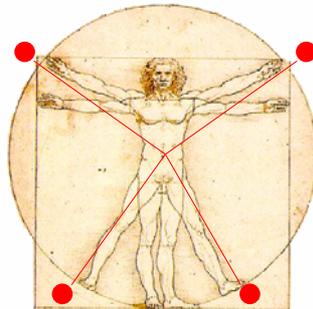


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN V. AÑO 2007

SEPARATA



LOS HUMEDALES. DETECCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y
POSIBILIDADES DE REGENERACIÓN HÍDRICA MEDIANTE LA GESTIÓN
DE LA RECARGA ARTIFICIAL.
EL EJEMPLO DE LA LAGUNA DE LA IGLESIA,
VILLAGONZALO DE COCA (SEGOVIA).

A. Enrique Fernández Escalante



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: A. Enrique Fernández Escalante.
Enero, 2007.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC07_001.pdf

© De la edición: Revista Tecnológí@ y desarrollo.
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Julio Merino García, tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnológí@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.V. 2007.

LOS HUMEDALES. DETECCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y POSIBILIDADES DE REGENERACIÓN HÍDRICA MEDIANTE LA GESTIÓN DE LA RECARGA ARTIFICIAL. EL EJEMPLO DE LA LAGUNA DE LA IGLESIA, VILLAGONZALO DE COCA (SEGOVIA)

A. Enrique Fernández Escalante⁽¹⁾

(1) Dr. CC. Geológicas. TRAGSATEC. Julian Camarillo 6ºA. 28037 Madrid. Tf: 91 3226106. Fax: 91 3226005. Email: efe@tragsatec.es

RESUMEN: En este artículo se lleva a cabo un estudio del estado de la cuestión de las zonas húmedas y se identifican y analizan los impactos concurrentes en distintos horizontes temporales y ámbitos espaciales. El objetivo es determinar la idoneidad de aplicar actividades genéricas de gestión de recarga artificial de acuíferos (MAR) para la restauración hidráulica, y por ende, ecológica y medioambiental de estas unidades ambientales. El ejemplo adoptado para el desarrollo del estudio se basa en la regeneración hídrica de la Laguna de la Iglesia de Villagonzalo de Coca (Segovia). Para ello se ha estudiado el quimismo lagunar y sus variaciones, e iniciado un estudio similar para las condiciones ecológicas.

PALABRAS CLAVE: Recarga artificial de acuíferos, MAR, regeneración hídrica, impacto ambiental, humedales, laguna de la Iglesia, Coca, Segovia.

ABSTRACT: In this article a study of the state of art in wetlands is carried out and also are identified and analyzed different environmental impacts in different temporary horizons and spatial zones. The aim is to determine the suitability to apply generic activities of hydric restoration by means of artificial recharge of aquifers (MAR), and therefore, ecologic status of these environmental units. The example chosen to develop the study has been “La Iglesia” Lagoon at Villagonzalo de Coca (Segovia). For it, it has been studied the chemical composition of lagoon’s water and its variations. Also a similar study for ecological conditions has been begun.

KEY-WORDS: Artificial recharge of aquifers, MAR, hydric restoration, evaluation of environmental impact, wetlands, La Iglesia lagoon, Coca, Segovia.

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Objetivos, 3. Materiales y métodos, 4. Estado de la cuestión, 5. Ingeniería ambiental. Identificación y chequeo de impactos, 6. Resultados e interpretación de las labores de regeneración hídrica, 7. Conclusiones, 8. Agradecimientos, 9. Bibliografía.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC07_001.pdf

1. Introducción

La regeneración hídrica de humedales no es una técnica de reciente aplicación en España. Por citar un ejemplo, desde finales de los años 80, se han llevado a cabo actuaciones de restauración hidráulica en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel con el agua extraída de una batería de sondeos perimetrales a las Tablas.

El empleo de dispositivos de recarga artificial para este fin sí representa una técnica más novedosa en España, aunque hay ejemplos bien documentados de este tipo de actuaciones en otras partes del mundo, como Australia o Alemania.

En España existe una sensibilización alta en el tema, si bien, el hecho de derivar caudales para fines ecológicos en un país donde el recurso agua está sobradamente contestado, ha suscitado una polémica importante de nuevo entre el binomio desarrollo sostenible/económico.

A este respecto cabe citar que en el programa electoral de las elecciones municipales de 2002, la actual corporación municipal del municipio de Coca (Segovia) propuso la recuperación de los humedales de Villagonzalo de Coca mediante el vertido directo de aguas del río Voltoya, derivando para ello una tubería del caz principal hasta la laguna de las Eras. Aunque esta idea, técnicamente, dejaba bastante que desear por la gran diferencia cualitativa que se generaría entre las aguas resultantes y las nativas (salvo que se aplicaran las técnicas pertinentes), demostró que un sector de la población se había comenzado a preocupar por la recuperación de zonas húmedas, en cierta confrontación con la mentalidad e intereses de los regantes de la zona.

En el año 2005 se terminó el primer dispositivo para la regeneración hídrica de la Laguna de la Iglesia. Las labores de regeneración hídrica comenzaron con el cuarto ciclo de recarga artificial (AR) de la Cubeta de Santiuste. Entre noviembre de 2005 y mayo de 2006 el humedal recibió el vertido directo de 11.600 m³ de agua del dispositivo de recarga artificial de acuíferos (en adelante AR), lo que representa el 0,13 % del volumen total extraído del río Voltoya. De este modo, se ha podido obtener información de importancia sobre la evolución del quimismo y de las condiciones ecológicas en este humedal “piloto”. Asimismo, la puerta para el inicio de actuaciones de restauración de humedales mediante técnicas de AR ha quedado abierta, si bien precisa un nuevo “empujón” económico, político, social y técnico para esta pretensión se extienda por un mayor número de humedales.

El proyecto de investigación que ha conducido a la elaboración de este artículo ha sido financiado, parcialmente, por el proyecto de I+D+i del Grupo Tragsa 00/13.223.

2. Objetivos

Este artículo pretende cubrir dos objetivos bien diferenciados pero intensamente relacionados: por un lado, la identificación de impactos ambientales que operan en los humedales, y especialmente, en aquellos sometidos a operaciones de recarga artificial de acuíferos o en vías de aplicación. Por otro lado, se lleva a cabo un análisis de cómo ha influido en un humedal tipo la gestión de la recarga de acuíferos, adoptando para ello el ejemplo de la Laguna de la Iglesia en Coca (Segovia). Este humedal ha comenzado a recibir aportes de agua en el otoño de 2005 procedentes del dispositivo de recarga artificial de acuíferos de la Cubeta de Santiuste, lo que ha requerido la ejecución de unas obras específicas. Las variaciones en el quimismo de las aguas han motivado una respuesta ecológica del medio, que se pretende analizar.

Como etapa previa se lleva a cabo un análisis del “estado de la cuestión” en cuanto al marco legal que regula la actividad, su relación con el “Plan estratégico” vigente y las posibilidades de llevar a cabo esta técnica en otros humedales o elementos clave desde un punto de vista medioambiental.

De modo complementario, se han elaborado unos “listados de chequeo” (carentes de carácter matricial) para la ayuda a la identificación de impactos ambientales en escenarios análogos, como etapa previa y criterio de ayuda para la elaboración de Estudios de impacto ambiental (EsIA), especialmente para la fase de evaluación (EIA).

3. Materiales y métodos

Los métodos seguidos se adaptan con rigor a las disposiciones establecidas en la legislación española y europea para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EsIA), mencionadas en el artículo 2 de la Ley 6/2001 de 8 de mayo, de evaluación de impacto ambiental, que modifica el RD legislativo 1.302/1986 de EIA. Se han aplicado además otros criterios de ingeniería ambiental para elaborar los “listados de chequeo” propuestos, especialmente los relativos a la identificación de impactos ambientales, estudio de su horizonte temporal y ámbitos de intervención y actuación.

