a la recarga en el acuífero (Figuras 9 y 10). Desde el 2007, las nuevas tecnologías y procedimientos de operación han llevado a una reducción significativa en estas variaciones estacionales de las concentraciones.

Reducción de las Concentraciones de Manganeso Disuelto – En el caso de una sobrecarga a las cuencas de recarga o cuando los tiempos de ciclo no se presentan según lo planeado, las condiciones químicas de la zona no saturada y del mismo acuífero pueden llegar a ser anaerobias. Esto puede llevar a la disolución de varios minerales (de manganeso e hierro) del suelo.

En la visita de campo de Mekorot a la PTAR de San Luis Rio Colorado, se entendió que el manganeso y el hierro estaban ya apareciendo en concentraciones relativamente altas en al agua de recarga. Incluso, los datos de calidad del agua potable de la Ciudad de San Luis, como se reporta en la Tabla 1, indican que las concentraciones de manganeso hasta en el acuífero están (en promedio 0.12 mg/l) cercanas al límite aceptable de 0.15 mg/l.

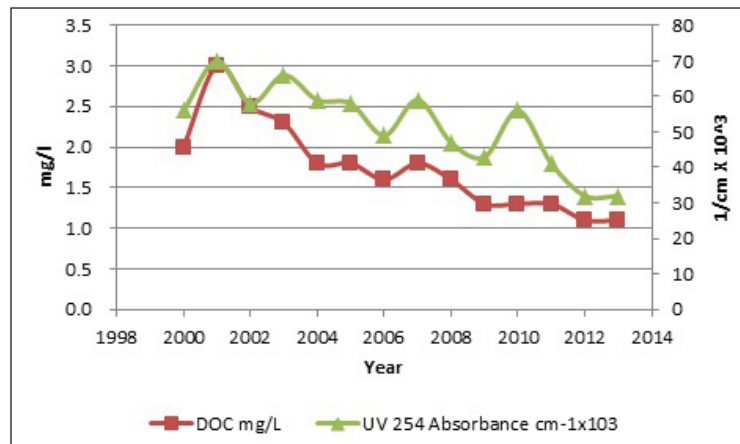


Figura 9 / **DOC y absorbancia UV254 en un pozo de observación de Shafdan (OW 54) subsecuente al efluente de recarga en el acuífero**

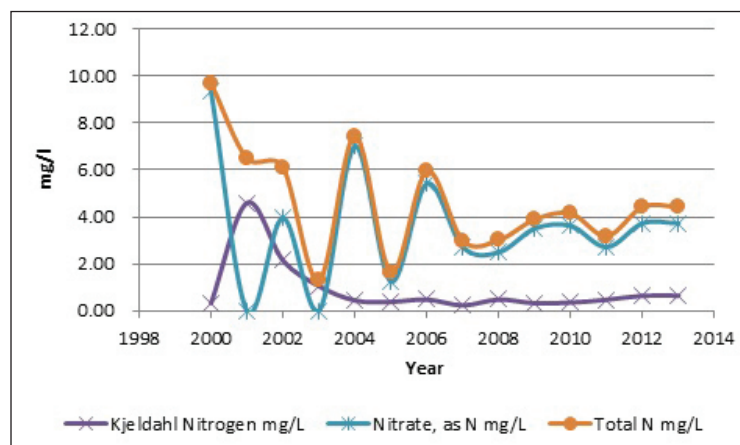


Figura 10 / **Compuestos nitrogenados en un pozo de observación de Shafdan (OW 54) subsecuente al efluente de recarga en el acuífero**

Gestión de Lagunas de Infiltración – Se encontró que el tiempo de residencia en la capa de suelo es el principal parámetro que gobierna la calidad del agua en el proceso SAT. Por lo general, la remoción de los contaminantes aumenta con el tiempo de residencia. A mayores tiempos de residencia se permite la ruptura de compuestos orgánicos de lenta biodegradación (Idelovitch y Michail, 1984).

