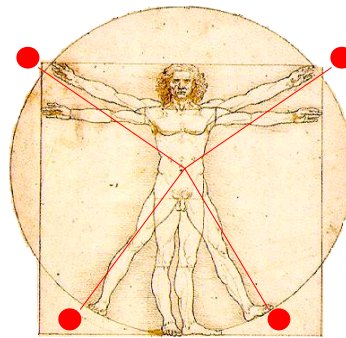


# TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

*Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*

VOLUMEN III. AÑO 2005  
SEPARATA



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)

A. Enrique Fernández Escalante, Manuel García Rodríguez y Fermín Villarroya  
Gil.



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

© Del texto: A. Enrique Fernández Escalante, Manuel García Rodríguez y Fermín Villarroya Gil.  
Junio, 2005.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05_002.pdf)

© De la edición: *Revista Tecnológ@ 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](mailto: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.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05_002.pdf)

# PROPUESTA DE UNA CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES PARA SER RESTAURADOS MEDIANTE OPERACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS: APLICACIÓN AL SISTEMA DE HUMEDALES COCA – OLMEDO (SEGOVIA)

**A. Enrique Fernández Escalante <sup>(1)</sup>, Manuel García Rodríguez <sup>(2)</sup> y Fermín Villarroya Gil <sup>(3)</sup>**

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

(2) Dr. CC. Geológicas. Departamento de Tecnología Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad Alfonso X el Sabio. Avenida de la Universidad nº 1. Villanueva de la Cañada C.P. 28691. Madrid. Tlf. 918109118. E-mail: [manugaro@uax.es](mailto:manugaro@uax.es)

(3) Dr. CC. Geológicas. Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. CP 28040. Tlf. 913944847. [ferminv@geo.ucm.es](mailto:ferminv@geo.ucm.es)

## RESUMEN:

Se ha propuesto un sistema específico para clasificar humedales, de acuerdo con su idoneidad para recibir operaciones de regeneración hídrica basada en acciones de recarga artificial de acuíferos. El sistema se basa en varios criterios, destacando su relación con acuíferos, estado actual de conservación, tipología de impactos medioambientales que han afectado al humedal, condiciones hidrogeoquímicas, presencia de lámina de agua y viabilidad de aplicación de operaciones de recarga artificial, además de la procedencia política de la actuación. El sistema, una vez diseñado y simplificado, ha sido aplicado a algunos humedales del Complejo de Coca-Olmedo cercanos al dispositivo de recarga artificial de acuíferos de la Cubeta de Santiuste.

**PALABRAS CLAVE:** Recarga artificial de acuíferos, humedales, clasificación, cubeta de Santiuste, complejo de humedales de Coca-Olmedo, acuífero de Los Arenales.

## ABSTRACT:

A brand new specific system to wetlands classification have been established in accordance with their suitability to receive operations of hydric regeneration based on actions of artificial recharge of aquifer. The system is based on several approaches, highlighting its relationship with aquifer, current state of conservation, types of environmental impacts that have affected the wetland, hydrochemical conditions, presence of sheet of water and viability of application of operations of artificial recharge, besides the political origin of the performance. The system, once designed and simplified, it has been applied to some wetlands Coca-Olmedo Complex near to the device of artificial recharge of the Cubeta of Santiuste.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05_002.pdf)

*KEY-WORDS: Artificial recharge, wetlands, Cubeta de Santiuste, Los Arenales acuífero, Coca -Olmedo wetlands.*

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Antecedentes, 3. Objetivos, 4. Restauración de humedales en la Cubeta de Santiuste, 5. Propuesta de clasificación de humedales, 6. Conclusiones, 7. Agradecimientos, 8. Bibliografía.

## **1. Introducción**

La interacción hombre-ambientes acuáticos se remonta a épocas ancestrales. De este modo el efecto antrópico ha contribuido al alto dinamismo de los paisajes del agua, dando lugar a ambientes muy diversos. A este respecto cabe destacar que España es el país con mayor diversidad de tipos de zonas húmedas de la UE (Casado y Montes, 1995).

En este contexto, las zonas húmedas, desde hace unos años, han cobrado un valor excepcional como reservorios de una importante biodiversidad y como unidades funcionales del paisaje (González Bernáldez, 1988).

Su papel ecológico es sumamente importante, al ser ambientes que operan a distintas escalas y magnitudes. A nivel global actúan como sumideros de carbono y estabilizadores del clima del planeta (Bubier & Moore, 1994); a nivel regional regulan el ciclo hidrológico y los ciclos biogeoquímicos, y son centros depuradores de aguas contaminadas y moduladores de inundaciones (Mitsch & Gosselink, 1993; Sandlun & Viken, 1997).

Su valor científico se basa en que los humedales representan auténticos laboratorios vivos para el estudio de múltiples procesos naturales. A esto hay que añadir su valor paisajístico, ecológico, socioeconómico, etc. A pesar de estos valores, todavía hoy en día es difícil encontrar la forma de que la población del entorno acepte a las zonas húmedas (González Bernáldez, 1989, 1992 a, b y c).

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Legislación**

Según estudios realizados por el Departamento interuniversitario de Ecología de la Universidad Autónoma, en los últimos 200 años se ha pasado de una extensión total de

humedales de 280.000 a 114.000 ha, lo que representa una reducción de extensión de los humedales peninsulares en torno al 60%, principalmente en los últimos 50 años (MOPTMA, 1990 y 1995; Casado y Montes, 1995).

El 2 de febrero de 1971 nace el Convenio Internacional de Ramsar para la protección de humedales RAMSAR, 1971 (en UNTS, 1976), citado como RAMSAR en la bibliografía. Dicho convenio constituye un hito en todo el mundo. Numerosos países se han incorporado a lo largo de los años; España lo hizo en 1982. Desde entonces, cada 2 de febrero es el Día Internacional de los Humedales.