El “estado de la cuestión” ha sido redactado a partir de la consulta y lectura de documentación específica. Gran parte deriva de los objetivos desarrollados en la tesis del autor.

El seguimiento del estado del humedal se ha realizado mediante el estudio de fotos aéreas seriadas y ortoimágenes a color, empleando para ello una herramienta GIS.

La creación de los listados de impactos ha requerido el empleo de varias escalas de estudio, visitas guiadas y encuestas a la población local. Para ello se han chequeado las matrices específicas de tipo Leopold encontradas en distintas fuentes bibliográficas (Gómez Orea, 1999) y fichas de control (Fdez. Escalante y Cordero, 2002; Fdez. Escalante y García, 2004a).

El muestreo de aguas se ha llevado a cabo siguiendo los protocolos específicos, y han sido analizadas en laboratorio homologado.

La evolución del ecosistema asociado al humedal, inicialmente con un valor ecológico bastante pobre, se basa en datos ecológicos tomados durante la realización de la tesis del autor y los tomados entre los meses de enero y mayo de 2006.

4. Estado de la cuestión

La detección e identificación de los impactos ambientales constituye el primer objetivo a cubrir dentro del epígrafe de ingeniería ambiental. Para ello se ha creado un soporte basado en el estudio de la legalidad, soporte para la toma de decisiones acerca de si un humedal puede ser regenerado mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos.

4.1. Las zonas húmedas. Marco legal

El análisis de la legislación realizado (Fdez. Escalante y García, 2004b; Fdez. Escalante, 2005) presenta ciertas disposiciones que encaran la problemática de los humedales de manera específica, como son:

La Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, presenta como objetivos Art. 2: «a) Alcanzar el buen estado del dominio público hidráulico, y en particular de las masas de agua; (...) d) reequilibrar las disponibilidades del recurso, protegiendo su

calidad y economizando sus usos, en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.”

Asimismo, en el Art. 31 se especifica: “1) el Ministerio de Medio Ambiente, en coordinación con las Comunidades Autónomas, establecerá un sistema de investigación y control para determinar los requerimientos hídricos necesarios que garanticen la conservación de los humedales existentes que estén inventariados en las cuencas intercomunitarias; 2) asimismo, el Ministerio de Medio Ambiente y las Comunidades Autónomas promoverán la recuperación de humedales, regenerando sus ecosistemas y asegurando su pervivencia futura.”

El Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, que aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, en el Capítulo V (De las zonas húmedas) del Título V (De la protección del dominio público hidráulico y de la calidad de las aguas continentales), se especifican el concepto y características de los humedales (Art. 111).

El texto de ambas disposiciones constituye una plataforma política actualizada para abordar la recuperación de las masas de agua degradadas.

Dentro de las disposiciones adicionales aplicables en las facetas política y social, cabe destacar las siguientes:

- Convenio de Ramsar relativo a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (en Secr. Ramsar, 1996, en Medwet y Ramsar, 1998).
- Convenio sobre diversidad biológica.
- Estrategia Paneuropea para la diversidad biológica y paisajística.
- Directivas europeas de aves y hábitats: Red Natura 2000.
- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre Uso prudente y conservación de los humedales.
- Propuesta de Directiva del Consejo Europeo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de Aguas.
- Comunicación al Consejo y al Parlamento Europeo sobre una Estrategia de biodiversidad de la Comunidad Europea.
- Protocolo sobre zonas especialmente protegidas y la diversidad biológica en el Mediterráneo.

- Resolución de Barcelona para el Medio Ambiente y el desarrollo sostenible en la cuenca mediterránea.
- Declaración de Venecia (MedWet, 1998).
- Estrategia sobre humedales mediterráneos o Estrategia de Venecia.
- Ley 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres.
- Ley 29/1985 de Aguas.
- Ley 22/1988 de Costas.
- Estrategia española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica (MIMAM, 1999).
- Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 2000b).

4.2. El plan estratégico español para la conservación y uso racional de los humedales

Una de las principales disposiciones de carácter práctico aplicable a la zona de estudio y que merece un tratamiento especial es el “Plan Estratégico.” Algunos de sus fines más destacables son (DGCONA, 1999):

- Garantizar la conservación y uso racional de los humedales, incluyendo la restauración o rehabilitación de aquellos que hayan sido destruidos o degradados.
- Integrar la conservación y el uso racional de los humedales en las políticas sectoriales, especialmente de aguas, costas, ordenación del territorio, forestal, agraria, pesquera, minera, industrial y de transportes.
- Contribuir al cumplimiento de los compromisos del Estado español con relación a los convenios, directivas, políticas y acuerdos europeos e internacionales relacionados con los humedales, así como a la aplicación de la Estrategia española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica y de la Estrategia de humedales mediterráneos (DGCONA, 1999; Skinne & Zalewski, 1995).
- El principio de precaución debe prevalecer en el proceso de toma de decisiones sobre actividades susceptibles de causar algún impacto sobre un humedal.
- Es imprescindible sensibilizar a la sociedad sobre la necesidad de la conservación de los humedales, informando y divulgando los valores y riqueza de los mismos.

En este contexto cabe destacar la obligatoriedad de actualización del catálogo (Alonso et al, 1996).

Actualmente la Dirección General de Conservación de la Naturaleza se encuentra en desarrollo del trabajo "Base de Datos sobre los Humedales Españoles", en cumplimiento del mandato legal reseñado en el Art. 25 de la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, y de las indicaciones al respecto de la necesidad de inventario de humedales contenidas en el Plan Estratégico, aprobado por la Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza el 19 de octubre de 1999 (objetivo operativo 1.1.). Se trata de un trabajo que se está realizando en colaboración con las Comunidades Autónomas, en el marco del Comité de Humedales (Bernúes, 2001; DGCONA, 1999).

4.3. Expectativas de la recarga artificial. Aplicación a las zonas húmedas

La intensa explotación a la que se han visto sometidas algunas zonas del acuífero de Los Arenales ha originado una notable disminución de los niveles freáticos y una reacción por parte del gobierno español, realizando actuaciones de recarga artificial superficial de acuíferos para minimizar las alteraciones medioambientales.

Las labores de recarga artificial en el acuífero superficial de la Cubeta de Santiuste (declarada obra de interés general), promovidas por la Secretaría General de Desarrollo Rural del MAPA, responden a las siguientes razones:

- Demanda agrícola muy alta con respecto a los recursos renovables del acuífero.
- Presión por parte de los colectivos de riego de una zona con escaso desarrollo industrial e indicios de despoblación a comienzos de los años 90.
- Mejor gestión de los recursos, al utilizarse el acuífero superficial como embalse subterráneo y como sistema de distribución.
- Mayor aceptación entre los agricultores de la zona, ya que permitiría la amortización de las inversiones de las obras de captación efectuadas.
- Medida para paliar el deterioro de la calidad química de las aguas superficiales por mezcla con aguas del acuífero profundo y contaminación de origen antrópico, en general nitrata.
- Menor coste económico y mayor aceptación social que la alternativa de explotación del acuífero profundo.

- Pertinencia política y socioeconómica de la actuación.

Las expectativas derivadas de la recarga artificial superficial se consideran beneficiosas en casi todos los aspectos a medio plazo, si bien es previsible que algunos lo sean a largo plazo, como es la calidad de las aguas subterráneas (Fdez. Escalante y López, 2002).

Algunos de los objetivos previstos se centran en reducir e incluso eliminar el descenso del nivel del agua producido por bombeo, que en la Cubeta de Santiuste ha alcanzado valores preocupantes, obligando a los agricultores a reprofundizar sus captaciones con el coste adicional que ello conlleva, o incluso abandonarlas.

Al mismo tiempo, la cubeta se perfila como un embalse regulador y almacén de las aguas subterráneas, permitiendo por un lado disminuir las pérdidas de agua por evaporación, y por otro lado, otorgando a los regantes una cierta independencia con respecto a las intermitencias del ciclo hidrológico, una favorable repartición temporal de las demandas y regulación de los recursos hídricos, gestionados por la comunidad de regantes constituida a tal efecto.