La gestión de las lagunas de infiltración (incluyendo particularmente el arado de la capa superior de una laguna), tiene un impacto enorme en las características físicas de la capa superior y en la efectividad del proceso de infiltración. Sin embargo, la efectividad del proceso es extremadamente sensible al tiempo y tamaño del arado. Un arado incontrolado puede tener un impacto negativo en el proceso; puede llevar a la compactación del suelo y disminuir los índices de infiltración. En la sección de Recomendaciones de este documento, se proporcionan recomendaciones detalladas con respecto a cómo optimizar el procedimiento de arado.

Monitoreo de la Calidad Después de la Infiltración

– La absorción de UV y el DOC son dos parámetros importantes (entre otros) usados para monitorear la calidad del efluente después de la recarga. La Figura 9 muestra una fuerte correlación entre los dos parámetros. Mekorot está conduciendo trabajo transformativo en el uso de la correlación entre estos dos parámetros, para mejorar la eficiencia y precisión del monitoreo de la calidad del agua. Cada fuente de agua diferente requiere un proceso único de validación, para identificar el factor de correlación preciso entre los dos parámetros

Campaña de Calidad de Agua – Las medidas de rutina de la calidad del agua en los pozos de observación y de bombeo es un factor clave en la gestión total del sistema SAT. En la Planta de Shafdan se tienen tres niveles de muestreo: Análisis Total (completo), características generales e indicadores (Tablas 7, 8 y 9). El muestreo se hace en los pozos de observación y de bombeo. Por supuesto, los parámetros están sujetos a cambios de acuerdo a las necesidades y requerimientos.

Procedimiento de Muestreo – La frecuencia

Tabla 7 / Análisis químicos completos sugeridos en la planta SAT

Química completa	
Prueba	Parámetro
Nitrógeno	NKj, NH ₄
Nitrógeno	NO ₃ , NO ₂
Aceite	O&G
Carbono orgánico	DOC
Metales	Fe, Mn, Ni, Co, Sr, Li, As, Cr, Cd, Ba, Se, Pb, Cu, Zn, Ag, Mo, Al, Sn, Si, Be, V
Mercurio	Hg
Cianuro	CN
UV+Color	UV + Color
Principales	Na, K, Ca, Mg + Dureza
General	MBAS, Cl, SO ₄ , TDS, PO ₄
Boro	B
Bacteriológicos	Complete
Alcalinidad	Alka
Oxígeno	DO
pH	pH
Temperatura	T
Turbidez	Turb
Conductividad	E.C.

del muestreo de los pozos de observación será de cuatro veces al año durante los primeros dos años y entonces disminuirá a dos veces al año como se describe en las Tablas 7-9. Si las características químicas del agua permanecen constante, entonces se recomienda reevaluar la frecuencia del muestreo

A partir de nuestra experiencia, se recomienda usar bombas sumergibles Grundfos o su equivalente con la capacidad de bombear agua de un pozo de 2-3" de diámetro. La especificación de bombeo debe basarse en la profundidad del nivel de agua y la construcción del pozo. En la planta de Shafdan se está utilizando una bomba sumergible que puede instalarse a una profundidad de 50 metros y bombear aproximadamente 1 m³/hora.

Antes de tomar la muestra, por lo menos tres volúmenes del volumen interior del pozo deben bombearse los niveles de agua deben medirse antes y después del muestreo.

Tabla 8 / **Análisis de Características Generales sugeridas en la Planta SAT**

Prueba	Parámetro
Nitrógeno	NKj, NH ₄
Nitrógeno	NO ₃ , NO ₂
Carbono orgánico	DOC
UV	UV
General	MBAS, Cl, SO ₄ , TDS, PO ₄
Boro	B
Principales	Na, K, Ca, Mg + Dureza
Alcalinidad	Alka
Oxígeno	DO
pH	pH
Temperatura	T
Turbidez	Turb
Conductividad	E.C.
Metales extra	Fe, Mn, Al
pH	pH
Temperatura	T
Turbidez	Turb
Conductividad	E.C.
Conductivity	E.C

Tabla 9 / **Indicadores Químicos Sugeridos en la Planta SAT**

Prueba	parámetro
UV	UV
Cl	Cl
Turbidez	Turb
Oxígeno	DO
pH	pH
Temperatura	T
Conductividad	E.C.

