

---

## **“Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”**

### **DEMANDAS DEL SECTOR**

**Convocatoria CNA–CONACYT 2008/01**

#### **Área 4. Gestión Integrada del Agua**

Las presentes Demandas del Sector forman parte de la Convocatoria CNA-CONACYT 2008/01, las cuales complementan la información descrita en las Bases de Convocatoria del “**Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua**”, emitida el 16 de enero de 2008, por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

De esta forma la CNA y el CONACYT, con fundamento en lo dispuesto en la Ley de Ciencia y Tecnología y en el marco del Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2007-2012, apoyarán proyectos que generen el conocimiento requerido en materia de agua, que atiendan los problemas, necesidades u oportunidades del sector, consoliden los grupos de investigación y de tecnología, fortalezcan la competitividad científica y tecnológica de las empresas e instituciones relacionadas con el Sector Agua, y promuevan la creación de nuevos negocios a partir de la aplicación de conocimientos y avances científicos y tecnológicos.

Para el cumplimiento de este propósito, el Comité Técnico y de Administración del “Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”, ha definido las áreas estratégicas en las cuales se podrán presentar propuestas de investigación científica y tecnológica, que respondan a las demandas específicas del Sector Agua. El presente documento, aborda el área:

#### **4. Gestión Integrada del Agua**

La descripción de las modalidades y normatividad a las que se sujetarán las demandas específicas del Sector Agua, se describen en los Términos de Referencia que forman parte de la presente Convocatoria 2008/01.

A continuación se describe el contexto técnico y las necesidades que deberán abordar las propuestas de investigación científica y tecnológica para atender dichas demandas.

### **DESCRIPCIÓN**

#### **ÁREA 4. GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA**

##### **Demanda 4.2 Manejo integral de Cuencas**

##### **1. Manejo integral de la cuenca del río Sonora, Sistema aguas superficiales – aguas subterráneas.**

---

## “Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”

### Antecedentes

Ante el incremento de la demanda de agua en las partes media y alta de la cuenca del río Sonora debido al incremento de las extracciones para abastecimiento de agua potable en las ciudades y poblados existentes en la cuenca, para riego de zonas agrícolas, para usos urbanos industriales principalmente en la ciudad de Hermosillo y el sobre pastoreo y agostaderos, los acuíferos, en su mayoría, presentan una sobreexplotación, entre ellos el acuífero de la Mesa del Seri- La Victoria (ubicada entre las presas El Molinito y Abelardo L. Rodríguez) y Costa de Hermosillo. Esto significa que se están aprovechando volúmenes superiores a la disponibilidad media anual de agua en la cuenca. Aunado a esta sobreexplotación, se tienen los en la calidad del agua subterránea resultado de las diversas actividades desarrolladas por el hombre como el uso de fertilizantes y pesticidas, la disposición que se hace de las aguas residuales urbanas, y la presencia de más de 8 años de sequía, entre otros.

En su situación actual, la cuenca del río Sonora, cuenta con dos aprovechamientos superficiales: la presa Abelardo Rodríguez y la presa Rodolfo Félix Valdés “El Molinito”. En cuanto a los aprovechamientos subterráneos, la principal fuente es el acuífero Mesa del Seri-La Victoria con algunas aportaciones de Pesquería. En términos de la calidad del agua en el acuífero, se reportó que es agua bicarbonatada sódica y cálcica, lo que da un pH ligeramente alcalino, con un agua dura (Minjarez et al., 2005). Asimismo, se reportaron concentraciones altas de Boro (B), Calcio (Ca), Sodio (Na), Potasio (K), Magnesio (Mg), sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos en diferentes partes del acuífero. Así como altos niveles de conductividad eléctrica (CE) y presencia importante de metales pesados como Cadmio (Cd), Talio (Tl) y Selenio (Se).

Por otro lado, la demanda de agua potable y, en consecuencia, la generación de aguas residuales, en la ciudad de Hermosillo ha crecido considerablemente en la última década debido al incremento poblacional, el cual pasó de 569,579 habitantes en 1995 a 651,450 habitantes en 1999 (13%) (CONAPO, 2000).

El volumen de aguas residuales generado (2,250 L/s) por la ciudad de Hermosillo se usa para el enfriamiento de sistemas de generación de energía eléctrica y zonas recreativas con un 16% y el restante 84% por 3 ejidos (La Llesca, La Manga y Villa de Seri) con actividad ganadera y siembra de forrajes.