El volumen de agua almacenado en la Cubeta (cerca de 24 hm³) resultaría insuficiente para cubrir las necesidades de riego en un período de sequía, como los ocurridos en la zona a comienzos de la década de 1980. La sequía es además un proceso cíclico de recurrencia relativamente baja. De ahí la necesidad de plantear alternativas adicionales de cara al futuro.

Otra expectativa es la utilización del acuífero como *red de distribución*, lo que permite evitar la construcción o instalación de conducciones de agua innecesarias y costosas (se ha constatado en campo que los trazados de tuberías en épocas de riego en el área de Villagonzalo de Coca llegan a sobrepasar los 2 km de longitud). Las diferentes derivaciones o conducciones de agua realizadas en la Cubeta de Santiuste provocan una notable disminución de la recarga natural del acuífero. La solución a este impacto se ha apoyado en paliar este déficit mediante la recarga artificial del acuífero con excedentes hídricos del río Voltoya.

Esta red contaría además con mínimas pérdidas atribuibles al efecto antrópico, como encauzamientos, derivaciones de agua, construcción de obras civiles etc.

A este panorama cabe añadir que con la recarga artificial se pretende *mejorar la calidad de las aguas*, de modo que las aguas de inferior calidad y con vectores contaminantes

existentes en el acuífero encuentren un impedimento físico en su desplazamiento hacia el “área de llamada” de captaciones de buena calidad.

También se pretende evacuar y depurar aguas residuales urbanas aprovechando la capacidad de autodepuración del terreno para la mejora cualitativa de los efluentes y su uso posterior para regadío. Para ello se ha construido una depuradora por lagunaje para el tratamiento de los efluentes y la recarga artificial con aguas depuradas, en aras del beneficio del sistema de AR y del acuífero.

Entre los objetivos medioambientales inicialmente establecidos no se contemplaba la restauración de parte de las zonas húmedas del complejo Coca-Olmedo aprovechando excedentes hídricos, ya que actualmente existen zonas cultivadas donde antiguamente había humedales.

Esta idea había sido apuntada con anterioridad en varios foros (MAPA, 1999, Galán et al, 2001a; Fdez. Escalante y López, 2002; Fdez. Escalante y García, 2004).

La presión política ha dado inicio a la actividad que, previsiblemente tendrá continuidad a corto plazo al menos en la laguna de las Eras, distante poco más de 1 km de la Laguna de la Iglesia.

La idea se está llevando a cabo en otros lugares del mundo. A este respecto cabe destacar el proyecto “Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge (AGRAR)”, iniciado por el “British Department for International Development” (DFID) y dirigido por el “British Geological Survey” (BGS) en colaboración con otros organismos, desarrollado entre julio de 2002 a julio de 2005 (Gale, 2002).

En el proyecto se plantea la necesidad de mantener un nivel de información adecuado a los gobiernos, donantes y ONGs para que estén informados del rol de la AR en el abastecimiento urbano en áreas rurales y en la gestión hídrica en general, lugar donde tendría cabida el empleo de recursos para cubrir objetivos medioambientales de recuperación o regeneración de zonas húmedas degradadas.

Algunos de los criterios que deben alcanzarse en la recuperación de los espacios degradados estarán basados en buscar la coherencia ecológica, paisajística, territorial, social e institucional (Gómez Orea, 1999):

- Ecológica con el clima, ecosistemas, hábitats y biocenosis.

- Paisajística en sus dimensiones: Visual (formas, materiales, colores, volumen), olfativa y sonora.
- Territorial al considerar que la actividad es una pieza coherente en el entramado de usos del suelo.
- Social e institucional, en cuanto a la atención a necesidades, exigencias, aspiraciones y expectativas de la población, partícipes directos en la gestión.



Figura 1. Fotografía aérea de Villagonzalo de Coca (Segovia), remarcando el cuenco de la laguna de la Iglesia (nº 56) y otros humedales adyacentes inventariados en un estado de conservación deficiente (en Fdez. Escalante, 2005). Al oeste del casco urbano se encuentra la Laguna de las Eras. En la margen este se ha dibujado sobrepuesto el trazado del dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste. La fotografía aérea es del año 2001.



Figura 2. Laguna de las Eras (izquierda). Agosto de 2004.

Figura. 3. Laguna de la Iglesia (derecha). Agosto de 2004.



Figura. 4. Laguna de la Iglesia. Febrero de 2006 (izquierda).



Figura. 5. Laguna de la Iglesia. Mayo de 2006 (derecha).

5. Ingeniería ambiental. Identificación y chequeo de impactos

5.1. Identificación de impactos ambientales en los humedales

Durante el inventario de humedales del Complejo de Coca-Olmedo llevado a cabo entre 1999 y 2004 por el autor (en Fdez. Escalante, 2005) se han diferenciado varias

tipologías de afección, de muy diversa escala y magnitud, aunque en general son de carácter local.

Las siguientes fotografías pretenden ilustrar algunos de los impactos identificados, de carácter específico, cuya valoración ha conducido a la elaboración de unos listados de chequeo para identificar impactos, de carácter genérico. Este listado se presenta en el apartado siguiente.

Entre los impactos más relevantes detectados en la zona de estudio cabe destacar el descenso del nivel del agua como consecuencia del regadío (de gran intensidad y escala), el drenaje de humedales para su desecación, usos del suelo indebidos, como es el caso de un tendido eléctrico atravesando el cuenco del humedal en la laguna de Caballo Alba de Villeguillo (figura 6), intento de cultivo en zonas de alta salinidad (figura 10), perforación de sondeos en la franja perimetral de humedales (figura 11), contaminación de las aguas, en general nítrica (figura 12), usos indebidos (vertidos de estiércol, escombros, etc.) (figuras 14 y 15).



Figura 6. Laguna de Caballo Alba, en Villeguillo (nº 40). Humedal ameboide cuya orientación está condicionada por la tectónica. Corresponde al Espacio protegido SG- con presencia de eflorescencias e impactos antrópicos diversos.

Figura 7. Regadío en la zona adyacente al caz de recarga artificial.



Figs. 8 y 9. Bodón tipo en la zona de estudio. Obsérvese el sistema bodón-montículo, las eflorescencias en el montículo y la abundancia de vegetación hidrófila, halófila y nitrófila en orlas perimetrales y su drenaje artificial en un intento de desecación. También se aprecia el canal antrópico de drenaje. Se trata del Bodón de la Hiruela, en Santiuste de San Juan Bautista, localizado a escasos metros del contacto entre las arenas eólicas cuaternarias y las facies Cuestas. Fotografías de 9 de julio de 2002 (seco) y 7 de agosto de 2003, con lámina de agua.



Figura 10. Presencia de salgueros y eflorescencias salinas en las inmediaciones de la laguna de las Eras (nº 2), en el TM de Aguasal. Estas zonas son labradas por los agricultores con la intención de cultivarlas, si bien, dada su alta salinidad, no resultan productivas y se vuelven a generar tras un período de tiempo.

Figura 11. Sondeos en las inmediaciones de la laguna de Aguasal. La perforación fue realizada en la franja perilagunar. Complejo de humedales de Coca-Olmedo. En otros casos se detectan perforaciones en el cuenco desecado.



Figura 12. Alícuota tomada en el bodón de la Hiruela con alta concentración en nitratos.

Figura 13. Drenaje de la laguna de la Iglesia.



Figura 14. Uso indebido. Vertido de estiércol en el cuenco de un humedal desecado en Coca.

Figura 15. Vertido de escombros en el cuenco de un humedal desecado en Llano de Olmedo.