Tras esta ratificación de España, la Ley de Aguas abogó por su conservación. Esta iniciativa fue respaldada poco más adelante por la Ley 4/1989, de Conservación de los Espacios Naturales, de la Flora y la Fauna Silvestre (BOE, 1989).

Ambas disposiciones han contribuido a que la sociedad vaya tomando conciencia de la importancia de las zonas húmedas, cambiando sus pautas de comportamiento y la visión de estos sistemas.

A partir de la promulgación de estas leyes, la andadura por proteger muchos de los humedales actuales adquirió cierta celeridad. Sin embargo, la designación de muchos de ellos como figuras de protección no ha significado, en absoluto, su conservación como “unidades funcionales del paisaje” que son (Rey Benayas, 1991).

Las nuevas disposiciones legales tienen en cuenta que la aproximación ecosistémica es la fuente de conocimiento precisa para cumplir los objetivos de conservación dictados en la normativa de protección de la naturaleza.

## **2.2. Criterios de clasificación**

Los humedales en la zona de estudio y en general, pueden ser clasificados de acuerdo con varios criterios. En este apartado se presentan los más habituales, como etapa previa a la proposición de una nueva clasificación genética-funcional, que permita estudiar la idoneidad de conectar los humedales con las labores de recarga artificial de acuíferos como técnica para su regeneración hídrica.

En el desarrollo de este trabajo se ha adoptado la definición de humedal establecida por el *US Fish and Wildlife Service* (Matter & Mannan, 1988), por considerarse adecuada para los fines previstos, ya que tiene en especial consideración la fluctuación de la

lámina de agua, principal elemento de control durante las operaciones de recarga artificial:

*“Los humedales son tierras en transición entre los sistemas acuáticos y los terrestres donde la capa freática está habitualmente al mismo nivel o cerca de la superficie, o bien el terreno está cubierto por aguas poco profundas”.*

En dicha definición también se señala que *“debe tener, al menos periódicamente, vegetación de plantas hidrófilas, el sustrato debe ser un suelo hidromorfo no drenado y un sustrato cubierto por aguas poco profundas alguna vez durante la estación más productiva del año.”*

Otras clasificaciones tenidas en cuenta establecen criterios para la caracterización de los humedales del complejo, tales como su génesis; litología e hidroquímica (Rey Benayas, 1990); antropización de los sistemas: zonas húmedas artificializadas y artificiales (en este grupo quedarían incluidos los humedales dependientes de operaciones de recarga artificial); dependencia de los acuíferos, quimismo relativo a la salinidad (Dugan, 1990); presencia del nivel freático y la franja capilar a escasa profundidad o criptohumedales (Custodio, 2000), posición relativa a las líneas de flujo de las aguas subterráneas (Custodio, 2000), posición relativa a los cursos de agua superficiales y geomorfología, así como la función hidrológica que desempeña el humedal (García Rodríguez, 1996 y 2003). En la Figura 1 se presenta un ejemplo de caracterización de humedales según su función hidrogeológica; como recarga de aguas subterráneas, descarga de aguas subterráneas o bien como control de avenidas, en supuestos de sustratos geológicos diferentes.

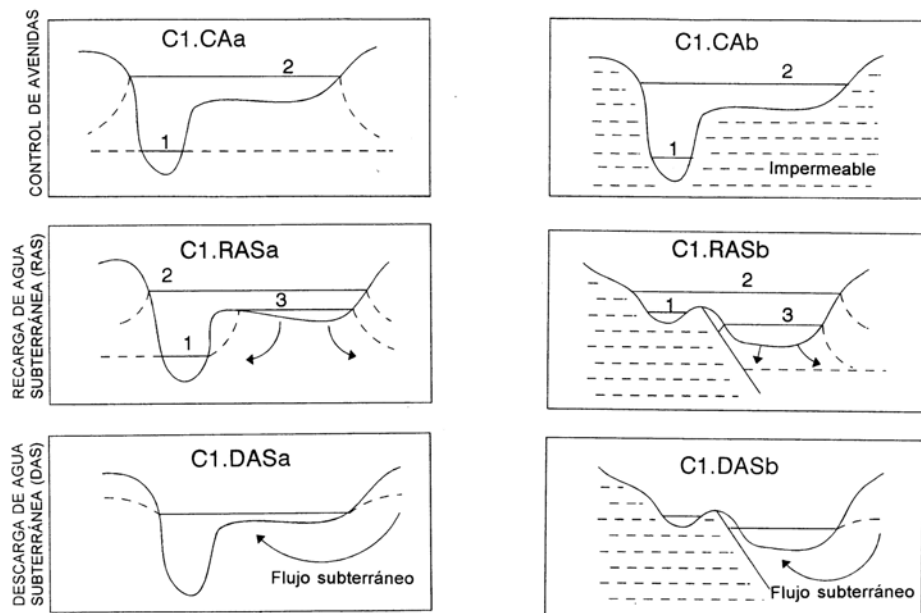


Figura 1. Ejemplo de diferentes funciones hidrológicas que pueden desempeñar los humedales ribereños, extraído de la clasificación de García (2003).

### 3. Objetivos

En primer lugar se pretende evaluar el estado de algunos de los humedales del Complejo de Coca-Olmedo. Para realizar dicha caracterización, previamente (apartado 4.1) se han explicado algunas particularidades de la importancia de las experiencias de recarga artificial de acuíferos efectuadas por el MAPA en la zona de estudio. Para ello se han aplicado criterios de caracterización de los humedales basados en la cuantificación de ciertos parámetros artificiales diseñados con este objetivo.