6.4 / Conclusiones

El Organismo Operador Municipal de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento (OOMAPAS) de la Ciudad de San Luis Rio Colorado, Sonora está operando una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que se localiza aproximadamente a 5.2 km al sur de la ciudad. La capacidad de diseño de la Planta de Tratamiento es de 13.7 millones de galones al día (MGD) (aproximadamente 51,860 m³/día o 600 lps - litros por segundo). Los afluentes comunes son 8.68 MGD (aproximadamente 32,860 m³/día o 380 lps). En la primera fase de construcción y operación de esta planta, aproximadamente 2/3 de los residentes fueron conectados al sistema de colección de aguas residuales. Actualmente se están realizando trabajos para conectar residentes adicionales al sistema de colección de aguas residuales.

El acuífero de la región es del Acuífero del Valle de Mexicali. El acuífero principal está localizado en la capa superior arenosa llamada Viejo Aluvial de la era del Plioceno en el aluvial joven de la era del Holoceno. En esta zona árida, el agua subterránea es el único recurso hídrico para la población local para todos los usos. El bombeo en este acuífero es alto y el acuífero está en déficit.

Los Ríos Colorado y Gila fueron históricamente las fuentes de casi todas las reservas de agua subterránea en la región a ambos lados de la frontera. Antes del desarrollo de pozos de agua, canales de riego, infraestructura agrícola y reservorios corriente arriba, los dos ríos abastecían agua al acuífero por infiltración directa o en el camino. Un flujo característico de noreste a suroeste en la región fue la dirección preferencial del movimiento de agua cuando se presentaba la descarga natural. Esto ocurría desde la unión de los Ríos Gila y Colorado cerca de Yuma, Arizona, hacia San Luis Rio Colorado y hacia la parte norte del Golfo de California, en la zona noroeste del Valle de Mexicali, el flujo tiene una componente del oeste hacia el Mar Salton.

El contenido de cloruros en muchos de los pozos de bombeo está por arriba de la norma (250 mg/l Cl⁻). Los altos contenidos de cloruros (así como de TDS) tipifican a las zonas áridas, donde los procesos de evaporación crean incrustaciones salinas (halita, yeso, sales de potasio, magnesio y calcita) que después llegan al agua subterránea.

Los resultados de los análisis bacteriológicos en el agua de efluente de la PTAR indican una reducción de coliformes fecales. Sin embargo, los niveles permanecen por arriba de los niveles aceptables para consumo humano de acuerdo a los estándares mexicanos (**NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano, Límites Permisibles de Calidad de Agua y Tratamientos a los que se Somete para su Purificación"**).



7 / Recomendaciones

A. Organización General del Sistema SAT

El procedimiento para tratar el drenaje municipal y recargarlo en localidades apropiadas en el suelo es la solución correcta para esta zona.

Además de la recomendación de cómo mejorar el sistema SAT (ver más adelante), es importante perforar inmediatamente varios pozos de observación en los horizontes más profundos a una distancia de 150 a 200 metros de la laguna.

En la PTAR, los métodos actuales de tratamiento en una laguna de estabilización involucran al sol y la proliferación de algas. El periodo requerido entre la entrada del efluente a la primera laguna de estabilización y su transferencia a la laguna de infiltración, es de aproximadamente 28 días. El ciclo de infiltración requiere aproximadamente 7 días. La decisión con respecto a cuándo parar la infiltración y cambiar a dragado de la laguna de infiltración se basa en la evaluación visual y no está auxiliada por herramientas automáticas de medición. Es importante mejorar la eficiencia de la gestión instalando estas herramientas de medición automáticas apropiadas.

Optimización del SAT

Mekorot ha estado operando un sistema SAT similar pero mucho más grande (la planta de Shafdan) en Israel por más de 40 años (como se describió antes en este documento). Con base en las décadas de experiencia y éxito con el sistema SAT, se recomiendan varios cambios para mejorar tanto la calidad del afluente que se infiltra como también el índice de infiltración. Estas recomendaciones se elaboraron como sigue:

Operación de las Lagunas de Recarga

En la PTAR de San Luis Rio Colorado existen ocho lagunas de recarga. Se sugiere que estas lagunas se operen en dos juegos paralelos apareados de cuatro lagunas por zona (Figura 11).