5.2. Identificación de impactos ambientales en los sistemas de recarga artificial superficiales

Las principales ventajas e inconvenientes, obtenidos de distintas experiencias de sistemas de recarga superficiales, pueden ser consideradas específicas para cada situación. No obstante hay algunos genéricos, entre los que subrayamos los siguientes:

- Precio y disponibilidad del terreno. Dependiendo de la disponibilidad de terreno puede resultar muy difícil, incluso imposible establecer estos sistemas en una zona poblada o muy cultivada, por no disponer de espacio o por la carestía del suelo. Estas operaciones precisan en general terrenos rústicos y baratos (ITGE, 1991).
- Factores estéticos y ambientales. Las instalaciones requieren de estructuras adicionales, como pueden ser los cercados y vallas de protección y seguridad, caminos de servicio, pasos elevados, etc. Su ubicación en terrenos rurales conlleva la necesidad de espacio suficiente para el tránsito de tractores, cubas, cosechadoras, etc., y evitar el “efecto barrera” de las estructuras de recarga, tubería de conducción, etc. (MAPA, 2000). En determinadas situaciones pueden además presentar problemas de proliferación de insectos y roedores (ITGE, 1991).



Figura 16. Aspecto de la cabecera del dispositivo y del camino de servicio del caz de recarga artificial.



Figura 17. Ejemplo de impactos inherentes a la construcción de la estructura de recarga artificial. Removilización del terreno, tránsito de maquinaria pesada, introducción de elementos extraños, polvo, ruido, afección a la vegetación, etc.

- Impactos inherentes a la construcción de instalaciones. Puede ser preciso realizar expropiaciones previas, acondicionar el terreno, realizar nivelaciones, desmontes y terraplenes, compactación de tierras, retirar coberturas poco permeables o arcillosas superficiales, retirar vegetación. A estos hay que añadir impactos derivados del transporte de materiales, movimiento de maquinaria pesada, acopio de materiales, vertido de desechos, bien sean temporales (incluidos los ruidos, polvo atmosférico y gases por combustión de maquinaria en los movimientos de tierra), o permanentes (MAPA, 2000).
- Impactos inherentes a la presencia de las instalaciones: La estructura de recarga artificial introduce una serie de “elementos extraños” en el medio, como pueden ser los siguientes: dispositivos de disipación de energía para evitar el efecto del golpe de ariete, estructuras metálicas (piezas transversales y vigas de sujeción, con sus correspondientes estribos y zapatas), tuberías, desagües, válvulas de compuerta, chimeneas de aireación para facilitar la evacuación del aire, paradas y diques de hormigón armado, depósitos para el caudal de recarga, planta de pretratamiento, etc. (Figura 17). A estos hay que añadir, al menos, los siguientes materiales en forma de materias primas:
 - Hormigón.
 - Ladrillos.
 - Módulos prefabricados de hormigón de 2 x 1,5 m.
 - Tubería de fibrocemento de 1,0 m de Ø.
 - Acero corrugado para armaduras.
- Impactos inherentes a los trabajos de conservación (fase de explotación).
- Colmatación. Los problemas derivados de la colmatación son generalmente pequeños, si bien representa un tipo de residuo permanente que debe ser conducido a vertedero durante las operaciones de mantenimiento.
- Pérdidas por evaporación. En determinados casos pueden ser importantes, de ahí la recomendación de tapar las estructuras de recarga artificial, con la ventaja de conseguir una evaporación prácticamente nula (Bouwer, 2002).
- Requisitos de calidad del agua. En caso de ser preciso un pretratamiento del agua adicional al filtrado, la instalación de plantas de este tipo suponen un impacto por

ocupación del terreno y por la necesidad de tendidos eléctricos para su funcionamiento.

En cuanto a la eficiencia de los dispositivos superficiales, conviene destacar los experimentos desarrollados en Arizona para comprobar la efectividad de zanjas, balsas y pozos de inyección. Todos estos dispositivos fueron integrados en una zona de experimentación o ARF (Aquifer Recharge Facility), con 20 piezómetros de observación para el seguimiento de la piezometría y evolución del quimismo del suelo y en las aguas subterráneas. Los resultados indicaban que la mayor eficiencia fue la de los dispositivos tipo zanja o embalse, mientras que los pozos de ZNS y las balsas mostraron problemas de colmatación muy importantes en poco tiempo (Legg & Sagstad, 2002).

5.3. Listados de identificación y chequeo de impactos

Se han diseñado tres fichas de chequeo para las distintas etapas (pre, sin y postoperacional) distinguiendo los efectos que concurren en mayor medida en las zonas de intervención (ZI) y de actuación (ZA), y el signo del impacto (+ o -).

El chequeo debe ser completado en la ficha como presencia/ausencia.

Se trata de meras listas de control. Carecen del carácter matricial al no relacionar factores y procesos.

Las fichas de chequeo generadas son:

Fase preoperacional

IDENTIFICACIÓN	CHEQUEO
Presencia de humedales hidrodependientes de las aguas subterráneas (acuíferos) (ZI y ZA)	S/N
Alteraciones en las pautas hidrodinámicas de la red de drenaje superficial y láminas de agua hipogénicas (ZI y ZA).	
Regadío con aguas subterráneas (ZI y ZA).	
Incremento en los costes de extracción de aguas por descenso del nivel freático (ZA).	
Empleo de fertilizantes (ZA).	
Empleo de pesticidas (ZA).	
Empleo de purines (ZA).	
Empleo de otros compuestos orgánicos (ZA).	
Presencia de vectores orgánicos (ZI).	
Presencia de contaminación difusa (ZI y ZA).	
Incremento de la erosión del suelo (ZA).	
Erosiones de las orillas de los humedales (ZI y ZA).	
Introducción de especies animales exóticas (ZI).	
Introducción de especies vegetales exóticas (ZI).	
Presencia de cultivos alrededor (ZA).	
Prácticas agrícolas en las zonas de recarga (ZI).	
Laboreo (ZA).	
Drenajes (ZA).	
Vertido de residuos líquidos urbanos (ZA).	
Vertido de residuos sólidos urbanos (ZA).	
Vertido de residuos ganaderos (ZI y ZA).	
Existencia de EDAR (ZI). (+).	

Detección de impactos ambientales y posibilidades de regeneración hídrica
mediante la gestión de la recarga artificial... 21

Alteración de la vegetación hidrófila (ZA).	
Manifestaciones de estrés hídrico en las especies vegetales (ZA).	
Introducción de nuevas especies (cultivos o fauna) (ZI).	
Carga ganadera (ZI y ZA).	
Uso como abrevadero (ZA).	
Pastoreo (ZA).	
Excavaciones (ZA).	
Movimientos de tierras (ZA).	
Presión recreativa (ZA).	
Rellenado (ZA).	
Extracciones de agua (ZA).	
Vertido indirecto de agroquímicos (ZI y ZA).	
Vertido indirecto de pesticidas (ZI y ZA).	
Extracciones de áridos para construcción (ZA).	
Regulación hídrica (ZI y ZA). (-/+).	
Regulación de actividades (ZI y ZA). (+).	
Caza (ZA).	
Pesca (ZA).	
Fines recreativos (ZA).	
Fines medicinales (ZA).	
Monocultivos (pinares para explotación maderera y/o resinera, etc.) (ZI y ZA).	
Tensiones sociales al entrar intereses en competencia (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Sobreexplotación de las especies piscícolas (ZA).	
Intrusiones técnicas (ZA). (-/+).	
Drenaje de humedales (ZI y ZA).	
Drenaje de cursos de agua superficiales (ZI y ZA).	
Drenaje en la zona de recarga (ZI y ZA).	
Presencia de construcciones (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Edificaciones (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Carreteras (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Vías ferroviarias (ZA).	
Acequias (ZI y ZA).	
Canalizaciones (ZI y ZA).	
Canales (ZI y ZA).	
Otras conducciones (ZI y ZA).	
Extracciones de áridos en la zona de recarga (ZI y ZA).	
Actividad minera o canteras (ZI y ZA).	
Sobreexplotación de recursos (ZI y ZA).	
Presencia de procesos contaminantes (ZI y ZA).	
Contaminación química (ZA).	
Contaminación térmica (ZA).	