En segundo lugar, a partir de la caracterización previa, se ha propuesto y aplicado un nuevo sistema de clasificación de humedales. Este sistema refleja su idoneidad para acoger operaciones de recarga artificial inducida en aras de su regeneración hídrica.

Para la consecución de estos objetivos se han realizado consultas muy variadas: Internet, referencias bibliográficas, fotogramas aéreos y ortoimágenes digitales, y encuestas. Según fuentes bibliográficas, hacia 1950 había en el acuífero de Los Arenales

en torno a los 500 humedales, de los cuales apenas quedan hoy cerca de 50, todos ellos en un estado de conservación muy deficiente (Rey Benayas, 1991).

#### **4. Restauración de humedales en las inmediaciones de la Cubeta de Santiuste**

##### ***4.1. Recarga artificial de acuíferos. Situación socioeconómica y ambiental***

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, que ha fomentado la realización de recarga artificial superficial de acuíferos para impulsar la economía de la región y minimizar ciertas alteraciones medioambientales.

Las labores de recarga artificial en el acuífero superficial de la Cubeta de Santiuste (declarada obra de interés general) han sido promovidas por la Secretaría General de Desarrollo Rural del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). Tal actuación ha estado justificada, entre otras, por 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.
- Deterioro de la calidad química de las aguas superficiales por mezcla con aguas del acuífero profundo y contaminación de origen antrópico.
- 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, afectadas por procesos de contaminación difusa y por metales pesados (Fdez. Escalante y López, 2002).



Otro impacto que previsiblemente minimizará la recarga artificial es el motivado por el descenso del nivel del agua subterránea producido por el regadío. Este fenómeno ha alcanzado valores preocupantes en la Cubeta de Santiuste, 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. Este hecho está propiciado por la capacidad de almacenamiento máxima del acuífero superficial, cifrada en 25 hm<sup>3</sup> (Fdez Escalante, 2005), y una capacidad de almacenamiento óptima en torno a 13 hm<sup>3</sup> (MAPA, 1999), llegando a 19 hm<sup>3</sup> para una situación de “aguas altas” (Fdez Escalante, 2005).

Esta cifra desvela una consecuencia importante: el volumen almacenado 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, pudiendo paliarse en gran medida mediante la recarga artificial del mismo 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., proporcionando unos recursos excedentarios que podrían ser empleados para fines medioambientales sin crear conflictos con los regantes.

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 partículas 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. Esta alternativa sería improcedente en la actualidad, siendo más recomendable la depuración de efluentes y recarga con aguas depuradas en aras del beneficio del sistema de recarga artificial y del acuífero.

Un objetivo medioambiental escasamente considerado hasta la fecha ha sido la recuperación y/o restauración de parte de las zonas húmedas del complejo Coca-Olmedo aprovechando excedentes hídricos, ya que actualmente existen zonas cultivadas donde antiguamente había humedales. Aunque la idea ha sido apuntada con anterioridad en varios foros (MAPA, 1999, Galán et al, 2001; Fdez. Escalante y López, 2002) su expansión parece empezar a implantarse. Un ejemplo es la declaración de intenciones de una candidatura política al Exmo. Ayuntamiento de Coca (la que resultó mayoritaria), quienes en su programa electoral indicaron su objetivo de recuperar la Laguna de las Eras mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos.

En el territorio peninsular ha habido otras experiencias similares de regeneración de humedales con aportes hídricos externos, tales como las que se vienen haciendo desde hace casi una veintena de años en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (García Rodríguez et al, 1994), con el denominado Plan de Regeneración Hídrica (aprobado por Ley en 1987). Si bien, con un planteamiento diferente del que se propone en este artículo, aplicado a la regeneración de los humedales de la Cubeta de Santiuste.

Experiencias de este tipo se están llevando a cabo en otros lugares del mundo, entre los que cabe destacar el proyecto *AGRAR*, dirigido por el “British Geological Survey” (BGS) en colaboración con otros organismos, y con una duración prevista para su primera fase de 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 papel que juega la recarga artificial en el abastecimiento urbano en áreas rurales y en la gestión hídrica en general. En este contexto tiene cabida el empleo de recursos para cubrir objetivos medioambientales de recuperación o regeneración de zonas húmedas degradadas.

#### ***4.2. Inventario de humedales y adquisición de datos***

Como una primera valoración y aproximación al estado general de los humedales en la zona, se podría decir que la mayor parte han sido desecados y cultivados, y aquellos que tenían un grado de salinidad tan elevado como para impedir el desarrollo de cultivos en su interior, presentan impactos diversos (vertido de escombros, estiércol, etc.) además

de haber sido roturados en varias ocasiones en vanos intentos de aprovecharlos como terrenos de labor, otros han sido afectados por el desarrollo urbanístico, vías de comunicación, líneas de alta tensión, etc.

El primer inventario conocido del Complejo de Coca-Olmedo fue realizado por Rey Benayas entre 1988 y 1990 (en Rey Benayas, 1990), y constaba de 16 humedales (Tabla 1). Este inventario representaba una ampliación del primer inventario nacional de humedales, elaborado por el Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA) en 1987.

Un catálogo posterior fue el realizado por el MOPTMA en 1994. En esta zona fueron catalogados 17 humedales, los cuales se han representado en el mapa esquemático de la Figura 2, elaborado a partir de los datos aportados en dicho inventario.

Tabla 1. Humedales inventariados por Rey Benayas en la zona de estudio, 1990. Coordenadas geográficas (en Rey Benayas, 1991).