El aumento en la población ha generado variaciones en el consumo de agua de Hermosillo, donde en 1995 se tenía un abastecimiento equivalente a 462 L/h/d y en 1999 disminuyó a 327 L/h/d, lo que significó una reducción del 30%.

Considerando requerimientos futuros, Pineda (2001) estimó una demanda de agua de 94 Mm<sup>3</sup> para el 2010 y de 108 Mm<sup>3</sup> para 2020 con base en un abastecimiento por habitante de 325 L/d y proyecciones del Consejo Nacional

---

## **“Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”**

de Población (2000) de 793,000 habitantes para 2010 y 917,000 habitantes para 2020. Aunque los volúmenes de demanda pueden reducirse bajando el abastecimiento por habitante día igual a 300 L/d, esto requiere de la implementación de estrategias de ahorro y conservación de agua.

Algunas de estas prácticas deben considerar entre otros la prevención y corrección de fugas en el sistema, así como la recirculación y reúso del agua, siendo el primer paso el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la ciudad. Actualmente, se emplean las aguas residuales de la ciudad de Hermosillo sin tratamiento previo para el riego agrícola de la Unidad de Riego aguas abajo.

Dado lo anterior, es necesario que con base en un mayor conocimiento del funcionamiento hidrológico de la cuenca y de acuerdo con el marco jurídico existente se propongan nuevas opciones de manejo eficiente y eficaz del agua. Dentro de las áreas de oportunidad para incrementar la oferta de volúmenes de agua, el análisis del ciclo hidrológico de la cuenca ha reflejado cuatro áreas de interés: i) reducción de la evaporación, ii) la optimización del proceso de infiltración con la recuperación del nivel freático, iii) reúso del agua residual una vez tratada y iv) la desalinización de agua salobre o marina.

La práctica de emplear agua residual tratada o no tratada, para su reúso y recirculación como es el caso de la recarga artificial ha tenido un gran impacto en el manejo de fuentes de agua, particularmente, en zonas áridas y semi-áridas. Esto debido a que se pueden obtener beneficios directos en sectores de la salud, el medio ambiente y social al disponer de una manera apropiada las aguas residuales.

La infiltración de las aguas residuales se ha llegado a considerar como un componente principal de la recarga a los acuíferos ubicados en torno a las zonas urbanas. Sin embargo, esta práctica se ha dado como resultado del manejo que se da al agua residual (infiltración del sistema de drenaje) o bien a las aguas tratadas, llegando incluso a ser una recarga accidental por los excedentes de agua aplicada en riego agrícola.

A nivel mundial uno de los ejemplos más característicos del uso de aguas residuales sin tratar en el riego agrícola es el Distrito de Riego del Valle del Mezquital que recibe las aguas pluviales y de drenaje de la Zona Metropolitana del Valle de México desde finales del último siglo. El sistema de drenaje tiene en operación entre 20 y 40 años y su disposición ha sido al DR, colocándolo en uno de los más grandes y viejos sistemas de riego con aguas residuales y recarga artificial accidental.

Otros ejemplos de importancia se dan en León, Guanajuato en México, Suburbios de la ciudad de Lima en Perú, Wadi Dhuleil en Jordania y Hat Yai en Tailandia (Foster y Chilton, 2003). El uso de agua residual sin tratar puede presentar riegos importantes en la salud debido al contacto directo del

---

## **“Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”**

agricultor al regar y del usuario final de los productos (cultivos forrajeros, granos y hortalizas), principalmente aquellos para consumo en crudo.

En Estados Unidos y Australia, así como en Europa se tienen experiencias exitosas de recarga de acuíferos por infiltración usando aguas residuales tratadas. En parte, ello se ha logrado al considerar que los sistemas planeados de recarga usando aguas residuales deben reconocer la calidad del agua del acuífero y los compuestos asociados a la composición natural de los diferentes estratos, así como la posibilidad de contaminación originada por el hombre en la superficie del suelo y su efecto real en la calidad del agua subterránea.

La determinación del efecto de la recarga de aguas residuales tratadas en el acuífero estará en función de variables como la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, la calidad original del agua subterránea y su uso potencial, así como al origen del agua residual, la presencia de contaminantes persistentes y el nivel de tratamiento y grado de dilución; sin olvidar el tipo de recarga empleada y el flujo de infiltración en relación a tasas normales dentro del acuífero.