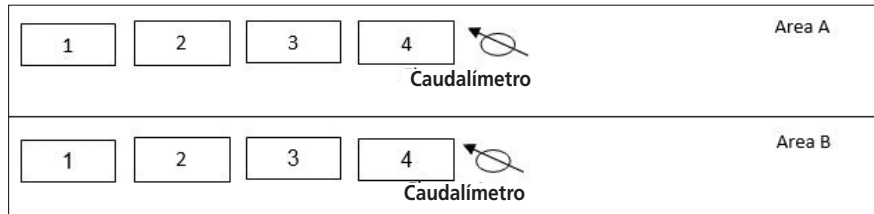


Figure 11 / Configuración de operación sugerida de las lagunas de recarga

La Figura 12 ilustra una instantánea en el tiempo de la configuración deseada en donde una laguna estará en el estado de percolación, otra en estado de inundación, mientras que la tercera está en secado y la cuarta está esperando para el llenado. El objetivo es tener solo una laguna en cada zona en estado de llenado a cualquier tiempo dado.

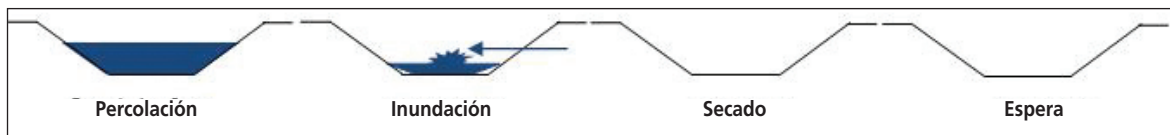


Figure 12 / Plan propuesto de la recarga de las lagunas durante los ciclos de llenado/secado

Estos cuatro estados crean un ciclo, dando tanta continuidad como sea posible en el proceso de infiltración. El tiempo entre un llenado y otro en una sola laguna está definido por el Tiempo de Ciclo de Llenado. Es importante recordar dos reglas de oro para la operación:

1. Es preferible un ciclo de llenado tan corto como sea posible (para maximizar la tasa de procesamiento).
2. Los ciclos de secado largos y de arado, mejoran la infiltración.

Estas dos situaciones ideales se contradicen una a la otra, y por lo tanto es muy importante mantener un balance preciso entre estos durante la operación de las lagunas. Un componente base en lograr este balance, es determinar el nivel de efluente máximo aceptable en cada laguna, con base en las características físicas del suelo, lo que determina la tasa de infiltración.

El monitoreo continuo de la infiltración adyacente a las lagunas es un elemento clave para proporcionar la información requerida para obtener el balance mínimo entre estas reglas. Tres componentes de los procesos de monitoreo se encuentran involucrados, como se describirá más adelante en este documento bajo los siguientes tres subtítulos respectivos para el Monitoreo de las Operaciones: 1) Tiempo de la etapa de llenado, 2) Tiempo del ciclo de llenado/infiltración y 3) Infiltración.

Automatización del Ciclo:

La optimización de la infiltración en el SAT y los procesos de cultivo involucran automatizar las operaciones de llenado, infiltración y arado desde un cuarto de control. Este sistema automatizado reporta cualquier falla o dificultad inmediatamente. Una optimización como esta puede mejorar más adelante la calidad del efluente y reducir la ocurrencia de problemas operacionales. Mekorot ha implementado este sistema optimizado para la Planta de Shafdan, dando como resultado mejoras significativas en la eficiencia del sistema.

B. Arado del Suelo

La Importancia del Arado del Suelo en los Procesos SAT

Se requiere del arado a fin de maximizar las velocidades de infiltración (reduciendo el taponamientos en la zona vadosa superior, para remover algo del pasto que crece en la parte superior de la laguna) y para oxigenar la parte superior de la zona vadosa. La presencia del oxígeno en la zona vadosa superior es la consideración más importante en los procesos de tratamiento con suelos.