NOMBRE DEL HUMEDAL	LATITUD	LONGITUD	MUNICIPIO
Laguna de Fuente Miñor	3 67 4	45 60 6	Coca
Laguna de La Iglesia	3 68 6	45 62 7	Coca
Laguna de Las Eras	3 67 4	45 62 5	Coca
Laguna de Valderruedas	3 67 3	45 63 3	Coca
Fuente del Curvón	3 66 2	45 65 5	Coca
La Laguna	3 66 9	45 58 9	Santiuste
El Bodón	3 64 5	45 61	Santiuste
Humedales de Bernuy de Coca	3 65 6	45 59 9	Santiuste
Ctra. de Santiuste a Fuente de Santa. Cruz, km. 26	3 63 6	45 62 5	Fte. de Sta. Cruz
El Pelotar	3 63 4	45 64 5	Fte. de Sta. Cruz
La Estevilla	3 65 7	45 63 3	Fte. de Sta. Cruz
Carretera Fte. De Sta. Cruz a Ciruelos de Coca	3 65	45 65	Fte. de Sta. Cruz
Los Pozuelos	3 65 4	45 66 5	Fte. de Sta. Cruz
El Navazo	3 58 7	45 59	Villeguillo
Laguna del Caballo Alba	3 65 5	45 67	Villeguillo
Los Olmos	3 67 5	45 69 5	Villeguillo

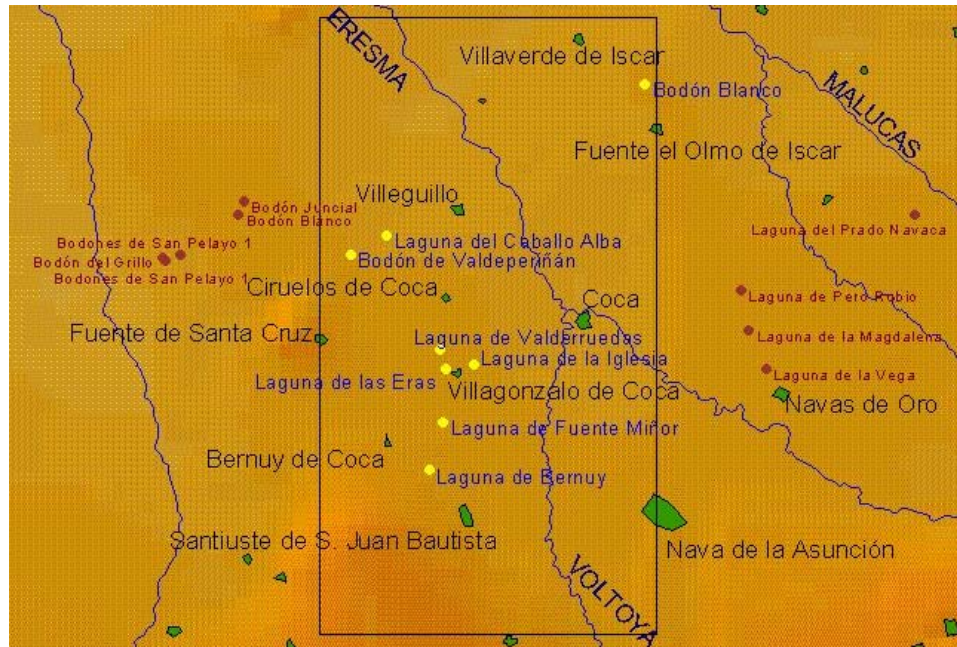


Figura 2. Cartografía esquemática con la localización de humedales en la zona de estudio e inmediaciones. El recuadro indica la posible zona de influencia de las operaciones de Recarga artificial. Figura sin escala.

En estudios recientes se han llegado a inventariar hasta 83 humedales en la zona de estudio, incluyendo los indiciales o humedales tan degradados que su atribución debe ser realizada por referencias bibliográficas, crónicas, técnicas indirectas tales como el estudio de la toponimia y encuestas a ancianos del Complejo (Fdez Escalante, 2005).

Para los objetivos de este trabajo, se ha realizado una caracterización de once de los humedales de la Tabla 1, aquellos con disponibilidad de antecedentes bibliográficos (ver Tabla 2 del apartado 5). En todos los casos se han medido en campo los parámetros necesarios para su caracterización morfométrica, con objeto de contar con datos numéricos que permitan estudiar su evolución en un futuro.

En principio estos humedales han sido clasificados conforme a tres criterios básicos:

- A) Los que gozan de alguna figura de protección, como son las lagunas de Caballo Alba (SG-1), La Iglesia (SG-3) y Las Eras (SG-2).



Figura 3. Laguna de Caballo Alba, en Villeguillo (n.º 40). Humedal ameboide, cuya orientación está condicionada por la tectónica. Corresponde al Espacio protegido SG-1. Presenta eflorescencias salinas e impactos antrópicos diversos.

B) Los que mantienen ciertas características de lavajo a pesar de su drenaje, como es el ejemplo de la Laguna de la Iglesia, Valderruedas, Valdeperiñan o el Bodón. Se trata de humedales que presentan un grado de afección más o menos alto.



Figura 4. Aspecto y drenaje del humedal “El Bodón” o Bodón de la Hiruela, en Santiuste de San Juan Bautista. Fotografía de julio de 2002.

C) Aquellos que han sido profundamente transformados, y presentan un grado de preservación prácticamente nulo (zonas roturadas, urbanizadas o con un uso indebido), y han sido detectados por procedimientos indirectos y/o indiciales mediante encuestas, crónicas o fotografías aéreas históricas. Algunos de ellos podían detectarse todavía en los fotogramas del “vuelo americano” de 1957, como es el caso de los “humedales rojos” (de acuerdo con la clasificación propuesta en el próximo apartado). De los humedales inventariados inicialmente hay 7 que han sufrido profundas transformaciones, que se manifiestan, en general, como cambios de usos del terreno.



Figura 5. Presencia de salgueros y eflorescencias salinas en las inmediaciones de la laguna de las Eras (n.º 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.

