

***HIDROLOGÍA DE HUMEDALES, SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
QUE CONTRIBUYEN AL BIENESTAR HUMANO
Y PAPEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA***



Marisol Manzano Arellano

Universidad Politécnica de
Cartagena (España)
Marisol.manzano@upct.es

Índice

- 1 Contexto: definición de humedal, importancia y tipos
- 2 Requisitos de conocimiento para la gestión: hidrología de humedales y papel del agua subterránea en los humedales vinculados a ella
- 3 Nuevas herramientas para la gestión de los humedales: el enfoque ecosistémico
- 4 Algunas experiencias de aplicación del enfoque ecosistémico
- 5 Consideraciones finales

1 HUMEDALES

Definición



Humedales:

Áreas inundadas o saturadas por agua superficial o subterránea con una frecuencia y duración suficientes como para mantener, al menos periódicamente, una vegetación típicamente adaptada a la vida en suelos saturados

1 HUMEDALES

Importancia

- Los humedales están entre los ecosistemas que más biodiversidad generan en nuestro planeta.
- Además: muchos de los procesos naturales que tienen lugar en los humedales producen distintos tipos de beneficios para el ser humano, tanto tangibles (recursos de distinta índole) como intangibles (identidad cultural, placer emocional).
- Muchos humedales, situados tanto en zonas húmedas como en zonas áridas, están vinculados a flujos de agua subterránea, y su funcionamiento y ecología dependen en distinto grado -pero de forma notable- de la presencia de agua subterránea.
- En muchas zonas del planeta hay una presión creciente sobre los recursos de agua subterránea para usos urbanos, agrícolas, mineros y comerciales. Aunque los humedales vinculados a aguas subterráneas son vulnerables a esta presión, en general aún falta conocimiento acerca de cómo se deben gestionar.

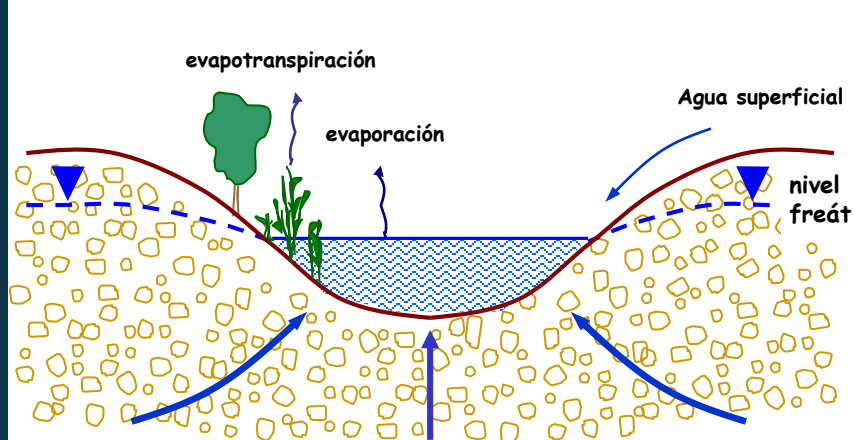


1 HUMEDALES

Tipos de humedales

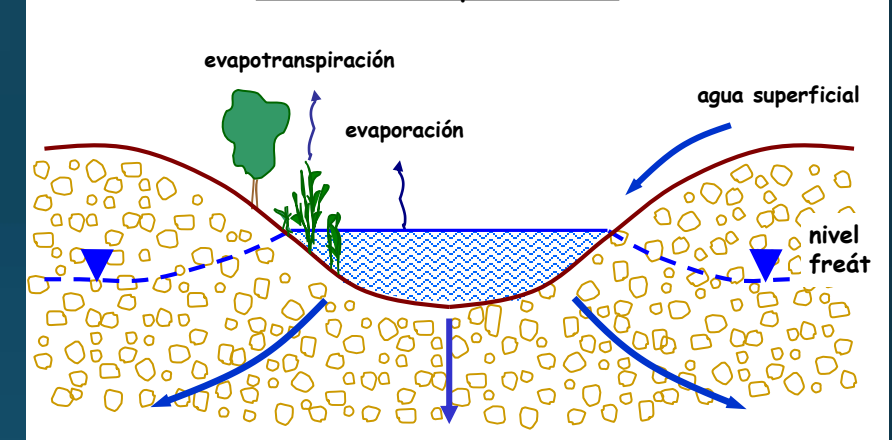
Desde el punto de vista hidrológico (según *criterios funcionales simples*)

1. Humedal ganador



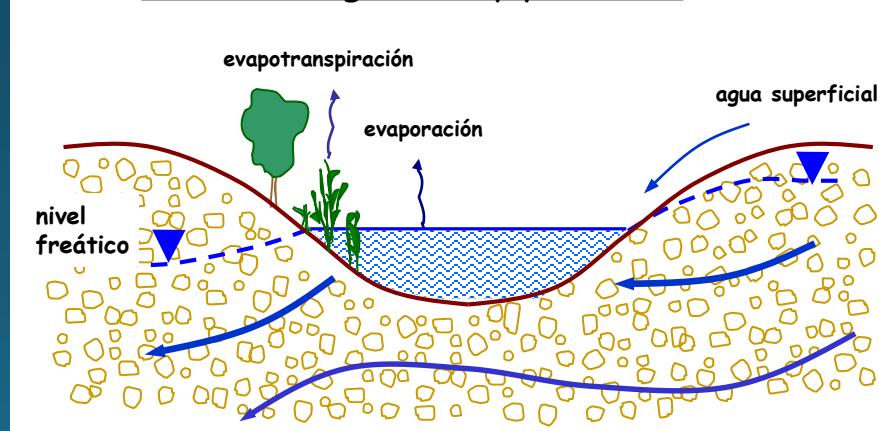
1) Recibe agua del subsuelo

2. Humedal perdedor



2) Pierde agua por el subsuelo

3. Humedal ganador y perdedor



3) Recibe y pierde agua por el subsuelo (también llamados "de flujo a través")

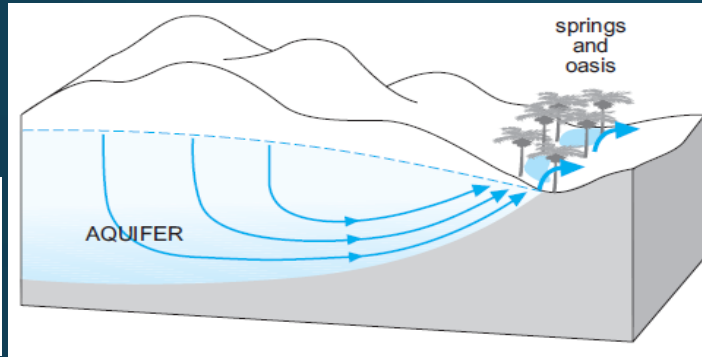
1 HUMEDALES

Tipos de humedales

Principales tipos de humedales vinculados a las aguas subterráneas (Foster et al., 2006).

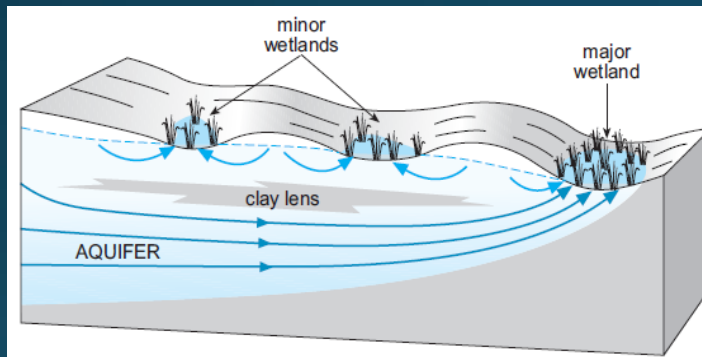
(A) WETLAND ECOSYSTEM IN ARID REGION

dependent upon deep groundwater flow system, sometimes with only limited contemporary replenishment and fossil aquifer flow



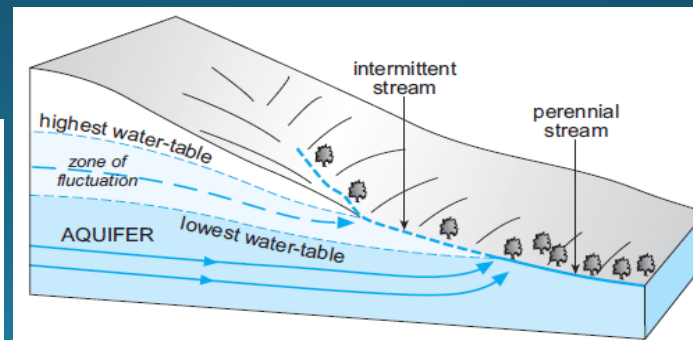
(B) WETLAND ECOSYSTEM IN HUMID REGION

individual ecosystems can be dependent upon (or using) groundwater from different depths in a multi-layered aquifer flow system



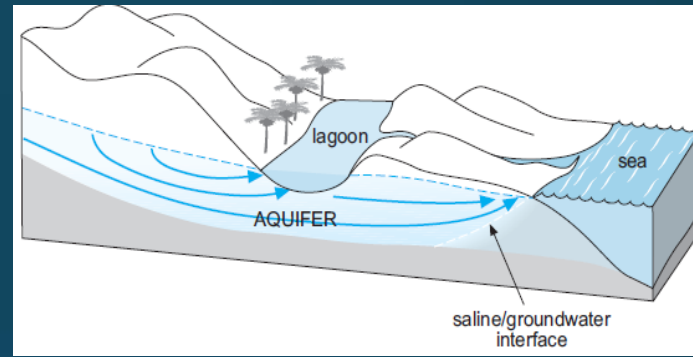
(C) AQUATIC STREAM-BED ECOSYSTEM IN HUMID REGION

variable ecosystem along upper reaches of river system in part fed by perennial groundwater discharge and in part by intermittent groundwater flow