Aunque la tecnología hoy día permite reducir los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas al usar aguas residuales tratadas, estas últimas por lo general presentan concentraciones elevadas de contaminantes, limitando la capacidad de tratamiento del suelo durante la recarga por infiltración. Los principales problemas se asocian al contenido de nitrógeno, como nitratos y nitrógeno amoniacal, y al contenido de carbón orgánico disuelto como precursor de trihalometanos e indicador de otras sustancias tóxicas (Foster et al., 2002).

Si bien la mezcla con el agua subterránea puede proporcionar una mejora en la calidad del agua recargada, también puede generar un daño considerable a la calidad del agua en el acuífero. Otros riesgos asociados a los contaminantes son la colmatación de los poros del suelo o de los pozos de inyección por sedimentación de la materia suspendida, crecimiento biológico y precipitación de minerales.

Aunque la colmatación en la recarga por infiltración es un problema constante este se puede solventar de manera eficiente; sin embargo, cuando se presenta en pozos de inyección, se convierte en uno de los principales argumentos en contra de la recarga pues supone que el agua debe cumplir con una calidad óptima lo que implica un tratamiento avanzado. Por ello se deben establecer claramente los riesgos y beneficios de una recarga artificial usando aguas residuales tratadas, más aún si el acuífero es usado como fuente de agua potable.

---

## **“Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”**

### **Objetivo general**

Establecer mejoras en la gestión integral del agua de la Cuenca del Río Sonora, para lograr un manejo sustentable del agua considerando varios factores o variables que están íntimamente ligadas entre sí, como: agua superficial y subterránea en cantidad y calidad, los diferentes usos del agua (potable, doméstico, pecuario, agrícola e industrial entre otros), infraestructura hidráulica (existente y futura), población (actual y futura), medio ambiente, etc.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar un modelo matemático integral que incorpore al agua superficial y subterránea como una sola.
- Determinar el potencial de reúso del agua residual tratada y en base a ello asignar su uso de manera eficiente y eficaz.
- Establecer alternativas para la recarga artificial de agua pluvial y de agua residual tratada, así como la determinación del impacto ambiental, social, político y económico esperado en la cuenca y en la región.
- Desarrollar un modelo matemático de simulación del efecto que los proyectos de recarga artificial pudieran ocasionar al sistema. Este modelo de simulación estará dentro del modelo matemático integral.
- Definir sitios y opciones para la recarga artificial, así como realizar un planteamiento de recarga artificial, para agua pluvial y para agua residual tratada, que optimice el sistema.
- Dado que el agua residual de la ciudad de Hermosillo será tratada y recargada a un acuífero, se deberá considerar los derechos de uso de agua residual creados por zonas de riego aguas abajo, previniendo con ello conflictos legales, sociales, políticos y económicos.
- Optimizar las condiciones de aprovechamiento de agua en la cuenca, a través del desarrollo de un modelo matemático integral que incorpore al agua superficial y subterránea como una sola.
- Determinar el potencial de recarga artificial, usando agua pluvial o agua residual tratada. Se analizará la vulnerabilidad del acuífero y sus características geohidrológicas para determinar el tipo de recarga y la calidad del agua a ser recargada.
- Determinar los volúmenes de agua requeridos aguas abajo de la Ciudad de Hermosillo, analizando las ventajas de usar agua residual tratada como recarga artificial indirecta.

### **Impacto Socioeconómico**

El proyecto contribuirá a reducir la escasez en el suministro de agua potable y dará seguridad al mismo. Igualmente fomentará un uso estratégico de los

---

## “Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”

acuíferos con una reducción de la sobreexplotación, lo cual facilitará el acceso al agua y consecuentemente mejorará el nivel de vida de los habitantes.

Las propuestas ofrecerán al sector público – urbano e industrial de la Ciudad de Hermosillo, volúmenes adicionales de agua. El incremento de la oferta atenuará la actual restricción que la escasez de agua significa al crecimiento productivo, al desarrollo socioeconómico y por ende, a la derrama económica regional.