22. A.Enrique Fernández Escalante

Contaminación por metales pesados (ZI y ZA).	
Contaminación por lluvia ácida (ZI y ZA).	
Densidad de habitantes en la cuenca de recepción (ZA), (-/+).	
Desecación o reducción de caudales en manantiales (ZI y ZA).	
Reducción de la productividad en captaciones (ZA).	
Cambios en las relaciones aguas subterráneas / aguas superficiales (ZI y ZA), (-/+).	
Nuevas canalizaciones (ZA). (+).	
Nuevos cauces (ZI y ZA).	
Incremento de la evapotranspiración (como componente del ciclo hidrológico de una zona determinada) (ZA).	
Posibilidad de conectar estratos en acuíferos multicapa al desaturar un contacto lateral (ZA).	
Presencia de captaciones profundas con descuelgue de aguas superficiales (ZI y ZA).	
Indicios de reciclaje por retornos de riegos (ZA), (-/+).	
Indicios de recirculación (ZA).	
Eficiencia en el regadío (ZI y ZA), (+).	
Incremento de la colmatación en humedales y depresiones endorreicas (ZI y ZA).	
Presencia de sinergismos (ZI y ZA).	
Impactos indirectos (ZI y ZA).	
Impactos diferidos (ZI y ZA).	

Tabla 1. Listado de chequeo de impactos para una zona sometida a operaciones de recarga artificial con objetivos medioambientales. Fase preoperacional. División zonal asociada a cada impacto: ZA corresponde a la zona de actuación y ZI a la de intervención. Los signos del impacto son negativos, salvo especificación.

Fase sinoperacional

IDENTIFICACIÓN	CHEQUEO
Existencia de perímetro de protección. (ZA), (-/+).	
Urbanización dentro del perímetro de protección, (ZA).	
Incremento del volumen de agua almacenado en el acuífero (ZA), (+).	
Modificaciones en la calidad de las aguas del acuífero (ZA), (+/-).	
Incidencia en el medio de las estructuras de recarga (ZA), (-).	
Inundaciones puntuales por razones topográficas (ZA), (-).	
Frecuencia de inundaciones por razones meteorológicas (ZI/ZA), (-).	
Colmatación de las paredes y fondo del caz de recarga (ZA), (-).	
Compactación de los limos del lecho (ZA), (-).	
Altura de la lámina de agua (ZA), (-).	
Descenso de la permeabilidad del lecho por decantación de partículas finas (ZA), (-).	
Erosión de los taludes (ZA), (-).	
Desprendimientos/deslizamientos en taludes (ZA), (-).	
Tránsito de tractores y maquinaria agrícola (ZA), (+/-).	
Variación del régimen hídrico de la red fluvial global (ZI y ZA), (-).	
Evolución de la calidad de las aguas (ZA), (+).	
Evolución de la contaminación difusa (ZA), (+).	
De los metales pesados (ZI y ZA), (+/-).	
De la salinidad (ZA), (+).	
De la alcalinidad (ZA), (+/-).	
De los vectores contaminantes orgánicos (ZA), (+).	
Estratificación hidroquímica en la en ZNS (ZA), (-).	
Movilización de fuertes concentraciones de iones salinos de lagunas fosilizadas, lentejones, etc. (ZI y ZA), (-).	
Efecto de descuelgue a través de sondeos profundos (ZA), (-).	
Reciclaje de las aguas (ZA), (-).	
Concurrencia de fuertes precipitaciones durante las labores de recarga artificial (ZA), (-).	
Impacto ambiental generado como consecuencia de la colmatación del caz (ZA), (-).	
Afecciones indirectas a elementos ambientales (ZI y ZA), (-).	
Impactos socioeconómicos por ascenso del nivel del agua (ZA), (-/+).	
Bodegas (ZA), (-).	
Cementerios (ZA), (-).	
Pasos bajo vías de comunicación (ZA), (-).	
Vías de comunicación (ZA), (+/-).	
Impactos derivados de cambios de usos del suelo (ZA), (+/-).	
Forestaciones (ZA), (-).	
Repoblaciones (ZA), (-).	

24. A.Enrique Fernández Escalante

Tipo de vegetación (ZA), (-).	
Arbórea.	
Arbustiva.	
Herbácea.	
Perenne (-).	
Caducifolia.	
Generación de condiciones oxidantes por embalsamiento (ZA), (-).	
Generación de eutrofización por embalsamiento (ZA), (-).	
Generación de unas condiciones hídricas perturbadas (ZI y ZA), (-).	
Contratiempos técnicos y jurídicos (ZA), (-).	
Impacto en la vegetación nativa (ZA), (-).	
Afección del ascenso del nivel freático en las raíces (ZA), (-).	
Problemas de financiación (ZA), (-).	
Impactos inherentes a la construcción del caz de AR (ZA), (-).	
Expropiaciones (ZA), (+/-).	
Movimiento de tierras (ZA), (-).	
Desmontes y terraplenes (ZA), (-).	
Compactación de tierras (ZA), (-).	
Transporte de materiales (ZA), (-).	
Movimiento de maquinaria pesada (ZA), (-).	
Acopio de materiales (ZA), (-).	
Vertido de desechos (ZA), (-).	
Efecto barrera por creación de estructuras lineales con pasos elevados (ZA), (-).	
Tendido de la tubería de conducción (ZA), (-).	
Construcción del azud y del canal de recarga (ZA), (-).	
Construcción de otras obras de fábrica (ZA), (-).	
Tendido de cables eléctricos (ZA), (-).	
Residuos generados (ZA), (-).	
Temporales.	
Permanentes:	
Trabajos de conservación (fase de explotación) (ZA), (-).	
Humos.	
Ruidos.	
Polvo.	
Etc.	

Tabla 2. Listado de chequeo de impactos para una zona sometida a operaciones de recarga artificial con objetivos medioambientales. Fase sinoperacional. División zonal asociada a cada impacto: ZA es la zona de actuación, y ZI la de intervención. Signo del impacto.

Fase post-operacional

IDENTIFICACIÓN	CHEQUEO
Aprovechamiento de recursos hidráulicos excedentes (ZI), (+).	
Formación de nuevas comunidades vegetales y faunísticas en torno al azud (ZA), (-/+).	
Creación de nuevos humedales. (ZI y ZA), (+).	
Modificación del paisaje en torno al azud (ZA), (-/+).	
Recuperación de humedales en la zona de recarga. (ZI y ZA), (+).	
Rentabilización de las inversiones en instalaciones electromecánicas de los pozos de la zona (ZA), (+).	
Recuperación del nivel económico (ZI y ZA), (+).	
Estabilización de la población en las zonas rurales afectadas (ZI y ZA), (+).	
Modificación del régimen fluvial del río Voltoya (ZI y ZA), (-).	
Modificación del nivel freático del río. (ZI y ZA), (-).	
Alteración de cubierta vegetal en la zona ocupada por el azud. (ZI y ZA), (-).	
Ocupación permanente por la conducción de suelos con especies arbóreas de raíz profunda (ZA), (-/+).	
Perturbación de las comunidades faunísticas. (ZI y ZA), (-).	
Alteración de la cubierta vegetal en dispositivos (ZI y ZA), (-).	
De conducción.	
De distribución.	
De pretratamiento.	
Etc. (-).	
Problemas de colmatación de los dispositivos de recarga (ZA), (-).	
Producción de residuos de obra como consecuencia del mantenimiento (ZA), (-).	
Actividades de limpieza y mantenimiento en la vía de servicio (ZA), (-).	
Generación de residuos (ZA), (-).	
Molestias diversas (ZA), (-).	
Cortes al tráfico, etc.	
Introducción de especies exóticas (ZA), (-/?).	
Colmatación del acuífero (ZA), (-).	