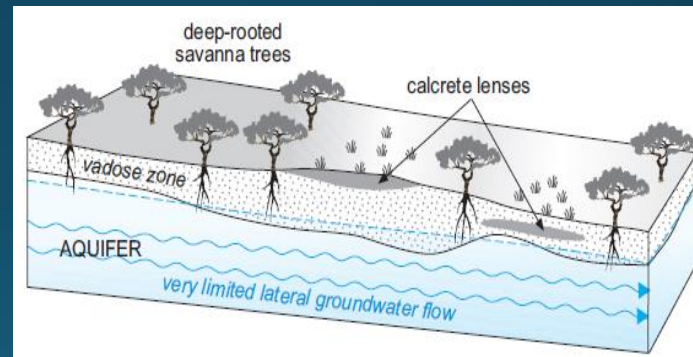
(D) COASTAL LAGOON ECOSYSTEM

ecosystem dependent upon slightly brackish water generated by mixing of fresh groundwater discharge and limited sea water incursion at exceptionally high tides



(E) TERRESTRIAL ECOSYSTEM IN ARID REGION

savanna ecosystem dependent upon exceptionally deep rooted trees and bushes which tap water table or its capillary fringe directly (distribution limited by thickness and degree of consolidation of sediments in the vadose zone)



1 HUMEDALES

Tipos de humedales



- Necesidad de clasificar los humedales: el primer paso para diseñar y abordar planes de gestión de los humedales de un territorio es clasificarlos.
- Hay varios tipos de clasificación en función de sus objetivos.
- En la actualidad, clasificar los humedales de un territorio es fundamentalmente una herramienta de gestión.



1 HUMEDALES

Tipos de humedales

Clasificación de la convención Ramsar.

No demasiado sistemática ni con base científica, pero sí práctica para los objetivos de la convención.

COSTEROS	Ramsar
Aguas marinas someras permanentes de profundidad inferior a 6 metros en marea baja	A
Lechos marinos submareales; incluye praderas de algas y fanerógamas	
Sistemas arenosos costeros; incluye sistemas dunares con depresiones inundadas, barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena y playas	B
Estuarios y deltas; aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas	E
Bancos mareales de lodo, arena o suelos salinos	F
Marismas y esteros mareales; incluye marismas y praderas halófilas, zonas inundadas por agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea	G
Estanques costeros o albuferas salobres o salados	H
Estanques y marismas costeros de agua dulce	J
	K
INTERIORES	
Tramos naturales de cursos de agua; incluye márgenes de ríos, arroyos y cascadas:	
-permanentes;	M
-estacionales, intermitentes o irregulares	N
Lagos (mayores de 8 ha)	
-de agua dulce	
-permanentes; incluye grandes madre viejas y meandros abandonados	O
-estacionales o intermitentes; incluye lagos en llanuras de inundación	P
-salinos, salobres o alcalinos	
-permanentes	Q
-estacionales o intermitentes	R
Lagunas, charcas, esteros y pantanos (menores de 8 ha)	
-salinos, salobres o alcalinos	
-permanentes	Sp
-estacionales o intermitentes; incluye lagunas endorreicas	Ss
-de agua dulce	
-permanentes; incluye zonas con vegetación palustre emergente	Tp
-estacionales o intermitentes; incluye depresiones y praderas inundadas estacionalmente	Ts

Turberas	U
Humedales y lagos de montaña; incluye praderas húmedas de montaña, charcas, lagunas originadas por el deshielo y lagos de origen glaciar (ibones)	Va
Humedales con vegetación arbustiva; incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva	W
Humedales boscosos de agua dulce; incluye bosques pantanosos de agua dulce y bosques inundados estacionalmente	Xf
Sistemas hídricos subterráneos en karst o en cuevas	Zk
ARTIFICIALES o MODIFICADOS (DE INTERÉS ECOLÓGICO)	
Estanques de acuicultura de interés ecológico	1
Estanques artificiales de interés ecológico; incluye grandes estanques de granjas, graveras y excavaciones abandonadas, estanques de depuradoras	2,7,8
Tierras inundadas de interés ecológico; incluye arrozales y praderas inundadas	3,4
Salinas	5
Algunas zonas de embalses de interés ecológico y que funcionan como humedales	6



1 TIPOS DE HUMEDALES

Clasificación hidrológica de humedales según criterios funcionales: muy útil para la gestión.

Factores hídricos básicos a definir:
Régimen hídrico (patrón de disponibilidad de agua)

Factores complementarios

Nivel de clasificación	1	2	3
A) MODO DE ALIMENTACIÓN	* Epigénicos (domina origen superficial)	* Agua meteórica (lluvia, nieve/hielo, niebla); escorrentía y flujos vadosos; agua de mar; mixto	
	* Hipogénicos (domina origen subterráneo)	* De acuífero libre * De acuífero confinado * Mixto	* Flujos locales; flujos regionales * Flujos regionales; subregionales; mezcla * Indicar flujos dominantes
	* Mixtos	* Aportes superficiales y subterráneos sin dominio de uno	* Indicar proceso dominante * Indicar longitud flujos
	* Costeros	* De aportes continentales * De aportes marinos * De aportes mixtos	* Indicar origen del agua (escorrentía o descarga de acuífero) * Indicar origen del agua continental
B) MODO DE VACIADO	* Abierto	* Escorrentía superficial * Infiltración	* Río, arroyo, manantial, recarga de acuífero libre,...
	* Cerrado		* Domina: evaporación / evapotranspiración
	* Mixto (sin dominio claro de uno u otro)		* Indicar procesos
	* Aprovechamiento humano		* Indicar modo: bombeo, drenaje, cultivo,...
C) HIDROPERIODO (duración y frecuencia de la inundación)	* Permanentes no fluctuantes * Permanentes fluctuantes	* Intervenidos : indicar tipo de intervención * Indicar causa de fluctuación	* Indicar rango de fluctuación
	* Temporales estacionales * Temporales erráticos	* Indicar periodicidad * Indicar periodicidad	* Indicar rango de fluctuación * Indicar rango de fluctuación
	* Mareales	* Micromareales * Mesomareales * Macromareales	* Indicar detalles adicionales * Indicar detalles adicionales * Indicar detalles adicionales
D) TASA DE RENOVACIÓN (balance de agua y sales)	* Alta * Media * Baja		* En los tres: indicar valores de los componentes del balance de agua y de sales, así como frecuencia y porcentaje de renovación
E) HIDROQUÍMICA	* Salinidad o mineralización	* Tipo hidroquímico	* Variabilidad espacial/temporal
F) HIDRODINÁMICA (configuración de los flujos en la cubeta y entre ésta y el terreno)			* Describir (disponible en muy pocos casos)

Sistema jerárquico de clasificación hidrológica de humedales en Inventario Español de Humedales (DGOH, 1991) y Plan Andaluz de Humedales (PAH, 2004)

(De Manzano et al., 1990)

1 TIPOS DE HUMEDALES

Plan Andaluz de Humedales (PAH, 2004)

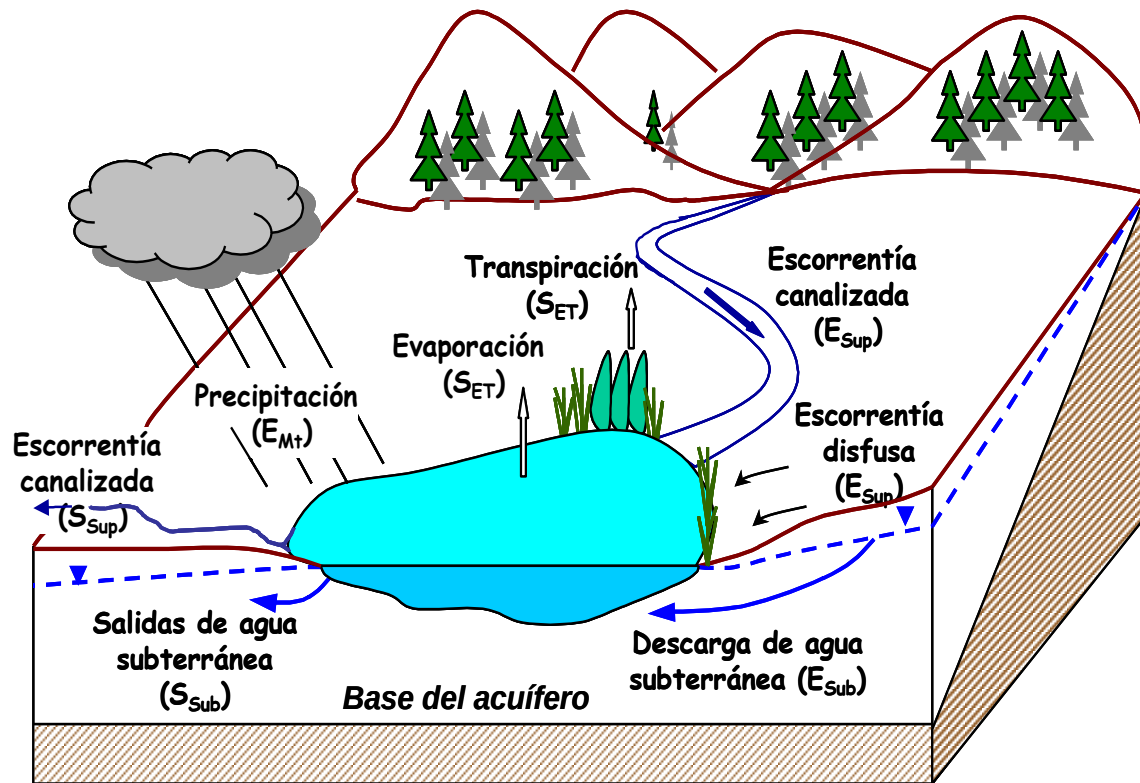
- Único plan integral de estudio, caracterización, conservación, recuperación y gestión de humedales de España convertido en una Ley Parlamentaria (Parlamento de la Junta de Andalucía). Incluye (entre otros):
 - ✓ Un “inventario abierto” de humedales
 - ✓ La existencia de un Comité de Humedales (gestores, científicos, ONG y usuarios)
 - ✓ La previsión de una partida presupuestaria anual para proyectos de investigación, caracterización, restauración, gestión, etc.
- Acceso a toda la información:

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=2269731f73277010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=f5119d7f4c335310VgnVCM10000001325e50aRCRD>

2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Procesos hídricos

PROCESOS DE APOORTE (E_x) Y DE EXTRACCIÓN DE AGUA (S_x) EN HUMEDALES



1) De flujo



(E: entrada)

(S: salida)

- Precipitación, niebla, rocío (E_{Mt})
- Flujo superficial (E_{Sup} y S_{Sup})
- Flujo mareal (E_{Mar} y S_{Mar})
- Flujo subterráneo (E_{Sub} y S_{Sub})
- Evaporación/transpiración (S_{ET})
- Mecanismos artificiales (E_{Art} y S_{Art})

2) De almacenamiento



El agua se almacena en la cubeta y en los sedimentos del fondo.

El almacenamiento varía con la superficie húmeda efectiva y con la extensión de la vegetación hidrofítica.

2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Balance hídrico

Consiste en identificar y cuantificar los procesos y mecanismos de entrada, almacenamiento y salida de agua que existen en un humedal concreto.

BALANCE HÍDRICO EN EL HUMEDAL



$$\begin{array}{ccc} \text{Entradas} & - & \text{Salidas} & = & \Delta S \\ \hline \begin{array}{l} E_{\text{Sup}} \\ E_{\text{Sub}} \\ E_{\text{Mt}} \\ E_{\text{Art}} \end{array} & & \begin{array}{l} S_{\text{Sup}} \\ S_{\text{Sub}} \\ S_{\text{ET}} \\ S_{\text{Art}} \end{array} & & \begin{array}{l} \text{Variación} \\ \text{del agua} \\ \text{almacenada} \end{array} \end{array}$$

Expresión: ecuaciones de balance de masa de agua para un tiempo y volumen establecidos en función de los objetivos y uso posterior.

Utilidad: estudiar posibles afecciones al funcionamiento natural y dar apoyo a planes de gestión.

Balances detallados: pueden requerir cuantificar flujos relevantes sólo a escala local.

En general: se requiere realizar mediciones sistemáticas durante >2-3 años.

2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Balance de solutos

Balance
de sales



Entradas totales vs Salidas totales de cada soluto de interés (NO_3 , PO_4 , ...)

Considerar la posible generación y/o consumo internos debido a reacciones químicas y bio-geo-químicas (ver reacciones más comunes detrás)

$$\underbrace{\begin{array}{c} \text{Entradas} \\ ME_{\text{Sup}} \\ ME_{\text{Sub}} \\ ME_{\text{Mt}} \end{array}} - \underbrace{\begin{array}{c} \text{Salidas} \\ MS_{\text{Sup}} \\ MS_{\text{Sub}} \\ MS_{\text{ET}} \end{array}} = \underbrace{\Delta M_S}_{\substack{\text{variación} \\ \text{de masa}}}$$

ME, S_x : Masa total del componente químico estudiado aportado (E) o extraído (S) del agua almacenada en el humedal por cada proceso hídrico X.

ΔM_S : Variación neta de masa (incluye reacciones dentro del humedal)

Utilidad: estudiar posibles afecciones al funcionamiento natural y dar apoyo a planes de gestión.

2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Balance de solutos

Precipitación y disolución de sólidos y transferencia a la atmósfera debido a cambios de pH y/o Eh. Ej.:

- Reducción de SO_4 a S y precipitación (+ posible oxidación y re-disolución)
- Reducción de NO_3 a N gas y escape o incorporación a sedimentos
- Atrapamiento y emisión de CO_2
- Precipitación de CaCO_3 por escape de CO_2 + subida del pH

Precipitación y disolución debidas a cambios de salinidad por efecto de mezcla entre aguas de origen distinto, por evapoconcentración, por cambios (naturales o inducidos) en las proporciones de agua de distintas fuentes que entran al humedal, etc.. Ej.:

- Precipitación de CaSO_4 (y NaCl) en época seca y disolución en época húmeda (a largo plazo puede salinizar el humedal)
- Cambios en la proporción agua dulce/agua marina (humedales costeros) e inducción de reacciones químicas.

Reciclado de nutrientes: los organismos vivos extraen y aportan solutos a /del agua (N, P, O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S , Ca, Mg, Sr, Si,...).

Reacciones
químicas
y
bio-geo-
químicas
más
comunes

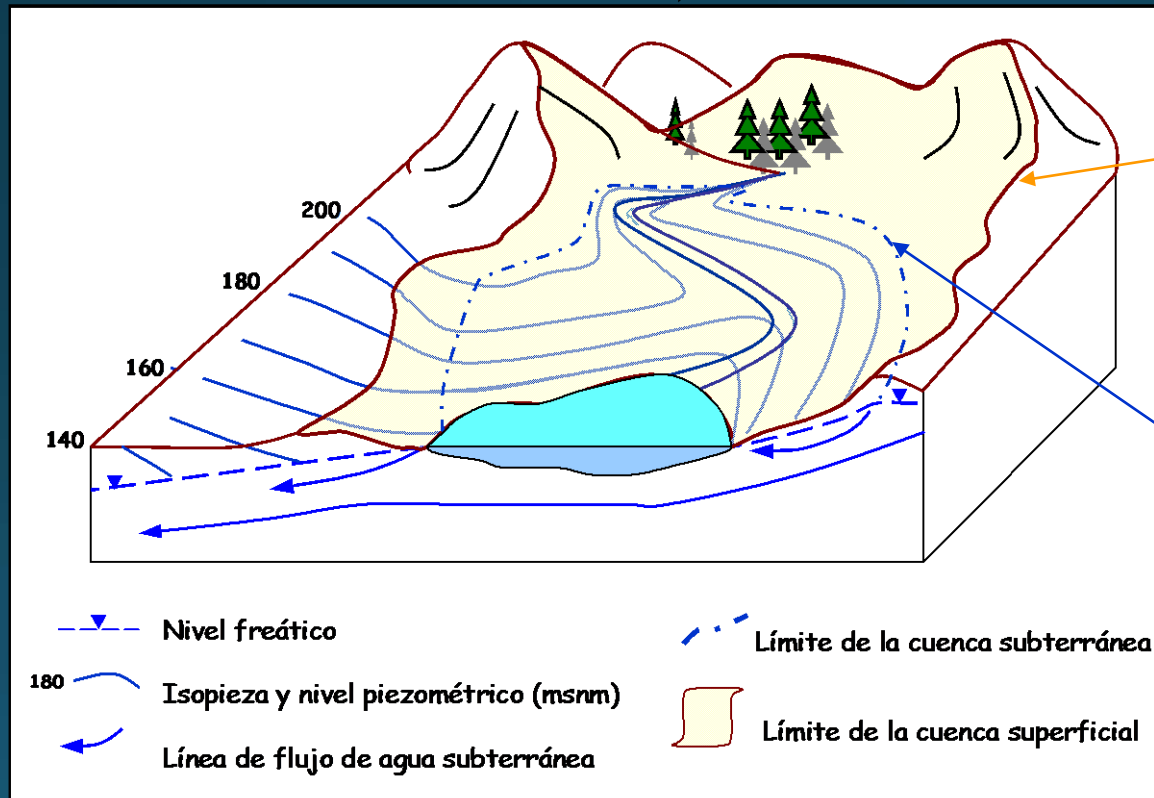
2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Papel del agua subterránea

Procesos hídricos
subterráneos relevantes:
Recarga, Evaporación,
Transpiración, Flujo

Ocurren en la cuenca de recepción (volumen de terreno en 3D que aporta agua al humedal)

Cuenca de recepción: dos componentes cuyos límites físicos no siempre coinciden



Cuenca superficial:
superficie de terreno
vertiente que aporta la
escorrentía superficial
hacia el humedal

Cuenca subterránea:
volumen de terreno
acuífero que puede
aportar flujos de agua
subterránea al humedal