El fin último del inventario y caracterización de los humedales realizado, es estudiar la viabilidad de regenerar los humedales degradados mediante operaciones de recarga artificial, en caso de concurrir los condicionantes técnicos y socioeconómicos precisos.

## 5. Propuesta de clasificación de humedales

Una vez caracterizado un grupo de humedales del Complejo de Coca-Olmedo (seleccionados por contar con antecedentes bibliográficos y su especial relevancia), se han estudiado sus causas de degradación y el estado actual de preservación. Finalmente se ha aplicado el nuevo sistema de clasificación, para evaluar su aptitud de restauración ante las operaciones de recarga artificial.

El inventario presentado en el apartado anterior ha sido incorporado a una base de datos documental de humedales susceptibles de recibir actuaciones regenerativas en un futuro, si las condiciones económicas, medioambientales y políticas fueran concurrentes (Fdez. Escalante, 2005).

Las clasificaciones previas, en general, presentan un carácter específico en general, si bien se echa en falta un sistema que clasifique los humedales en cuanto a su estado de conservación y funcionamiento ante impactos ambientales, en general antrópicos. Este criterio, a juicio de los autores, se considera clave para poder gestionar programas de regeneración y para la toma de decisiones.

En García (1996) se presenta una clasificación de humedales basándose en la función hidrológica que desempeñan, incluyendo las posibles actuaciones antrópicas aplicables a cada tipo de humedal, con objeto de controlar su función hidrológica; humedal como recarga de aguas subterráneas, como descarga de agua subterránea o bien como control de avenidas en el caso de humedales ribereños. En la Figura 6 se muestra un resumen de algunas de las actuaciones sobre los humedales que pueden ser llevadas a cabo basadas en dicha clasificación. Algunas de las actuaciones previstas en dicha clasificación, son de aplicación directa en experiencias de regeneración de humedales con técnicas de recarga artificial de acuíferos; bombeos e inyecciones de agua subterránea mediante pozos, aportes de agua superficial a través de acequias permeables o conducciones impermeables, o bien la construcción de diques y/o malecones que disminuya la velocidad del agua y favorezca la infiltración y recarga.

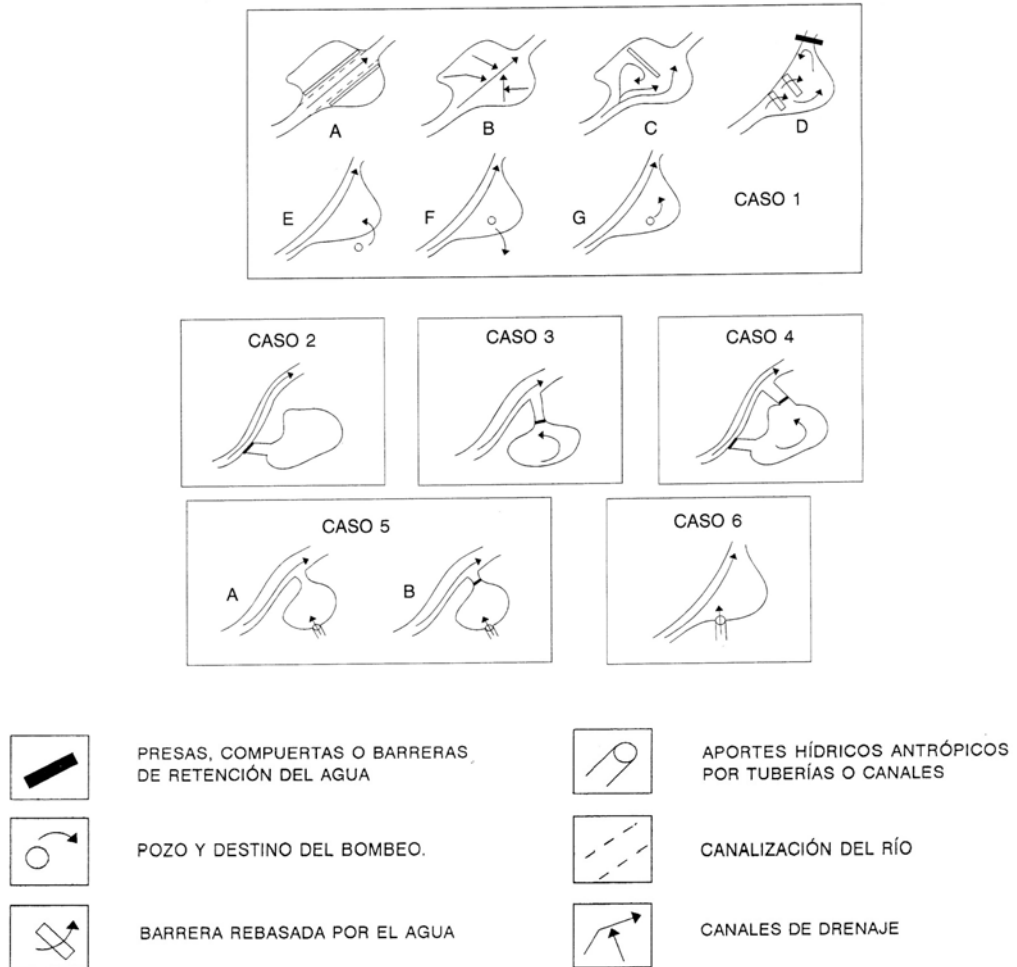


Figura 6. Posibilidades de actuaciones antrópicas sobre humedales (García, 1996)

Como ya se ha indicado, la clasificación que ahora se propone tiene como criterio básico conocer la idoneidad del humedal para ser restaurado mediante operaciones de recarga artificial inducida, sin entrar en los mecanismos y técnicas que pueden emplearse. En general, según se tratará seguidamente, la restauración será de aplicación a los humedales “azules” o bien “amarillos”, por su dependencia de los acuíferos y por no presentar un profundo estado de degradación o por un cambio de uso importante (edificado, atravesado por vías de comunicación, etc.).