Frecuencia del Arado del Suelo:

Además de ser el arado una parte esencial del proceso de SAT, también es una desventaja significativa. Conducir un tractor sobre la laguna de infiltración produce compactación del suelo y esto lleva a la reducción de las tasas de infiltración. Por ello la frecuencia y el método de arado deben ser optimizados como se ha logrado en la Planta de Shafdan. De nuestra experiencia, el arado del suelo debe realizarse no más de dos veces por mes en cada laguna, a fin de minimizar los efectos de compactación.

Profundidad y Método de Arado del Suelo

Existen varios métodos viables de arado, y profundidades. La profundidad del arado puede establecerse de acuerdo con un plan específico, considerando una de las tres alternativas:

- Arar a una profundidad de 40 cm.
- Usar un disco especial de arado a una profundidad de 10 cm.
- Arar a una profundidad de 60 cm usando una excavadora

C. Monitoreo de Operaciones

La operación del sistema requiere que la siguiente información sea monitoreada y registrada en una base de datos.

1) Tiempo de la Fase de Llenado

Los niveles de agua en las lagunas deben monitorearse de las siguientes formas:

- (1) El nivel de agua en cada laguna
- (2) La velocidad de flujo de entrada a cada laguna (si opera correctamente, un fluxómetro por laguna es suficiente).
- (3) El "tiempo de apertura" y "tiempo de clausura" de flujo (la duración de la infiltración hacia el acuífero).

2) Tiempo del Ciclo de Llenado/Infiltración

El periodo de llenado (o inundación, T2 en la Figura 13) no debe ser mayor a 48 horas. Después de completar la fase de llenado, la percolación (T3) tampoco debe exceder las 48 horas. Finalmente, el periodo de secado (T4) debe ser mayor de 72 horas.

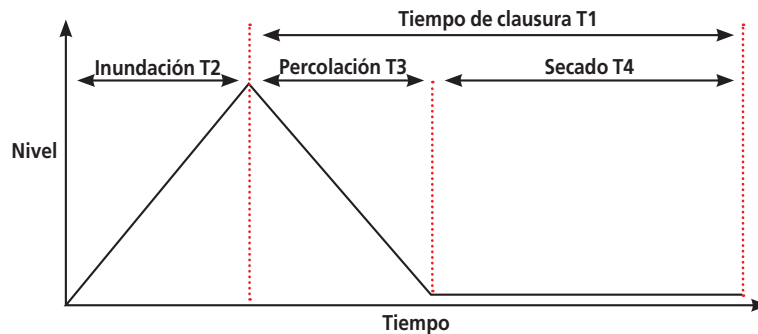


Figura 13 / Concepto de ciclos de llenado/secado y sus niveles

3) Infiltración

Mekorot recomienda el monitoreo continuo de la calidad del agua en los pozos de observación al mismo tiempo de las mejoras recomendadas antes. Deben añadirse pozos de observación corriente abajo de las lagunas de infiltración a fin de monitorear el agua dispensada. Es importante aprender con respecto a la distancia de influencia del agua dispensada así como la calidad del agua dentro del acuífero subsecuente a un largo tiempo de residencia dentro del acuífero. En particular, coliformes fecales, cloruro de sodio, TDS y concentraciones de manganeso deben ser monitoreados cuidadosamente, debido a que están cerca del nivel máximo permitido incluso en el ambiente natural del agua en el acuífero.

Los cloruros altos en el agua subterránea que abastece a la Ciudad de San Luis se reflejan en las altas concentraciones de cloruro en los pozos de observación cerca de las lagunas de infiltración en la PTAR. La concentración de cloruro se está elevando debido a la evaporación (ver la Tabla 6), 375 mg/l contra 275 mg/l, la salinidad promedio de los pozos de San Luis Rio Colorado. Abastecer o regar con este contenido de cloruros es dañar el acuífero.