2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Papel del agua subterránea

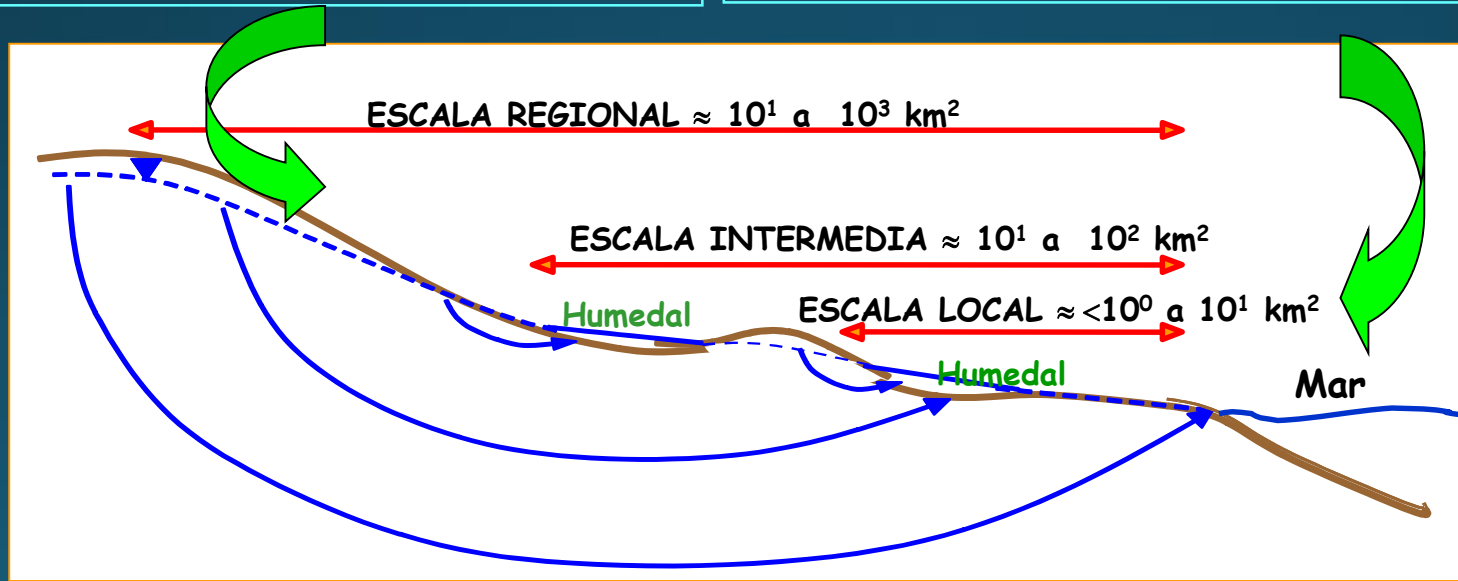
*Procesos hídricos subterráneos: ocurren a distintas escalas espaciales y temporales.
En muchos casos dominan los de una escala determinada*

Relevantes a escalas regional e intermedia:

- Variabilidad temporal/espacial de P
- Variabilidad escurrentía concentrada
- Cambios (naturales/influenciados) en la red de flujo subterráneo
- Cambios en la composición química de la lluvia y del terreno + reacciones hidrogeoquímicas

Relevantes a escala local: variabilidad estacional de

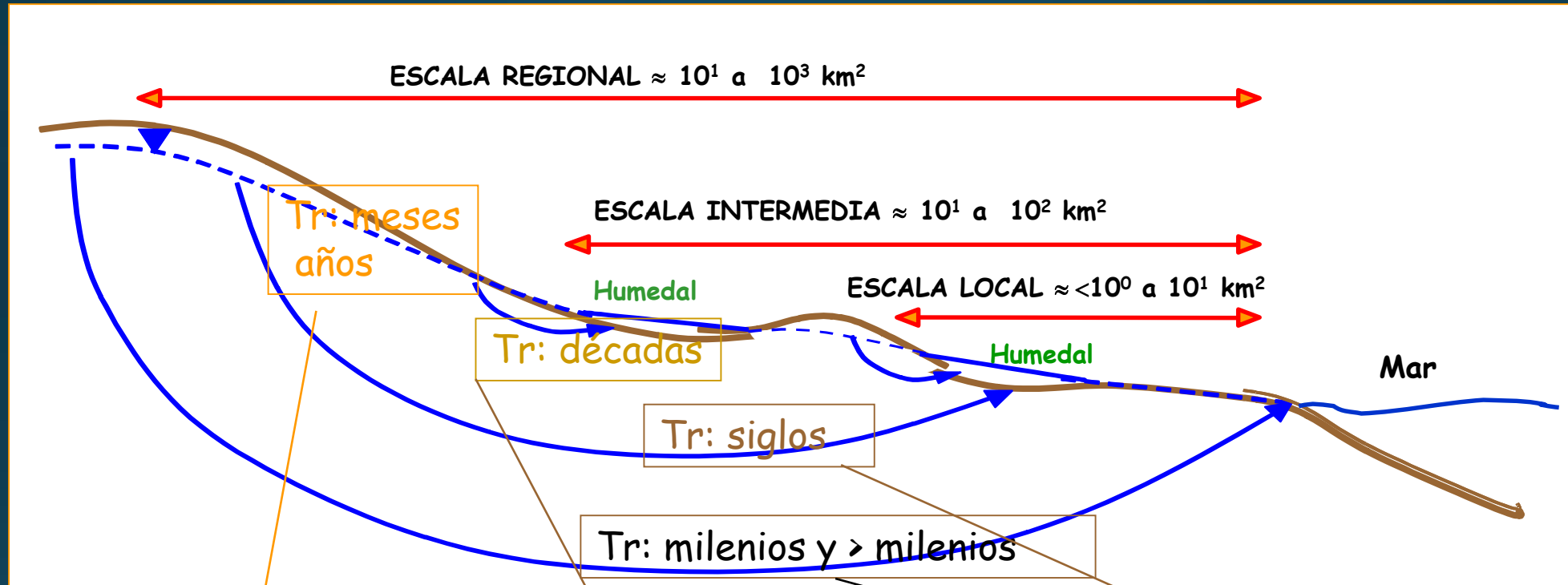
- La precipitación sobre el humedal y su entorno cercano
- La escurrentía difusa
- La evaporación y la transpiración
- Los gradientes hidráulicos entre el humedal y el terreno
- Las reacciones hidro- y biogeoquímicas en la cubeta



2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Papel del agua subterránea

Influencia del agua subterránea sobre la hidroquímica de un humedal



Aportes superficiales: cantidad, calidad y regularidad variables

- Mineralización baja
- Con impacto humano
- Composición algo variable
- Descarga variable

Aportes subterráneos: generalmente mayor calidad y regularidad

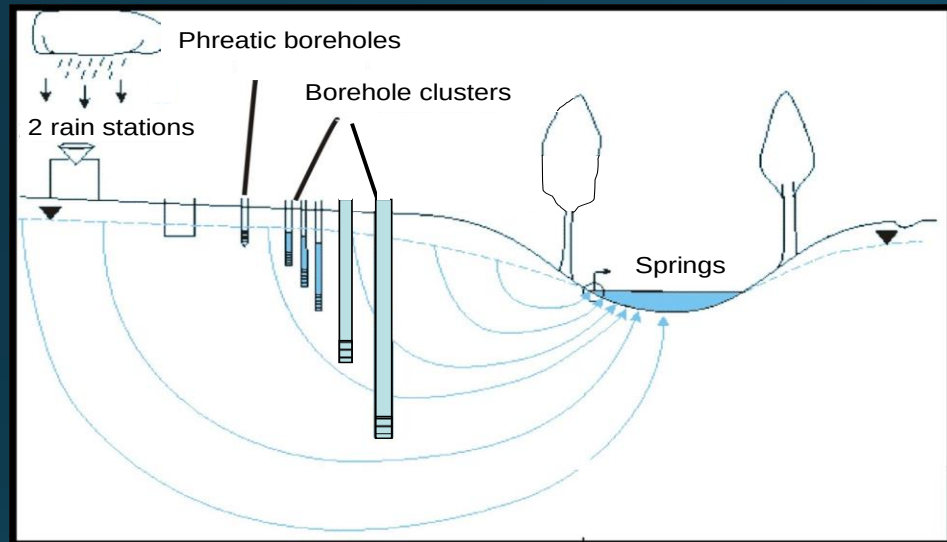
- Mineralización media
- Con impacto humano
- Composición quizás variable (lentamente)
- Descarga poco/nada variable (lentamente)

- Mineralización elevada
- Sin impacto humano
- Composición muy estable (o variable muy lentamente)
- Descarga estable

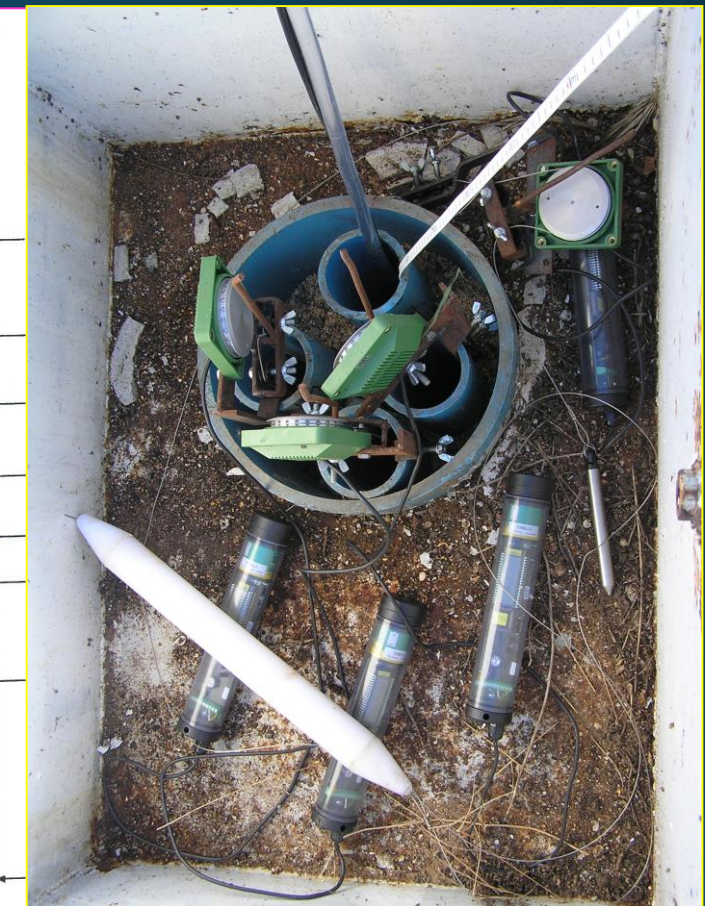
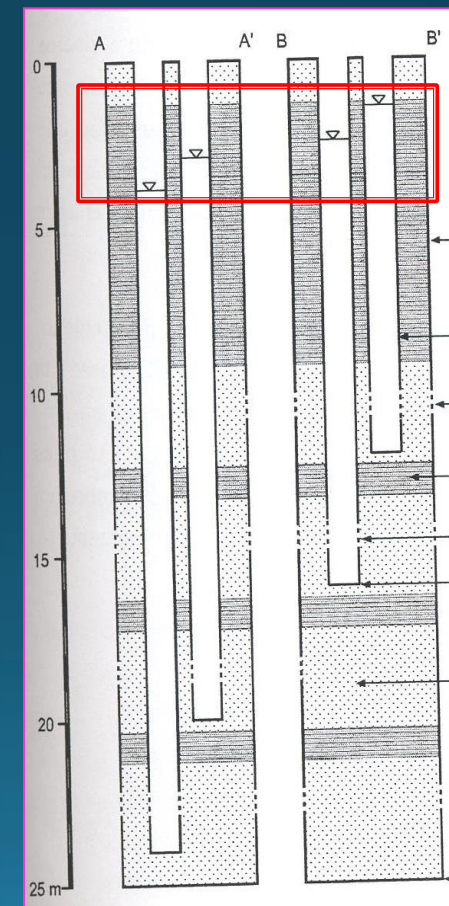
2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Métodos de estudio y cuantificación de flujos de agua y procesos hidrogeoquímicos