En cuanto a su funcionamiento se han establecido cuatro tipologías de humedales, designados por colores. De este modo se han asignado los siguientes colores:

- Rojo: Color atribuido a los humedales desaparecidos en la actualidad, detectados mediante técnicas indirectas: fotos aéreas antiguas, encuestas a ancianos, pruebas indiciales detectadas en campo, etc. Se han designado también “humedales indiciales.”
- Naranja: Humedal fuertemente degradado en la fecha de inventariado, de difícil recuperación al concurrir varios impactos de diversa tipología.
- Amarillo: Humedales asociados a la red de escorrentía superficial, en general endorreicos y no hidrodépendientes, es decir, su funcionamiento no está condicionado por el nivel de las aguas subterráneas, sino más bien por la red de drenaje superficial. Son humedales que pueden permanecer secos durante los períodos de sequía sin apenas perder su valor ecológico. Su recuperación es relativamente fácil, siempre que las aguas aportadas en las operaciones de recarga artificial no varíen sustancialmente en cuanto a calidad de las aguas indígenas se refiere.
- Azul: Color asignado a los humedales hidrodépendientes, es decir, cuyo funcionamiento está altamente condicionado por el nivel de las aguas subterráneas. Su recuperación resulta más complicada que en el caso anterior, ya que requieren una modificación cualitativa del agua de recarga artificial, empleando técnicas de inducción forzada a los procesos de interacción agua-suelo.

La clasificación que se presenta (Tabla 2) está referida a la situación temporal de agosto de 2003, y está basada parcialmente en las ideas de valoración medioambiental propuestas por González Bernáldez (en González Bernáldez, 1988 y 89).

Algunos de los criterios para su caracterización son los siguientes:

- NOMBRE. Toponimia.
- LOCALIDAD. Término municipal en el que está incluido.
- FECHA. Fecha de inventario.
- X, Y, Z. Coordenadas UTM y cota Z en msnm calculada con un MDT de un metro de precisión.
- SUSTRATO. Naturaleza del lecho del humedal.
- LAMINA - AGUA. Presencia de una lámina de agua en la fecha de inventario (agosto de 2003).
- C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Conductividad eléctrica del agua.

- pH.
- SALINIDAD (%). Determinación del porcentaje de salinidad en la alícuota (medición directa).
- TSD (ppm). Total de sólidos disueltos en mg/l.
- Fecha. Fecha de determinación de los parámetros inestables.
- VEG-HIDR. Presencia de vegetación hidrófila típica en el período de inventario.
- DRENAJE. Presencia de canales de drenaje del humedal (s/n).
- CULTIVOS. Presencia de cultivos en las márgenes del humedal.
- EST-CONS. Estado de conservación del 1 al 5. Los criterios son explicados en el próximo apartado.
- TIPO. Asignación de una categoría basándose en su relación con acuíferos y evaluación de impacto ambiental.
- OTROS. Observaciones directas.
- AREA. Área del humedal digitalizada sobre la ortoimagen georreferenciada sobre la base de pruebas indiciales o de forma directa.
- PERIM. Perímetro del polígono digitalizado para cada humedal y zona de influencia.

Tabla 2 (1ª parte). Caracterización y clasificación de los humedales inventariados (Modificado de Fdez. Escalante, 2004).

NOMBRE	LOCALIDAD	FECHA	X	Y	Z	SUSTRATO	LÁMI NA AGUA	C μS/cm	pH	SAL %	TSD ppm	Fecha
LAGUNA DE VALDEPERIÑÁN	LLANO DE OLMEDO	06-08-03	364791	4567848	762,8	SALINO	N					
LAGUNA DE CABALLO ALBA	VILLEGUILLO	06-08-03	365529	4567306	768,7	SALINO	N					
LOS POZUELOS (km 26)	FUENTE DE SANTA CRUZ	06-08-03	365167	4566375	772,4	SALINO	N					
FUENTE DEL CURVÓN	COCA	06-08-03	369709	4563554	783,0	ARENOSO	N					
LAGUNA DE VALDERUEDAS	VILLAGONZALO DE COCA	06-08-03	367332	4563161	799,0	SALINO	N					
LAGUNA DE LA IGLESIA	VILLAGONZALO DE COCA	06-08-03	368570	4562726	786,9	SALINA	S/N					
LAGUNA DE LAS ERAS	VILLAGONZALO DE COCA	06-08-03	367434	4562545	798,1	SALINA	S	23660	9.1	46.2	11.83	ago-03
EL BODON	BERNUY DE COCA	06-08-03	365036	4561291	811,3	SALINA	N					
FUENTE MIÑOR	VILLAGONZALO DE COCA	06-08-03	367446	4560584	812,8	SALINA	N					
BODÓN DE LA HIRUELA	SANTIUSTE DE SAN J & B	06-08-03	368426	4559078	802,6	SALINA	S	3080	8.62	6.1	11.52	ago-03
HUMEDALES DE BERNUY	SANTIUSTE DE SAN J & B	06-08-03	366880	4558862	815,4	SALINA	S	2368	8.85	4.6	11.83	ago-03

Tabla 2 (2ª parte). Caracterización y clasificación de los humedales inventariados (Modificado de Fdez. Escalante, 2004).