4) Pozos de observación y análisis de agua

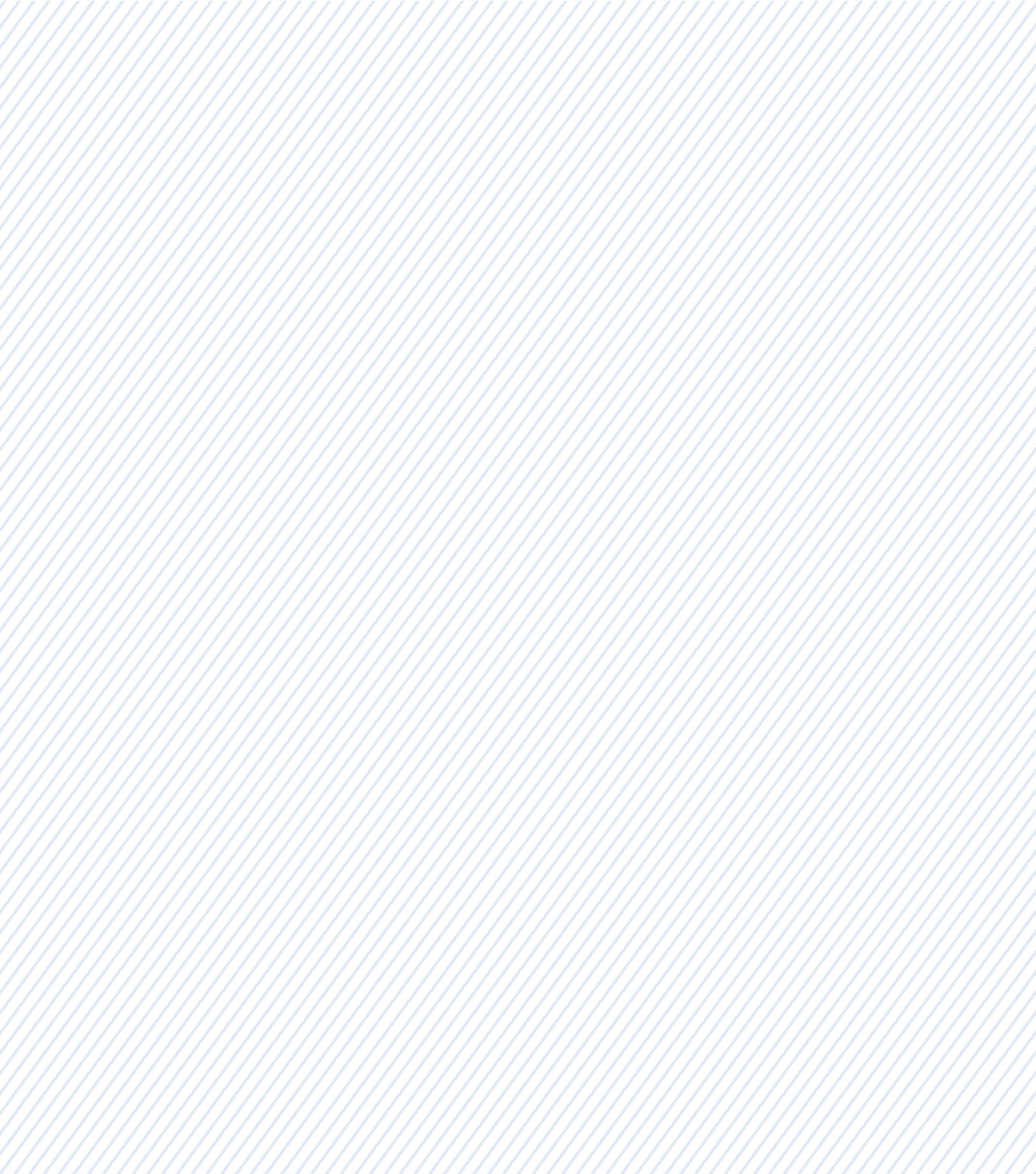
Se recomienda perforar inmediatamente pozos de observación en el acuífero a una distancia de 150 a 200 metros de las lagunas. La cantidad de pozos y la distancia entre dos pozos debe decidirse después de un estudio adicional. En una estimación rápida se recomienda empezar con ocho pozos que serán perforados a una profundidad de aproximadamente 100 m cada uno. La distancia entre dos pozos estará entre 250 a 300 metros. El pozo estará equipado con PVC de 3". El muestreo del agua se llevará a cabo en base a la explicación dada anteriormente.