Todos los métodos hidrológicos e hidrogeológicos estándar, más algunos específicos para observaciones a pequeña escala

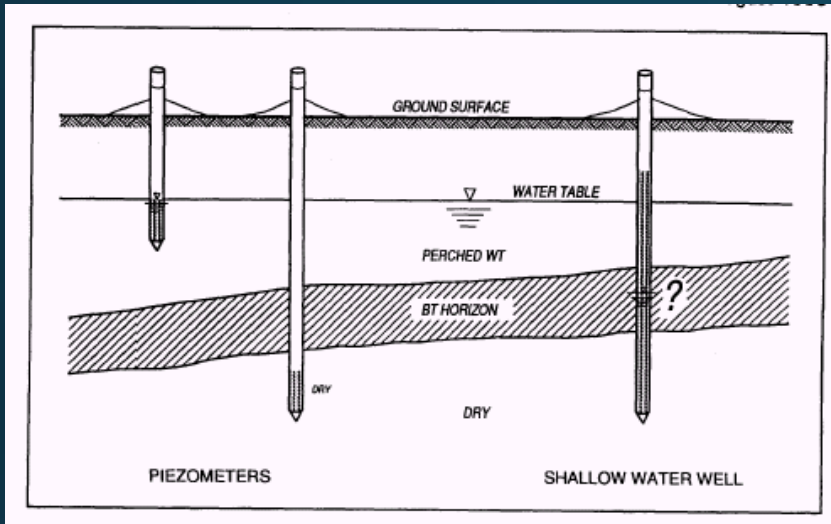


- Muestreo y análisis de agua de lluvia y de escorrentía superficial
- Piezómetros nido y emplazamientos múltiples para observar gradientes verticales
- Ensayos de trazador a escala reducida
- Muestreo de agua intersticial para análisis químico e isotópico
- Etc.



2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Métodos de estudio y cuantificación de flujos de agua y procesos hidrogeoquímicos

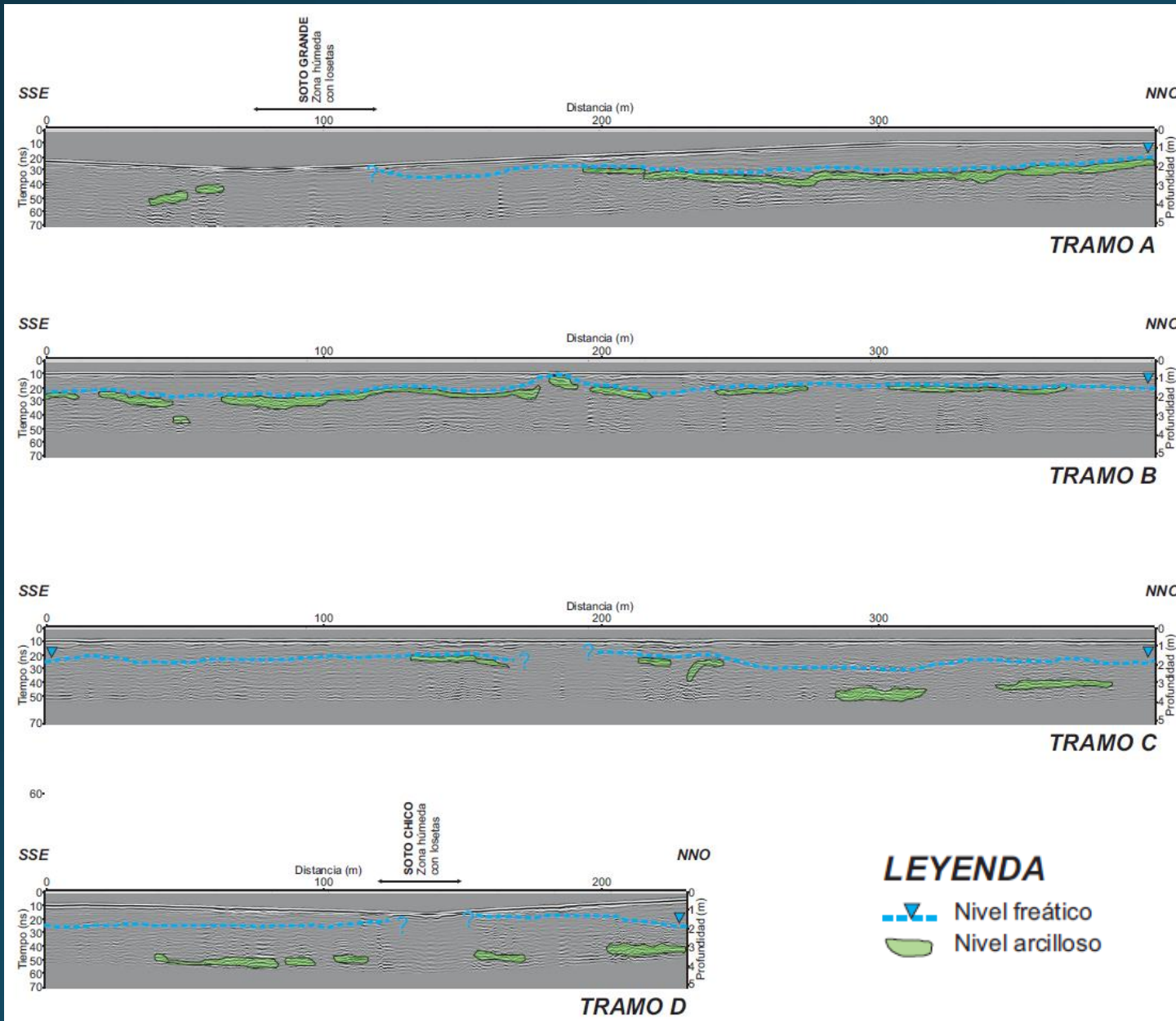


- Mini piezómetros para estudiar posibles niveles colgados o flujos hipodérmicos en el entorno cercano a las cubetas de los humedales.



2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Métodos de estudio y cuantificación de flujos de agua y procesos hidrogeoquímicos



TÉCNICAS GEOFÍSICAS

Georadar: identificación y cartografía de la profundidad del nivel freático junto a / bajo humedales; existencia de capas de arcillas que generan niveles freáticos colgados



Gómez-Ortiz et al. (2005). *Journal of Applied Geophysics* Volume 72, Issue 2, October 2010, Pages 107–113

2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Métodos de estudio y cuantificación de flujos de agua y procesos hidrogeoquímicos

Trazadores químicos e isotópicos útiles para estudiar los flujos entre humedales y aguas subterráneas a cualquier escala espacial

Tracer	Characteristics	Type of problems being addressed
^2H , ^{18}O	- stable isotopes of hydrogen and oxygen; - part of water molecule	- quantification of water balance - interaction with adjacent groundwater field
$^3\text{H}/^3\text{He}$	- radioactive isotope of hydrogen (^3H) and its daughter product, ^3He (noble gas)	- "dating" of lake water - intensity of vertical mixing
CFCs: Freon-11 Freon-12	- trace gases present in the atmosphere - soluble in water	- "dating" of lake water - intensity of vertical mixing
SF_6	- inert gas artificially injected into a lake	- quantification of vertical and horizontal mixing
Dyes	- substances injected into surface inflows to lakes (rivers, canals, pipes)	- delineation of pollutant plumes - identification of stagnant zones and preferential pathways in lakes

Además:

Trazador: ^{222}Rn .

Características: Isótopo litogénico, de la progenie del U. Al ser una gas, las aguas superficiales tienen muy baja actividad mientras que las subterráneas tienen actividades muy variadas y contrastadas según la litología del acuífero.

Utilidades: Identificación de descarga difusa de aguas subterráneas a humedales y ríos; cuantificación de flujos; identificación de la procedencia litológica de los flujos.

Estatus: aplicabilidad bien probada y gran facilidad de medición en campo.