### Productos esperados

1. Establecimiento del estado actual del conocimiento científico - tecnológico de la calidad del agua y las tendencias tecnológicas para el reúso de aguas residuales tratadas en recarga de acuíferos.
  - Síntesis del acervo de investigación científica local, dedicada al estudio del reúso y de la recarga artificial de acuíferos, así como otras soluciones para la optimización del aprovechamiento hídrico de la cuenca.
  - Potencial de la recarga artificial de acuíferos en la Cuenca del Río Sonora. Marco de referencia, hidrología, aprovechamiento hídrico, calidad del agua y balance hídrico integral.
2. Revisión de la normatividad mexicana e internacional vigente para recarga artificial de aguas residuales.
  - Síntesis de las experiencias de recarga artificial en el ámbito nacional e internacional, con un análisis de similitudes y aplicación práctica de resultados en el ámbito local.
  - Revisión del papel de la recarga artificial ante los avances existentes en gestión hídrica: decretos de veda, registro público de derechos de agua, aplicación de la ley, sobreconcesión, porcentaje de aguas tratadas, entre otros.
3. Modelo matemático integral que incorpore al agua superficial y subterránea como una sola, para optimizar las políticas de operación del sistema (política de operación para las presas y descargas de las mismas) y capaz de representar la interacción de los escurrimientos superficiales con el acuífero, los niveles piezométricos y establecer acciones para mejorar la oferta sustentable de agua.
  - Modelo conceptual de manejo de la oferta y la demanda, efecto de la recarga artificial en la oferta de agua de la cuenca, esquemas de optimización del manejo integral del agua en la cuenca.

---

## “Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”

- Modelo matemático para evaluación integral de la cuenca. Incluye modelos matemáticos para evaluación hidrológica superficial ligada al modelo de simulación de flujo subterráneo, así como modelos de recarga artificial.
4. Conceptuación de dos anteproyectos de recarga artificial, uno para agua pluvial y otro para agua residual tratada, analizando sus requerimientos, condiciones de operación, conveniencia hidrológica e impactos al medio ambiente.
    - Piezometría, sondeos eléctricos verticales, calas, caracterización hidráulica de parámetros de los acuíferos por recargar, pruebas de infiltración, calidad del agua. Funcionamiento esperado del proyecto y modelaciones matemáticas específicas y de impacto en los distintos órdenes geográficos y ambientales de manejo del agua dentro de la cuenca. Planos de anteproyecto y recomendaciones a la norma de recarga.
  5. Análisis del impacto social (agricultores u otros usuarios) hacia la reutilización planeada del agua residual.
    - Efecto del uso de aguas tratadas y recargadas en sustitución de aguas crudas empleadas para riego.
    - Efecto del mejoramiento de una fuente alterna de abastecimiento para la agricultura durante sequías.
  6. Seminario donde se conjunten las experiencias adquiridas en torno al manejo integral del agua considerando la recarga artificial como principal componente.
  7. Informes parciales y final que presentarán el siguiente índice:
    01. Análisis e integración de información existente
    02. Introducción
    03. Marco de referencia
    04. Hidrología superficial
    05. Hidrología subterránea
    06. Balance hídrico integral (oferta)
    07. Calidad del agua, disponibilidad y perspectivas
    08. Usos del agua y proyección de la demanda
    09. Modelo conceptual de manejo de la oferta y la demanda
    10. Modelo matemático para evaluación integral de la cuenca
    11. Alternativas de manejo de la cuenca
    12. Análisis de sequías
    13. Plan de contingencia contra sequías
    14. Anteproyectos de recarga artificial

---

## **“Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua”**

15. Conclusiones y recomendaciones
  16. Bibliografía
8. Incluir Anexos: mapas, croquis, fotografías de las localidades involucradas. Documento de la logística seguida en el estudio, fotografías y video grabaciones de las diferente etapas de la realización del estudio.

### **Tiempo requerido para obtención de resultados**

El horizonte de ejecución de los proyectos no deberá exceder de 18 (dieciocho) meses contados a partir de la fecha de la primera ministración de recursos; 3 etapas de 6 meses cada una.

### **Especificaciones obligatorias**

Se considera indispensable atender todas las características y especificaciones técnicas señaladas en las presentes demandas, para que la propuesta sea examinada. La ausencia o insuficiencia de información sobre cualquiera de las características indicadas es motivo de la no aceptación de la propuesta.

### **Solicitantes y Usuarios de la Información**

CNA: Subdirección General Técnica; Gerencia de Ingeniería y Normas Técnicas, Gerente: Ing. Mario López Pérez. Tel. (01-55) 51-74-40-00 Ext. 1624 y 1625, Correo electrónico: [mario.lopezperez@cna.gob.mx](mailto:mario.lopezperez@cna.gob.mx)