Tabla 3. Listado de chequeo de impactos para una zona sometida a operaciones de recarga artificial con objetivos medioambientales. Fase postoperacional. División zonal asociada a cada impacto: ZA es la zona de actuación y ZI la de intervención. Signo del impacto (*).

6. Resultados e interpretación de las labores de regeneración hídrica

En el invierno de 2005 se ha llevado a cabo una actuación consistente en la restauración hídrica de la Laguna de la Iglesia, en Villagonzalo de Coca (Segovia) con aguas procedentes del dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste. Esta actuación, considerada pionera en algunos foros, ha sido debidamente controlada como “experiencia piloto” con objeto de estudiar la idoneidad y viabilidad de estas actuaciones.

La laguna de la Iglesia es principalmente endorreica y de carácter salino, si bien, el regadío de los terrenos adyacentes trajo su desecación. De este modo, en la última treintena, apenas ha habido agua almacenada en su cuenco tres años según las encuestas a la población local.

En 1999 hubo ocasión de medir los parámetros inestables en la laguna, observándose una conductividad cercana a 4.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un pH cercano a 8,0.

La obra realizada consiste en una derivación del caudal principal del que surge una tubería de 80 mm desde el dispositivo de recarga artificial hasta la laguna, enterrada por el margen derecho de la carretera que une Coca con Villagonzalo (figura 1).

En las figuras 4 y 5 se presenta el aspecto del dispositivo de salida del agua. Esta se hace discurrir por el sustrato salino, de modo que su escasa mineralización inicial (inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) va aumentando por contacto con las sales del suelo, de modo que en un análisis del cuenco de la Laguna realizado en febrero de 2006 se aprecia que la conductividad es ligeramente superior a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los caudales derivados ascienden a 11.600 m^3 , lo que representa un 0,13 % de los más de 5 hm^3 derivados del río Voltoya al dispositivo de recarga artificial para incrementar el almacenamiento del acuífero.

En esta etapa el humedal ha constituido un importante reservorio para la fauna, ante la desecación de la mayoría de los humedales del complejo producida como consecuencia del regadío y del carácter excepcionalmente seco de los años hidrológicos 2004/05 y 2005/06.

Los indicadores medioambientales de respuesta aplicados (Fdez. Escalante, 2006) revelan que la regeneración hídrica evoluciona en sentido favorable, tanto desde el

punto de vista hidrológico como ecológico. Se está generando su orla perimetral entre los cultivos y el cuenco del humedal y se percibe una cierta regeneración natural.

Los análisis realizados el 12 de febrero de 2006 en el agua de la cabecera del dispositivo y en el cuenco de la laguna se presentan como tabla 4.

Nº	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₃
Iglesia 06	388,27	16,87	45,31	78,58	460,52	362,40	92,13	318,30	0,00	0,00	0,17
Caz ramal	24,30	2,15	38,55	4,82	34,70	125,73	0,00	16,26	1,50	0,00	<0,04

Nº	B	P	H ₂ SiO ₃	Fe	Mn	CO ₂	C	pH	T ^a ag	T ^a air
Iglesia 06	0,23	0,26	6,82	0,01	0,00	1,12	2002,00	8,93	22,00	34,00
Caz ramal	0,00	<0,10	5,01	0,06	0,00	1,60	285,00	8,10	18,00	34,00

Tabla 4. Resultados analíticos del agua de la Laguna y del dispositivo de recarga artificial. Fecha de muestreo: 12 de febrero de 2006. Resultados en mg/l.

Estos análisis han sido representados en un hidrograma de Piper-Hill-Langelier y dos hidrogramas de Stiff, con objeto de poder estudiar sus diferencias composicionales de manera mas expresiva y su tendencia evolutiva (figuras 6 y 7).

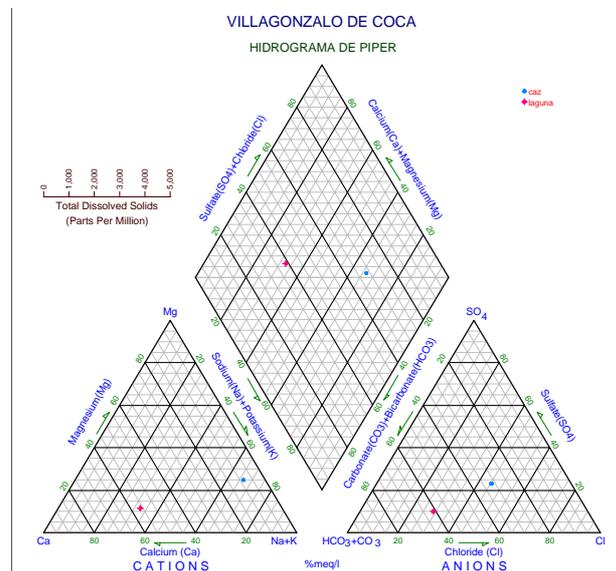


Figura 18. Hidrograma de Piper-Hill-Langelier con representación del agua de recarga artificial y la medida en el cuenco de la laguna de la Iglesia de Villagonzalo de Coca en febrero de 2006.

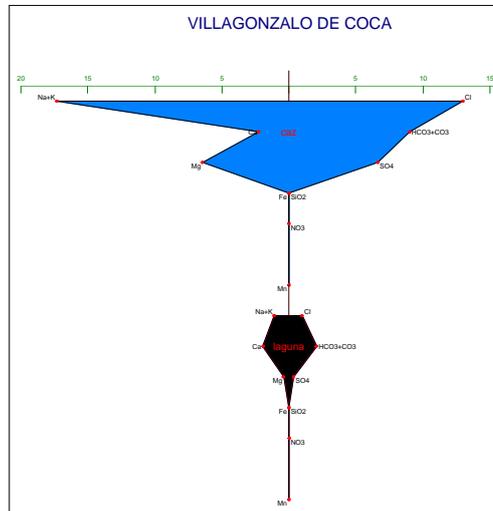
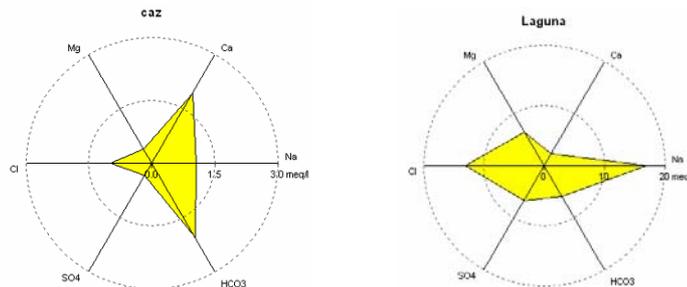


Figura 19. Hidrogramas de Stiff correspondientes al agua de recarga artificial y del cuenco de la laguna de la Iglesia de Villagonzalo de Coca en febrero de 2006.



Figuras 20. Hidrogramas radiales de las mismas alícuotas.

En general se aprecia un grado de envejecimiento “acelerado” por mineralización (las aguas se disponen en una línea que una los vértices laterales del rombo, mientras que la tendencia normal sería parabólica). Se aprecia un fuerte incremento en cloruros e iones alcalinos, así como de bicarbonatos, sulfatos y magnesio.

El análisis químico de las aguas confirma que se trata de una actuación positiva, aunque fácilmente mejorable, dado que la salinidad alcanzada alcanza apenas la mitad de la medida en 1999 (de acuerdo con las mediciones de conductividad hidráulica). Para ello es necesario incrementar el tiempo de residencia del agua en contacto con el sustrato salino natural, o bien incrementar la superficie de contacto. Con este objetivo hay un dispositivo genérico en la bibliografía de recarga artificial inducida (figura 21), cuya

construcción permitiría alcanzar la diana ambiental en cuanto a calidad de las aguas se refiere.