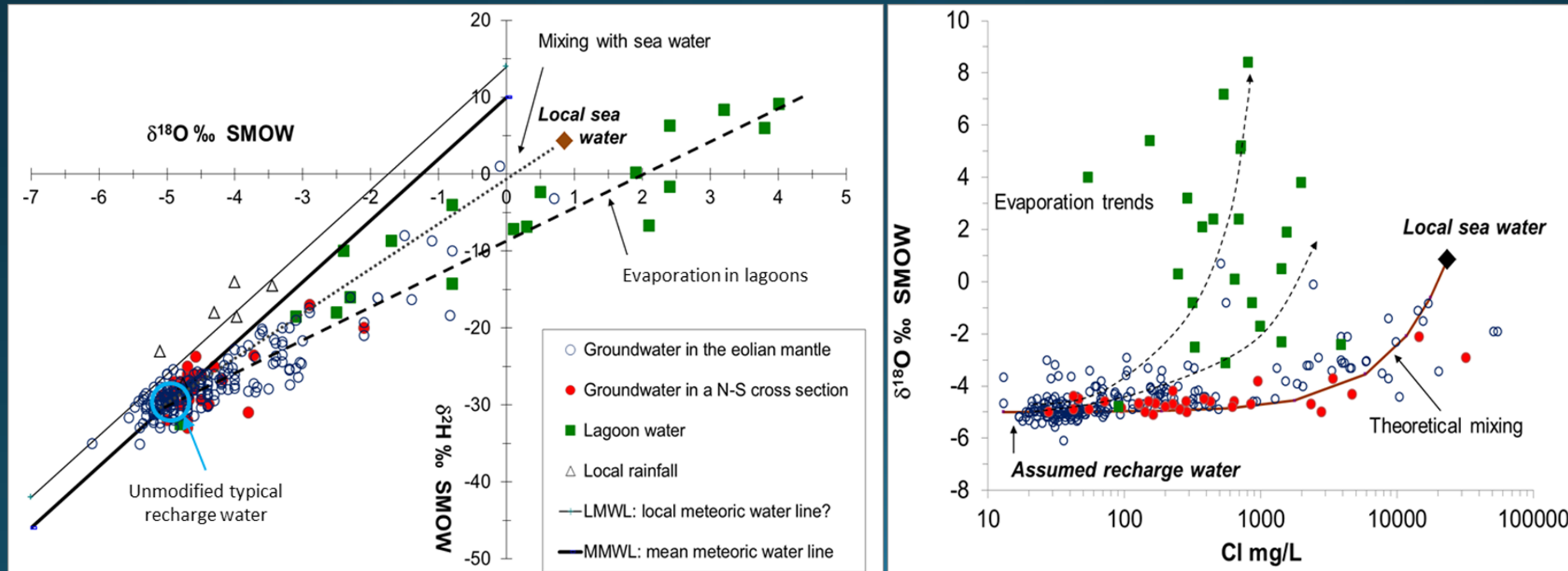
2 REQUISITOS DE CONOCIMIENTO PARA LA GESTIÓN: HIDROLOGÍA DE HUMEDALES

Métodos de estudio y cuantificación de flujos de agua y procesos hidrogeoquímicos

ORIGEN DE LA SALINIDAD EN LAGUNAS COSTERAS SALOBRES DE DOÑANA (SW ESPAÑA)

Lagunas peridunares (al pie de frentes de duna activos) costeras. Hay dos fuentes de salinidad:

- 1) Mezcla de agua subterránea con aerosol marino
- 2) Concentración por evaporación del agua en las cubetas



3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Conocimiento hidrológico sobre los humedales

- Actualidad: información abundante sobre “tipos” de humedales (aunque se deben realizar estudios en humedales específicos)
- Generada en los últimos 20-30 años (especialmente en últimos 15 años)
- Debido en buena medida a la instauración de legislaciones con enfoque medioambiental (ej. Directiva Marco de Aguas UE; Water Act Australia, USA, Canadá,...)

Nuevas tendencias mundiales sobre gestión de recursos hídricos

- Enfoque integral (Integrated Water Resources Management), pero con fuerte componente medioambiental.
- Ejemplos: Directiva Marco de Aguas UE; lema de la Cumbre de París de la International Water Association en 2016: “Towards a world in which water is wisely managed to satisfy the needs of human activities and ecosystems in an equitable and sustainable way”

Condición para integrar la gestión de todos los recursos hídricos con éxito

- Apoyar la gestión en objetivos basados en el bienestar humano (presente y futuro).

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

- Año 2005: Naciones Unidas, proyecto Evaluación de los Ecosistemas el Milenio (Millenium Ecosystems Assessment, MEA).
- “Un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y el medio ambiente inorgánico que interactúan como una unidad funcional. Los seres humanos son parte integral de los ecosistemas.”
- Los ecosistemas prestan “servicios” al ser humano:

“Los servicios que prestan los ecosistemas son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos beneficios contemplan servicios de suministro, como los alimentos y el agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, las sequías, la degradación del suelo y las enfermedades; servicios de base, como la formación del suelo y los ciclos de los nutrientes; y servicios culturales, como los beneficios recreacionales, espirituales, religiosos y otros beneficios intangibles.”

- Proyecto MEA: diseñado para “satisfacer las necesidades de los responsables de la toma de decisiones, y del público general, de información científica acerca de las consecuencias para el bienestar humano de los cambios que ocurren en los ecosistemas y de las opciones para responder a esos cambios”. Réplicas del proyecto



3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

- **Enfoque Ecosistémico (EE):** marco conceptual muy valioso para analizar las relaciones entre el ser humano y el medio ambiente.
- **Metodología de aplicación:**
 1. Identificar los servicios concretos que presta el ecosistema (humedal) que se desea evaluar.
 2. Evaluar en qué estado de funcionalidad están actualmente esos servicios y cuál es su tendencia de evolución observada o prevista (bajo escenarios plausibles).
 3. Identificar los principales factores (causas) que producen cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y sus servicios.
 4. Evaluar el nivel de impacto (negativo y/o positivo) de esos factores sobre la funcionalidad de los servicios, así como la tendencia de evolución observada o prevista para cada impacto.
 5. **Utilizar la información anterior para la gestión. Ejemplos:**
 - Realizar cartografías de servicios (de sus estados de funcionalidad, de sus tendencias de evolución, del grado de impacto de los factores de estrés, etc.) y usarla como apoyo para el diseño de planes de ordenación territorial, por ejemplo seleccionando los servicios que se desean fomentar en un territorio.

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Identificación de servicios

- Necesidad de estandarización
- Listados servicios

LISTA SERVICIOS MEA (2005b)

Table 1. ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY OR DERIVED FROM WETLANDS

Services	Comments and Examples
Provisioning	
Food	production of fish, wild game, fruits, and grains
Fresh water*	storage and retention of water for domestic, industrial, and agricultural use
Fiber and fuel	production of logs, fuelwood, peat, fodder
Biochemical	extraction of medicines and other materials from biota
Genetic materials	genes for resistance to plant pathogens, ornamental species, and so on
Regulating	
Climate regulation	source of and sink for greenhouse gases; influence local and regional temperature, precipitation, and other climatic processes
Water regulation (hydrological flows)	groundwater recharge/discharge
Water purification and waste treatment	retention, recovery, and removal of excess nutrients and other pollutants
Erosion regulation	retention of soils and sediments
Natural hazard regulation	flood control, storm protection
Pollination	habitat for pollinators
Cultural	
Spiritual and inspirational	source of inspiration; many religions attach spiritual and religious values to aspects of wetland ecosystems
Recreational	opportunities for recreational activities
Aesthetic	many people find beauty or aesthetic value in aspects of wetland ecosystems
Educational	opportunities for formal and informal education and training
Supporting	
Soil formation	sediment retention and accumulation of organic matter
Nutrient cycling	storage, recycling, processing, and acquisition of nutrients

* While fresh water was treated as a provisioning service within the MA, it is also regarded as a regulating service by various sectors.

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Identificación de servicios

- Lista servicios proyecto Ecomilenio
(www.ecomilenio.es)

Tipo de servicio	Servicio	
ABASTECIMIENTO	Alimentos	Agricultura
		Acuicultura
		Recolección de plantas y frutos silvestres
	Agua de buena calidad	Agua para todo uso
	Materias primas de origen biológico	Turba/madera/leña
	Materias primas de origen mineral	Sales y carbonatos
		Agua mineral
		Metales
	Energías renovables	Energía hidráulica
		Energía geotérmica
	Medicinas naturales y principios activos	
REGULACION	Regulación climática local y regional	Mantenimiento de vegetación
		Almacenamiento de CO ₂
	Regulación hídrica	Aumento de la disponibilidad
		Mejora de la calidad
	Regulación morfosedimentaria	
	Formación y fertilidad del suelo	
CULTURALES	Regulación de las perturbaciones naturales	
	Conocimiento científico	
	Conocimiento ecológico local	
	Identidad cultural y sentido de pertenencia	
	Disfrute espiritual y religioso	
	Paisaje-Servicio estético	
	Actividades recreativas y ecoturismo	
	Educación ambiental	

Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012



Report to the European Environment Agency

Revised January 2013

EEA Framework Contract No:
EEA/11.18/001

Prepared by:

Kay Harber-Yasarg and Maria Pasachis,
Centre for Environmental Management,
University of Nottingham, UK

Contact:

Kay Harber-Yasarg
Centre for Environmental Management,
School of Geography, University of Nottingham
Nottingham, NG7 2RD
Email: kay.harber-yasarg@nottingham.ac.uk

- Lista servicios European Environmental Agency

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Evaluación de servicios: ¿en qué consiste?