D. Consideraciones Adicionales

Consideraciones de Reúso en el Riego: El contenido típico de cloruros en las aguas recuperadas es muy alto para muchos de los tipos de cultivos. El riego con agua que tiene alta salinidad resultará en un incremento de salinidad en el acuífero que está debajo. Mekorot recomienda que si esta agua recuperada debe usarse en el riego primero debe ser mezclada con agua subterránea regular (no salina). El mezclado puede por ejemplo, darse simplemente al enviar ambas fuentes juntas con los canales de riego.

Posible Rehabilitación del Medioambiente: El agua recuperada también puede bombearse potencialmente y usarse para restauración del ecosistema en el Delta del Río Colorado.





8

Referencias

Border Environment Cooperation Commission. (5 de Septiembre de 2014). Border Environment Cooperation Commission. Obtenido de <http://server.cocef.org/aproyectos/SummarySLRColorado.htm>

Brusca , R. C. (2014). A Brief Historical geology of Northwestern Mexico.

CDM. (20 de Mayo de 2014). dwa.de. Obtenido de [http://www.dwa.de/portale/ifat/ifat.nsf/C125734C003E2A55/05006D9816018541C12577AD0052D1D4/\\$FILE/pp-Parry%2014Sept2010.pdf](http://www.dwa.de/portale/ifat/ifat.nsf/C125734C003E2A55/05006D9816018541C12577AD0052D1D4/$FILE/pp-Parry%2014Sept2010.pdf)

COANAGUA. (2003). Estudio Geohidrológico Puntual para Obtener las Características Hidráulicas del Acuífero Donde se Pretende Realizar el "Proyecto de Recarga Artificial de Acuífero Mediante la Infiltración con Agua Residual Tratada" . México D. F., México.

Cohen, M. (2013). Groundwater dynamics in the Colorado River Limitrophe . Pacific Institute .

CONAGUA. (2014). Visita de Mekorot a la zona del acuífero Valle de Mexicali. (A. Ruiz, Entrevistador)

CONAGUA OOMAPAS. (2008). Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 2601 Valle del San Luis Río Colorado, Estado de Sonora. México D. F., México: DOF.

Ephrati, A. (04 de July de 2012). UN Calls Israel Wastewater Treatment Plant "Exemplary" . Obtenido de No Camels Israel Innovation News: <http://nocamels.com/2012/07/un-calls-israeli-wastewater-treatment-plant-exemplary/>

Google Earth. (04 de Septiembre de 2014). Google Earth. Obtenido de <http://googleearth.com>

H. Ayuntamiento de San Luis Río Colorado. (3 de 10 de 2014). Encilcopedia de los Municipios y

Delegaciones de México . Obtenido de Estado de Sonora: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM26sonora/municipios/26055a.html>

INEGI. (24 de Julio de 2011). Censo de Población y Vivienda 2010. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=26>

Idelovitch E. y Michail M., (1984). "Soil Aquifer Treatment - a New Approach to an Old Method of Wastewater Reuse", J. WPCF, 56(8), pp. 936-943

OOMAPAS (2013) Análisis para la Determinación de Parámetros de la NOM - 127- SSA1 - 1994 de Agua para Consumo. San Luis Río Colorado, Sonora México: Organismo Operador Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento

Puente, C. I., & De la Peña, L. A. (1978). Geología de Campo Geotérmico de Cerro Prieto .

Ramírez-Hernández, J., Hinojosa-Huerta, O., Peregrina-Llanes, M., Calvo-Fonseca, A., & Carrera-Villa, E. (2013). Groundwater responses to controlled water releases in in the limitroph region of the Colorado River: implications for management and restoration . Ecological Engineering.

SEMARNAT. (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales. México, D. F., México: DOF.

SGM. (2006). Informe de la Carta Geológica Minera y Geoquímica. Suaqui Grande H12-D74 Escala 1:50 000 2006 Estdo de Sonora. México D. F., México: Secretaría de Economía.

SGM. (04 de septiembre de 2014). Servicio Geológico Mexicano. Obtenido de Secretría de Economía: http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas250/geologia/pdf/03_I11-12_GM.pdf

SSA. (2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para Uso y Cosumo Humano. Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización. México, D. F., México: DOF.

San Luis Rio Colorado, Estado de Sonora

Tratamiento de Efluentes con el Suelo del
Acuífero: Recomendaciones de Mejora