El previsible impacto medioambiental generado cuando las aguas salinas del humedal se infiltraran y mezclaran con las aguas dulces del acuífero es mínimo, dado que el sustrato es de escasa permeabilidad. Además existe una divisoria hidrogeológica (física) que impide el flujo subterráneo en esta dirección, si bien es previsible que este aspecto deba ser considerado en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de cualquier otra actuación futura. Para ello es preciso contar con un buen conocimiento tridimensional de la geometría del acuífero y de su funcionamiento hidrogeológico.

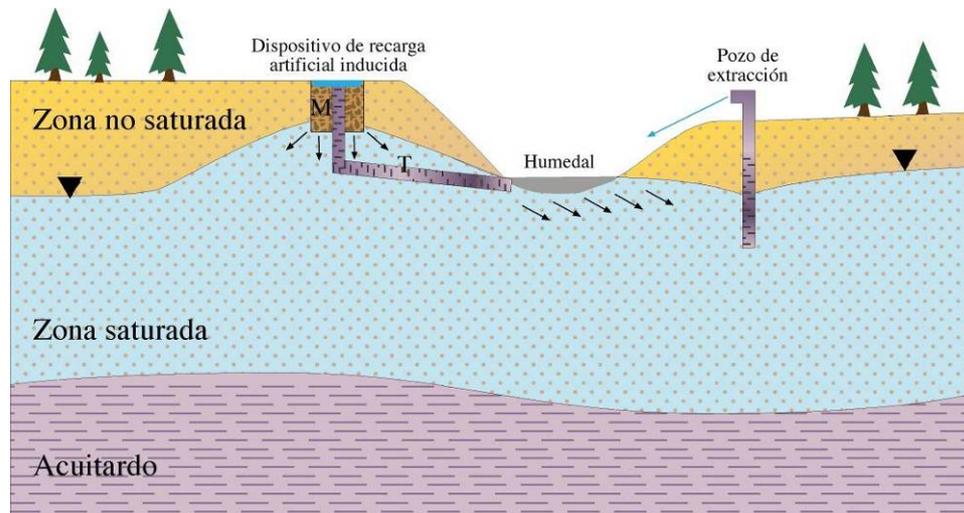


Figura 21. Diseño genérico de un dispositivo de recarga artificial inducida para aumentar la salinidad de las aguas de recarga artificial hasta alcanzar unas características similares a las aguas indígenas regulando la superficie de contacto y el tiempo de interacción con el material salino natural del terreno, precipitado por el ascenso de flujos subterráneos profundos. Tomado de Fdez. Escalante, 2005.

En cuanto a los aspectos cuantitativos, en la situación hídrica actual se considera posible y procedente “invertir” volúmenes procedentes de ríos para la regeneración de espacios de interés medioambiental, si bien está en tela de juicio si esta actividad podrá mantenerse en el tiempo en caso de mantenerse la sequía actual, agravada por problemas globales tales como la desertización, el cambio climático, etc.

El humedal está adquiriendo el estado ecológico tipificado para los bodones del área, con un cuenco, playa y zona perimetral de protección hasta la unidad ambiental “cultivos”.

7. Conclusiones

Las actuaciones de regeneración hídrica de humedales mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos (MAR) requieren para su implantación una cabida bien justificada en el marco legal así como un empujón económico, político, social, además de estar avalado por estudios técnicos planificados y rigurosos.

Los impactos ambientales que concurren son de diversa tipología (uso indebido, alteraciones en el medio, movimientos de tierras, drenajes, etc.). En general son de escasa escala e intensidad, pero tienen un carácter suficientemente perturbador sobre elementos clave.

La detección de impactos que concurren en el ecosistema a regenerar debe llevarse a cabo en el espacio, tanto en la zona de intervención como de actuación, así como en el tiempo, en los entornos pre, sin y post-operacional. Se aprecia que gran parte de los impactos detectados en el “laboratorio experimental” son de símbolo positivo.

Los principales elementos medioambientales a tener en cuenta son la afección en los cauces fluviales de toma (es preciso salvaguardar un caudal ambiental) y la restauración ecológica del ecosistema, que sólo es posible si el quimismo de las aguas nativas y las resultantes de la interacción entre las aguas de recarga artificial y el acuífero son parecidas.

La aplicación de técnicas MAR a humedales se perfila como una alternativa de primer orden para intervenir en el estado de los ecosistemas y ciertos elementos clave asociados (manantiales, endemismos, etc.), si bien, es preciso llevar a cabo estudios técnicos de gran detalle, con su consecuente coste económico, como etapa previa a cualquier obra. Estas actuaciones deben buscar la coherencia ecológica, paisajística, territorial, social e institucional, así como la conectividad entre los distintos humedales de la zona de actuación.

En España existe una sensibilización alta en el tema, si bien, el hecho de derivar caudales para fines ecológicos en un país donde el recurso agua está sobradamente

contestado representa un argumento de liza en el binomio desarrollo sostenible o desarrollo económico.

Esta propuesta encaminada a la Evaluación de impacto Ambiental debería formar parte de una estrategia integral para el desarrollo sostenible del tandem “recarga artificial de acuíferos-humedales”, que cuente además, al menos, con los siguientes componentes:

- Involucrar a la población local en su recuperación.
- Facilitar el acceso a la información.
- Compatibilizar la perspectiva económica con la ecologista.
- Incoación de expedientes para el catálogo de zonas húmedas de interés especial o Espacios Naturales Protegidos (ENP).
- Participar a equipos interdisciplinares es en los procesos de EIA (evaluación integrada).

8. Agradecimientos

El artículo y el trabajo de investigación que subyace ha sido posible gracias a los directores de tesis, Fermín Villarroya Gil y Manuel García Rodríguez, las biólogas Rosa Cordero e Inmaculada Prieto, el biólogo Óscar García, así como a los técnicos de la división de I+D+i del Grupo Tragsa, Manuel López y Rodrigo Calero, quienes han facilitado el proyecto de I+D+i del Grupo Tragsa 00/13.223, motor de este trabajo de investigación.

9. Bibliografía

- ALONSO, E. (Coordinador) (1996). “*Legal and Administrative framework for mediterranean wetlands.*” Management of Mediterranean Wetlands. Morillo, C. y González, J.L. (editores). MIMAM., Dirección General de Conservación de la Naturaleza (DGCONA), vol. I, pg.13-172.
- BEAUFOY, G. (2000a). “*Environmental Impact of Olive Oil Production in the European Union*”. European Forum on Nature Conservation and Pastoralism and the Asociación para el Análisis the Reforma de la Política Agro-rural. Final Report. March 2000.

- BEAUFOY, G. (2000b). “*The Environmental Impact Of Olive Oil. Production In European Union*”. Practical Options For Improving The Environmental Impact. Commision Of The Environmental Directorate General.
- BERNÚES, M., TORÁN, T., CUSTODIO, E. Y VIÑALS, M.J. (2001). “*Aguas subterráneas y humedales.*” Papeles de Aguas Subterráneas (PAS), Serie C. Fundación Marcelino Botín.
- BOE. (1989). Ley 4/1989, de 27 de marzo, de conservación de los espacios naturales y de la flora y fauna silvestres. (BOE. n.º 74, de 28 de marzo de 1989).
- BOE. (1998). Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca.
- BOE. (2002). Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan Nacional de Regadíos (BOE. n.º 101, de 27 de abril de 2002).
- BOE. (2003). Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público.
- BOUWER, H. (2002). “*Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering.*” Hydrogeology Journal, volume 10, nº 2, abril 2002.
- CMA-JA. (2002). “*Restauración de las reservas naturales de Laguna Honda y Laguna del Chinche. T.M. de Alcaudete (Jaén)*”. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía-Tragsatec. Informe técnico no publicado.
- CHRISTEN, E.W, PRASAD, A & KHAN, S. (2001). “*Spatial Analysis of shallow groundwater pumping for salinity control and potential conjunctive use: A case study of the Coleambally Irrigation Area*”. CSIRO Land and Water PMB nº 3. Griffith NSW 2680. Technical Report 40/00, July 2001. 27 pp. Australia.
- DGCONA. (1999). “*Management of the Mediterranean Wetlands.*” MIMAM-DGCONA.
- EOI (2000). “*Prontuario de gestión medioambiental*”. Escuela de Organización medioambiental- SEPI. Madrid, 2000.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., (2002). “*La recarga artificial en la Cubeta de Santiuste (Segovia) Estudio de las condiciones de referencia, funcionamiento hidrogeológico y aspectos medioambientales relacionados.*” Trabajo de aspiración a la Diplomatura de Estudios Avanzados. Dpto de Geodinámica. Facultad de CC. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Trabajo no publicado.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., & LÓPEZ, J. (2002). “*Hydrogeological studies preceding artificial recharge of Los Arenales aquifer, Duero basin (Spain)*”. Management of Aquifer Recharge for Sustainability, Dillon, P.J. (ed). Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26 September 2002. Balkema Publishers-AIH, The Netherlands.

- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., y CORDERO, R. (2002). “*Los espacios naturales protegidos frente a la Directiva Marco del agua. comentarios y proposiciones acerca de los estudios de impacto ambiental en los mismos*”. Jornadas técnicas sobre la gestión y el control del agua frente a la Directiva Marco. UAM.-CYII.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y GARCÍA, M. (2004a). “*Proposición de un sistema de caracterización de humedales degradados susceptibles de regeneración hídrica mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos*”. VIII Simposio de Hidrogeología. El agua. Esencia ambiental. AEH-IGME. Octubre de 2004.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. Y GARCÍA, M. (2004b). “*Proposición de una clasificación de humedales en base a su susceptibilidad para ser restaurados mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos. Aplicación al sistema de humedales de Coca-Olmedo*”. VIII Simposio de Hidrogeología. AEH-IGME. Octubre de 2004.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. (2005). “*Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)*”. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Enero de 2005.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA, M., VILLARROYA, F. y MONTERO, J. (2005a). “*Propuesta de un sistema de indicadores medioambientales para la evaluación de impacto ambiental y seguimiento de actividades de regeneración hídrica mediante recarga artificial de acuíferos. (Primera parte: estado-presión)*”. Revista Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen III. Año 2005. Universidad Alfonso X el Sabio.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA, M. Y VILLARROYA, F. (2005b). “*Proposal for a new classification of wetlands susceptible to recovery by means of artificial recharges of aquifers techniques. Application to the Coca-Olmedo wetlands complex, Duero basin (Spain)*”. ISMAR 5 proceedings. 5th International Symposium on management of aquifer recharge. Berlín, 2005 (12-16 june).
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA, M. Y VILLARROYA, F. (2005c). “*Propuesta de una clasificación de humedales para ser restaurados mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos: Aplicación al complejo de humedales de Coca-Olmedo (Segovia)*”. Revista Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen III. Año 2005. Universidad Alfonso X el Sabio.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA, M. Y VILLARROYA, F. (2005d). “*Seguimiento y control de la restauración de humedales, mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos a partir del diseño de un sistema de indicadores medioambientales*”. Revista Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia,

- Tecnología y Medio Ambiente. Volumen III. Año 2005. Universidad Alfonso X el Sabio. Madrid.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y GARCÍA, M. (2006). “*Descripción de indicadores medioambientales para la evaluación de impacto ambiental, seguimiento y control de la restauración de humedales mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos. (Segunda parte: indicadores de respuesta)*”. Revista Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen IV. Año 2006. Universidad Alfonso X el Sabio de Madrid.
- FRIENDS, A. & RAPORT, D. (1979). “*Towards a comprehensive framework for environment statistics: stress-response approach*”. Ottawa, Canadá: Statistics Canada.
- GALÁN, R, FDEZ ESCALANTE, A.E. Y MARTÍNEZ, J. (2001b). “*Contribuciones al estudio hidrogeológico para la recarga artificial del acuífero de la Cubeta de Santiuste. (Segovia)*.” VII Simposio de hidrogeología, AEH, Murcia.
- GALE, I. (2002). “*Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge (AGRAR)*.” A project funded by the British Department for International Development (DFID) and led by the British Geological Survey (BGS) in collaboration with other organisations. Duration: July 2002 to July 2005.
- GÓMEZ OREA, D. (1999). “*Evaluación del impacto ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*.” Coedición Ediciones Mundi-prensa-Editorial agrícola española, S.A. Madrid, 1999.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1989). “*Ecosistemas áridos y endorreicos españoles*”. En: zonas áridas en España: 223-238. Real Academia de Ciencias de Madrid.
- ITGE. (1991). “*Tecnología básica de la recarga artificial de acuíferos*.” Serie: Lucha contra la contaminación.
- KRUL, WF, LIEFRINCK, FA (1946). “*Recent groundwater investigations in the Netherlands*”. Monograph on the progress of research in Holland. Elsevier, New York, 78 pp.
- LEGG, C. & SAGSTAD, S. (2002). “*Optimization and use of various recharge techniques for reclaimed wastewater at a sensitive site in Glendale, Arizona*.” Management of Aquifer Recharge for Sustainability, Dillon, P.J. (ed). Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26 September 2002. Balkema Publishers-AIH, The Netherlands.
- MAPA. (1999). “*Estudio hidrogeológico complementario para la recarga artificial en la cubeta de Santiuste (Segovia)*”. Informe técnico no publicado. Secretaría General de Desarrollo Rural-Tragsatec. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MEDWET & RAMSAR. (1998). “*A Strategy for Mediterranean Wetlands*.” Med-Wet Secretariat Unit (EKBY) & Ramsar Bureau. Thessaloniki, Greece.

- MIMAM. (1999a). “*Estrategia española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica.*” Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- MIMAM. (1999b). “*Libro Blanco de la Educación Ambiental en España.*” Comisión Temática de Educación ambiental. Secretaría General de Medio Ambiente.
- MIMAM (2000a). “*Indicadores Ambientales. Una propuesta para España*”. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. 2000.
- MIMAM. (2000b). “*Libro Blanco del Agua en España 2000 (LBAE).*” MIMAM. Madrid. 637 p.
- LLAMAS, M.R. (2001). “*Aguas subterráneas: retos y oportunidades*”. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-prensa.
- PÉREZ-PARICIO, A. (2000). “*Integrated modelling of clogging of artificial recharge systems*”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.
- REY BENAYAS, J. M. (1991). “*Aguas Subterráneas y Ecología. Ecosistemas de descarga de Acuíferos en Los Arenales*”. ICONA.-CSIC. Colección Técnica ICONA.- MAPA.
- SANDLUND, O.T., & VIKEN, Å. (Eds.) (1997). “*Report from Workshop on Freshwater Biodiversity*”. Selbu, Norway, 5.-7. June 1997. The Trondheim Conferences on Biodiversity.
- SCHIPPERS, J.C., J. VERDOUW, & G.J. ZWEERE. (1995). “*Predicting the clogging rate of artificial recharge wells*”. Journal of Water Supply Research and Technology -Aqua (Oxford), 44(1): 18-28.
- SKINNE, J. & ZALEWSKI, S. (1995). “*Functions and Values of Mediterranean Wetlands. An overview on natural functions, resources and economic values of mediterranean wetlands.*” Medwet Publication - Tour du Valat: Conservation of mediterranean Wetlands. N°2 (1995). Tour du Valat, Le Sambuc, 13.200-Arles, France.
- VAN DER KOOIJ, D., VROUWENVELDER, H.S. & VEENENDAAL, H.R. (1995). “*Kinetic aspects of biofilm formation on surfaces exposed to drinking water*”. Water Sci. Tech, 32(8): 61-65.
- WILLIAMS, J.R., BERNDT, H.D. (1977). “*Sediment yield prediction based on watershed hidrology*”. 1.100-1.104. Transaction of the A.S.A.E. Michigan.