- **MEA (2005):** evaluar el estado actual de funcionalidad de cada servicio y la tendencia de evolución observada o prevista en el futuro (bajo escenarios plausibles).
- **Método estándar de evaluación** (para poder comparar resultados en todo el mundo) que usa un código de colores (semafórico) y flechas.
- La evaluación se realiza con base en indicadores. (Hay listas de indicadores, pero las posibilidades de la mucha y variada información y datos existentes son múltiples).

[illegible]

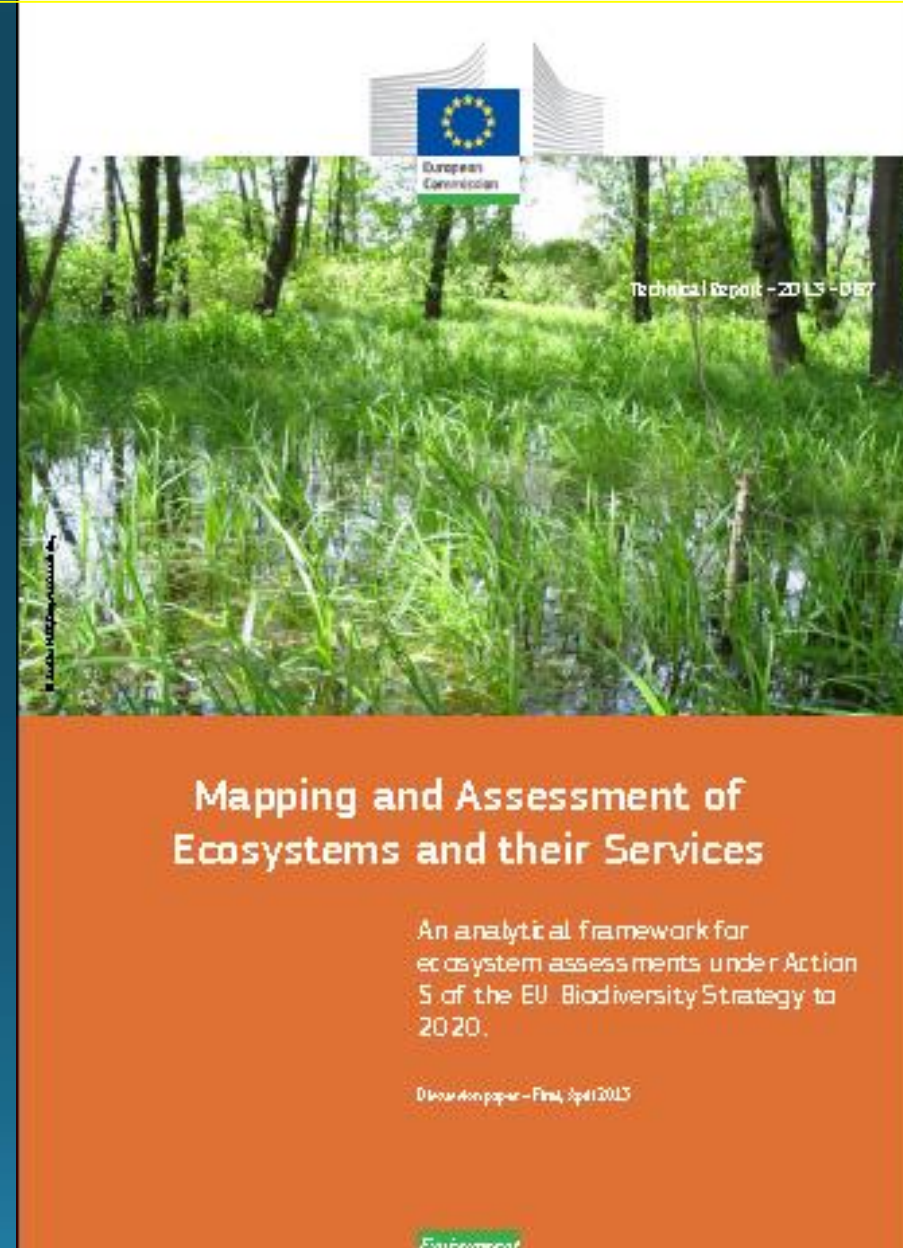
3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Ejemplo de indicadores usados
en el proyecto
Ecomilenio (2011)
(www.ecomilenio.es)
para evaluar los servicios de las
aguas subterráneas

Provisioning	Class	Class type	Indicators	Data sources, proxies, models	Notes
	Cultivated crops	<i>Crops by amount, type</i>	1) Data on the evolution of GW-irrigated cultivated surface. 2) Data on the evolution of vegetables/cereals production from GW irrigated areas.	Sources: 1) Yearly reports of the Environment and Agriculture Ministries (for example: MMA, 2006; MAPA, 2002; MARM, 2010; MAGRAMA, 2013); 2) Reports from the Sustainability Observatory of Spain, OSE (for example: OSE, 2007, 2010, 2012); 3) Yearly reports from the National INstitute for Statistics (for example, INA 2010); 4) GW users associations (in Spain, Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas) data bases; 5) Especific scientific papers (for example De Miguel García, 2007; Castaño et al., 2010; Aldaya et al., 2008, 2010a, 2010b).	Data bases not always updated, not always available, not always complete.
	Reared animals and their outputs	<i>Animals, products by amount, type</i>	NA	NA	NA
	Wild plants, algae and their outputs	<i>Plants, algae by amount, type</i>	1) Data on enterprises collecting wild plants (for food, cosmetic, pharmaceutical uses) that exist only because the water table is shallow.	Sources: 1) Yearly reports of the Agriculture and Food Ministry on aquaculture activities; 2) Data bases of local/national economic activities; 3) Specific scientific papers (for example: González-Bernárdez y Rey, 1992; Rey et al., 1990; Muñoz-Reinoso, 2001).	Data bases not always updated, not always available, not always complete.
	Wild animals and their outputs	<i>Animals by amount, type</i>	NA	NA	NA
	Plants and algae from in-situ aquaculture	<i>Plants, algae by amount, type</i>	1) Yearly production of rice/other products irrigated with local GW, either naturally discharging (to wetlands) or abstracted.	Sources: 1) Yearly reports of the Agriculture and Food Ministry on aquaculture activities (http://www.magrama.gob.es/app/jacumar/datos_produccion/lista_datos_produccion.aspx?id=es); 2) Yearly reports of the Spanish Association of Marine Cultives Production (APROMAR; for example, APROMAR, 2013); 3) Specific scientific papers.	Data bases not always updated, not always available, not always complete.

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

*Herramientas de apoyo a la gestión:
Cartografía de servicios (MAES, 2013)*



3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Evaluación de factores de estrés para los humedales y sus servicios: ¿en qué consiste?

- MEA (2005): identificar y evaluar el nivel de impacto actual y la tendencia de evolución del mismo de un conjunto de factores que producen cambios directos en el funcionamiento de los ecosistemas y en los servicios que estos proporcionan al bienestar humano (*Drivers of change*).
- Algunos factores de estrés para humedales:

Cambios en la red hídrica de la cuenca ocasionados por

- Drenaje
- Canalización de flujos
- Construcción de diques, levees..
- Minería
- Vertido material de relleno
- Explotación intensiva de agua subterráneas
- Otros

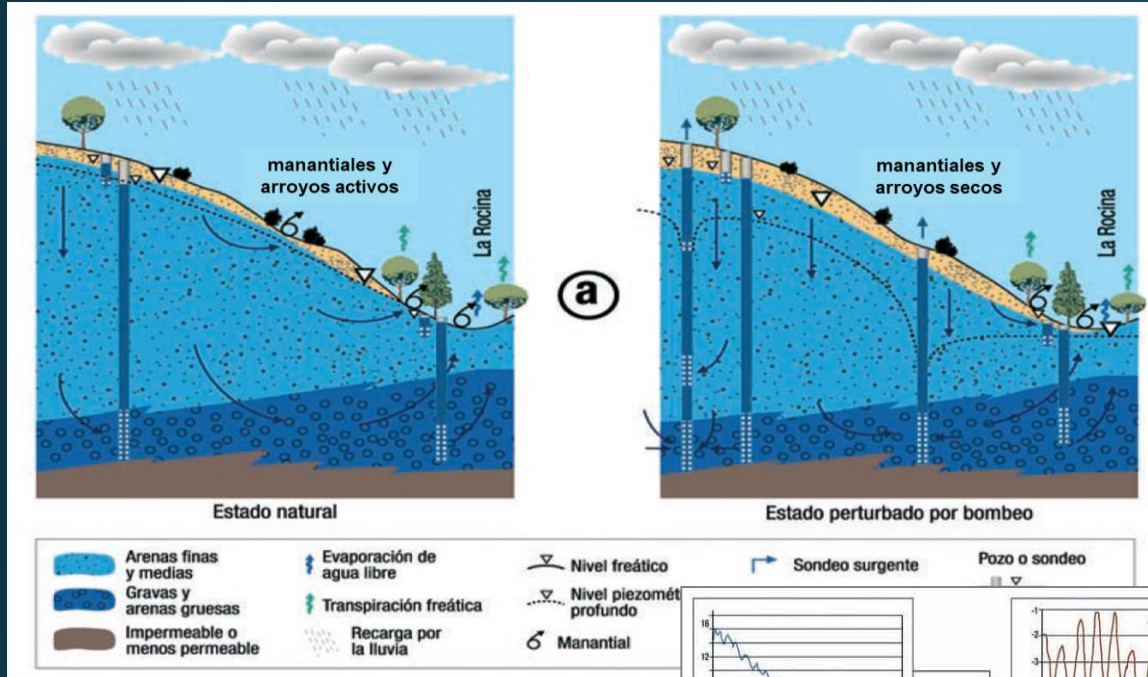
Cambios de usos del suelo

- Manejo forestal
- Agricultura
- Desarrollo y expansión urbana
- Otros

Cambio climático y cambio global

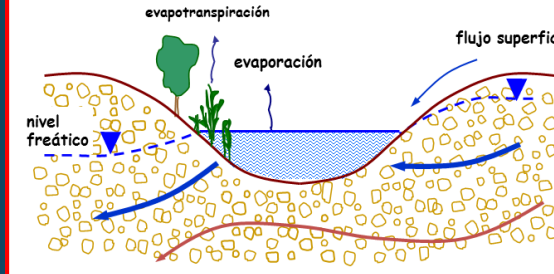
- Modificación de la precipitación
- Modificación de la temperatura
- Modificación del nivel dl mar
- Otros