NOMBRE	VEG. HIDRO.	DRENAJE	CULTIVOS	EST CONS	TIPO	AREA (m2)	PERÍM. (m)	OTROS
LAGUNA DE VALDEPERIÑÁN	S	N	S	3	AZUL	246601	3268	ATRAVESADO POR LINEA ALTA TENSIÓN
LAGUNA DE CABALLO ALBA	S	S	S	3	AZUL	197200	2139	ATRAVESADO POR LINEA ALTA TENSIÓN. FIGURA DE PROTECCIÓN.
LOS POZUELOS (km 26)	S	S	S	2	AMARILLO	79008	1407	ASOCIADO A ESCORRENTÍA SUPERFICIAL. VEGETACIÓN NITRÓFILA
FUENTE DEL CURVÓN	N	S	N	1	ROJO			INDICIOS ANTIGUO HUMEDAL. ASOCIADO ESCORRENTÍA SUPERFICIAL
LAGUNA DE VALDERUEDAS	S	S	S	2	NARANJA	45185	1382	ASOCIADO A LA LAGUNA DE LAS ERAS
LAGUNA DE LA IGLESIA	S	S	S	4	AZUL	79439	1209	LAMINA AGUA OCASIONAL. FIGURA DE PROTECCIÓN.
LAGUNA DE LAS ERAS	S	N	S	5	AZUL	51562	1149	FIGURA DE PROTECCIÓN.
EL BODON	S	S	S	2	AMARILLO	358	77	ASOCIADO ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.
FUENTE MIÑOR	S	N	S	3	AZUL	62394	1334	NITROFILAS, GRAMÍNEAS, HIDROFILAS SALINAS.
BODÓN DE LA HIRUELA	S	N	S	4	AZUL	2172	184	CBM*. EN LINEAMIENTO REZUMES VOLTOYA
HUMEDALES DE BERNUY	S	N	N	5	AZUL	23044	600	DESAGUE POR ARROYO

Estado de conservación	
5	Con agua- se puede mejorar
4	Sin agua. Se puede recuperar. Sin cultivos alrededor
3	Sin agua. Afectada. Con cultivos alrededor
2	Sin agua. Afectada sustancialmente. Roturada, drenada, cultivada
1	Sin agua. Afectada sustancialmente. Cambio de uso.
<b>AZUL</b>	Humedal hidroddependiente
<b>AMARILLO</b>	Humedal asociado a la red de escorrentía superficial. No Hidroddependiente (endorreico)
<b>NARANJA</b>	Humedal fuertemente degradado de difícil recuperación
<b>ROJO</b>	Humedal indicial desaparecido. Encuestas, etc.

### Leyenda de la Tabla 2

\*. CBM. Complejo Bodón Montículo (Rey Benayas, 1991).

La presencia de agua está condicionada en gran medida por la fecha de realización del inventario y el carácter del año hidrológico. No obstante, las labores regenerativas se plantean para humedales que han perdido su valor por detracciones de su fuente de alimentación natural (regadíos, drenajes, derivaciones de arroyos, canalizaciones, etc.), no por ausencia de precipitaciones durante un período seco.

La presencia de cultivos alrededor es un criterio de obligada consideración, dado que el sistema ha sido diseñado para un entorno en el que la agricultura es la actividad principal. Influye además en la calidad de las aguas del humedal por retorno de aguas de riego cargadas de fertilizantes, etc.

Dada la importancia de la presencia de agua en este sistema clasificatorio, cada color debe ir acompañado de un índice relativo a la presencia de agua en una fecha determinada y de cultivos alrededor.

Los pesos asignados a cada tipología de humedal relativos a su “estado de conservación” se basan en los siguientes criterios:

- 1) Ausencia de lámina de agua durante la mayor parte del año. Afectada sustancialmente. El humedal y su terreno circundante han sido sometidos a un cambio de uso.
- 2) Ausencia de lámina de agua. La afección es sustancial. Se detectan impactos derivados de la roturación, drenaje. La presencia de cultivos es frecuente en su vaso y zona periférica de influencia.
- 3) Ausencia generalizada de lámina de agua. La afección es notable, no obstante su recuperación es factible aumentando las entradas de agua al sistema y corrigiendo ciertos impactos significativos adicionales, como puede ser drenajes o usos indebidos puntuales. Presenta cultivos alrededor.
- 4) Ausencia de lámina de agua pero con la posibilidad de recuperación, abordable aumentando las entradas de agua al sistema. Los impactos ambientales adicionales son de escasa intensidad y magnitud. No hay cultivos en su orla perimetral ni zona de influencia. Su calidad hidroquímica está menos condicionada por el abonado de las zonas regables.

5) Presencia de lámina de agua prácticamente todo el año. Sin cultivos alrededor. La calidad de sus aguas ha variado entre límites estrechos. Posibilidades de mejora e idoneidad para implantar perímetros de protección, aplicar figuras de protección, etc. con objeto de salvaguardar su estado actual y evitar su posible deterioro.

Los humedales de tipo 1 y 2 corresponden a humedales “indiciales” en muchos casos. Sus técnicas de detección son diversas, prevaleciendo en general la composición química de sus suelos, salvo en los humedales asociados a la hidrología superficial, cuyo índice de preservación es variable. Los de tipo 4 y 5 corresponden a humedales que conservan características propias de tales, y los de tipo 3 de características intermedias entre los tipos 2 y 4.

Según la caracterización y aplicación de la nueva clasificación presentada en la Tabla 2, la mayoría de los humedales inventariados clasificados como “azules” son susceptibles de una “regeneración racional” a medio-largo plazo mediante recarga artificial inducida. Los rojos y naranjas, cuyo grado de deterioro es alto, requerirían una inversión más alta y actuaciones a largo plazo.

## **6. Conclusiones**

En general se aprecia que gran parte de los humedales existentes en la zona de estudio se encuentran en un grado de conservación muy deficiente y presentan un valor ecosistémico muy dañado. Hay algunos menos alterados inventariados desde hace décadas, y que en muchos casos disponen de figuras de protección.

Dentro del Complejo de humedales de Coca-Olmedo se ha detectado una segunda tipología, que corresponde a humedales “irrecuperables” debido a que las alteraciones, generalmente antrópicas, han modificado drásticamente sus características primigenias, sus rasgos distintivos y su uso.

Aunque el sistema de asignar pesos al evaluar el estado de conservación da una alta cabida a la subjetividad, la caracterización de los humedales y el seguimiento de su evolución en el tiempo permitirá apreciar los cambios en el estado de conservación de los mismos y corregir cualquier atribución errónea, de ahí la importancia de establecer programas de vigilancia y control.

La caracterización representa un complemento imprescindible para la gestión de las posibles labores regenerativas futuras. Es preciso un inventario previo en el que consten los usos pretéritos y los impactos que han provocado la degradación del humedal.

La tendencia y objetivo medioambiental es que la mayoría de los humedales aumenten su índice con el paso del tiempo, sin que necesariamente todos tengan un índice 5. La asignación de figuras de protección puede ir encaminada a lograr, además de una mejora ecológica, un cierto grado de conectividad en los humedales del complejo, recuperando la proposición de una entidad medioambiental conectiva ya apuntada por el profesor Rey Benayas (en Rey Benayas, 1991).

## 7. Agradecimientos

A los Doctores José M.<sup>a</sup> Rey Benayas y José M.<sup>a</sup> García Asensio por su ayuda en forma de variadas y útiles aportaciones.

## 8. Bibliografía

- BOE. (1985). “Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas”. (BOE 8-8-1985 n° 189).
- 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).
- BUBIER, J.L. & MOORE, T.R. (1994). “An ecological perspective on methane emissions from northern wetlands.” *Tree Mz*, 9 (12): 460-464.
- CASADO, S. y MONTES, C. (1995). “Guía de los lagos y humedales de España”. J.M. Reyero (Editor). Ed. Ecosistemas. Madrid.
- CUSTODIO, E. (2000). “Groundwater-dependent wetlands”. *Acta Geológica Hungarica*, 43 (2): 173-202.
- DAVIS, T.J., BLASCO, D. Y CARBONELL, M. (1996). “Manual de la Convención de Ramsar. Una guía a la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional”. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- DUGAN, P.J. (1990). “Wetland Conservation: a Review of Current Issues and Required Action”. IUCN, Gland, Switzerland.
- 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. (2004). “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. (2005). “Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. La experiencia en la Cubeta de Santiuste, Segovia”. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- 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.
- 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. (2001). “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.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M. y LLAMAS M.R. y CRUCES, J. (1994). “Influence of Groundwater Exploitation on the Functioning of The Tablas de Daimiel National Park (Spain)”. Anales Geophysicae of European Geophysical Society. Part II. Ocean, Atmosphere, Hydrology and Nonlinear Geophysics. Supplement II to Volume 12. Abstract C.415 pp. Grenoble. April 1994.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M. (1996): *Hidrogeología de las Tablas de Daimiel y de los Ojos del Guadiana. Bases hidrogeológicas para una clasificación funcional de humedales ribereños*. Servicio de Publicaciones Universidad Complutense de Madrid.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, M. (2003). “Clasificación funcional de humedales ribereños”. Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen I, año 2003. Universidad Alfonso X El Sabio (Madrid).
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1989). “Ecosistemas áridos y endorreicos españoles”. En: Zonas áridas en España: 223-238. Real Academia de Ciencias de Madrid.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992a). “Los paisajes del agua: terminología popular de los humedales”. J. M. Reyero Editor, Madrid.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992b). “Ecological aspects of wet-land/groundwater relationships in Spain”. *Limnética*. Madrid. 8: 11-26.

- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992c). “*Valores y funciones de los ecosistemas de descarga de acuíferos en Los Arenales*”. Curso de humedales de la cuenca del Duero. Hábitats de descarga de aguas subterráneas en el acuífero de Los Arenales. Actuaciones para su protección. Biblioteca de Educación Ambiental. Sección C: documentación técnica de medio-ambiente. Junta de Castilla y León.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1988). “*Typology of wetlands and evaluation of the resources they represent*”. Hydrology of Wetlands in Semiarid and Arid Regions. Agencia del Medio Ambiente. Sevilla: 7-36.
- 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.
- MATTER, W.J. & MANNAN, R.W. (1988). “*Sand and gravel pits as fish and wildlife habitat in the Southwest*”. US. Fish Wildl. Serv. Resour. Publ. 171. 11 pp. <http://www.fws.gov/>
- MITSCHE, W.J. & GOSSSELINK, J.G. (1993). “*Wetlands*”. Van Nostrand Reinhold. New York.
- MOPTMA. (1990). “*Estudio de las zonas húmedas de la España peninsular. Inventario y tipificación*”. Dirección General de Obras Hidráulicas.
- MOPTMA. (1995). “*Actualización del Inventario de Zonas Húmedas*”. Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid. Informe interno no publicado.
- REY BENAYAS, J. M. (1990). “*Ecosistemas de descarga de acuíferos en la Cuenca del Duero*”. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- REY BENAYAS, J. M. (1991). “*Aguas Subterráneas y Ecología. Ecosistemas de descarga de Acuíferos en Los Arenales*”. ICONA.-CSIC. Colección Técnica ICONA.-MAPA.
- SANDBLUND, O.T., & VIKEN, Å. (EDS.) (1997). “*Report from Workshop on Freshwater Biodiversity*”. Selbu, Norway, 5.-7. June 1997. The Trondheim Conferences on Biodiversity.
- RAMSAR, (1971). “*Convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat*”. UNTS. N°. 14.583. Vol. 996 (1976), pp. 243.