Ejemplo: impacto de la explotación intensiva de aguas subterráneas sobre los humedales de Doñana (SW España)

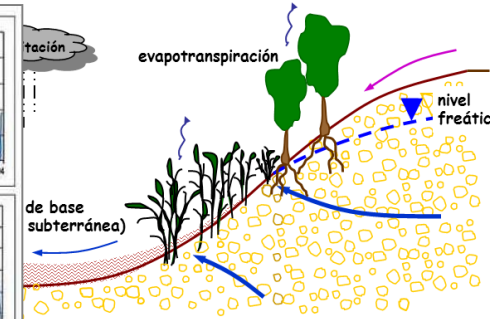


Principales tipos de humedales de agua dulce

Charcas y lagunas de flujo a través

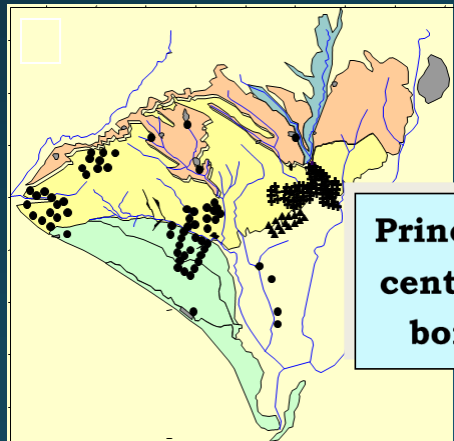


Arroyos, caños y cañadas hipogénicas

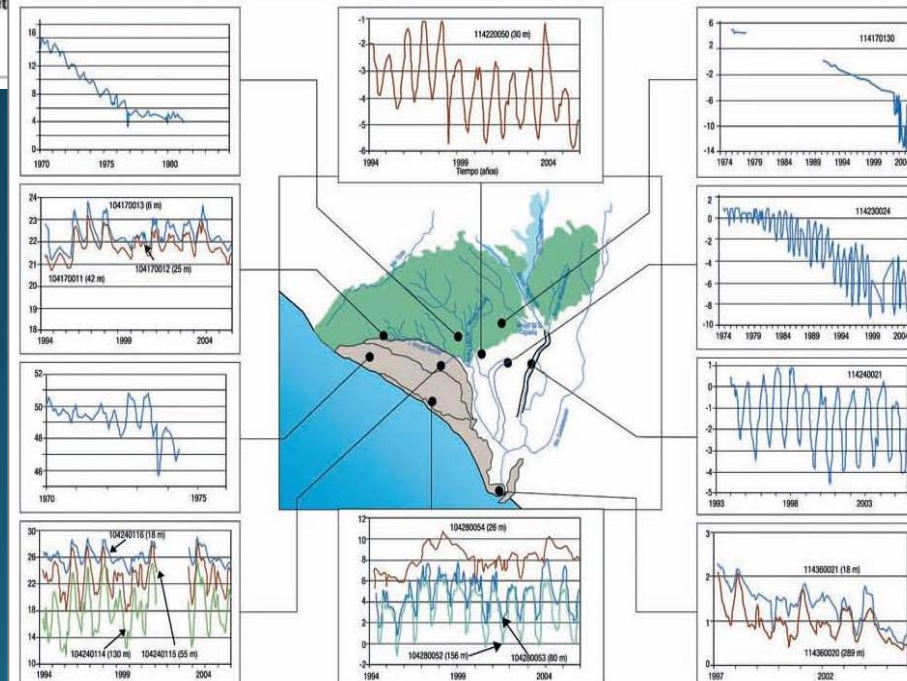


Lagunas y arroyos: vinculados a líneas de flujo de agua subterránea someras

Modificado de Manzano et al. (2013)

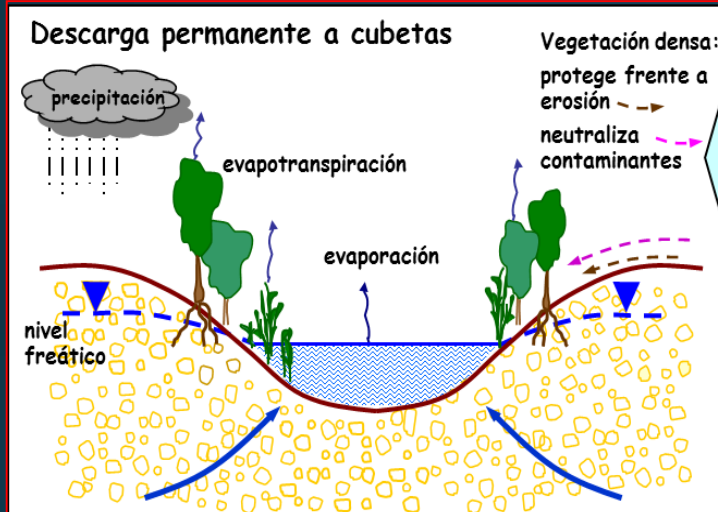


Principales centros de bombeo

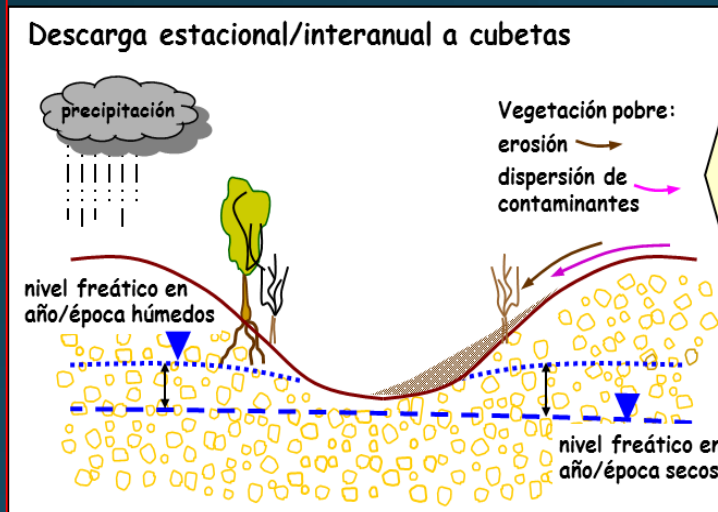
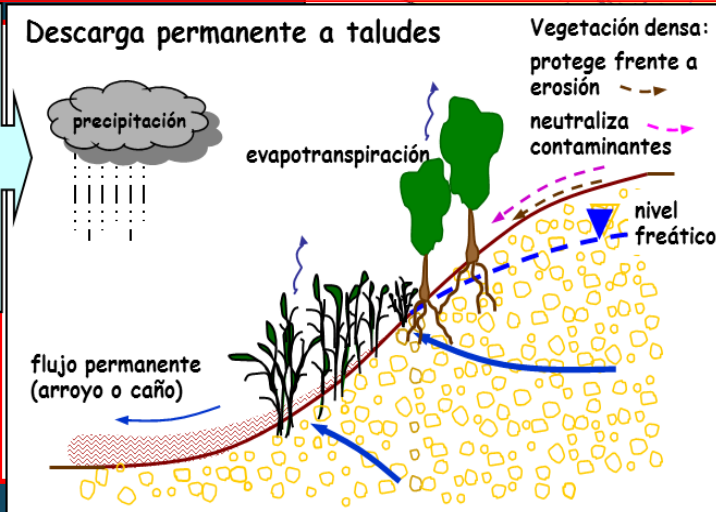


Manzano et al. (2005)

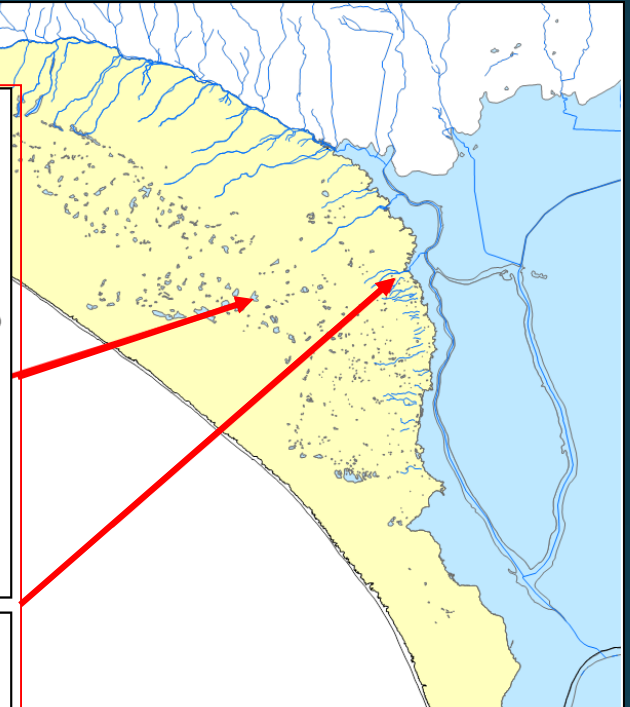
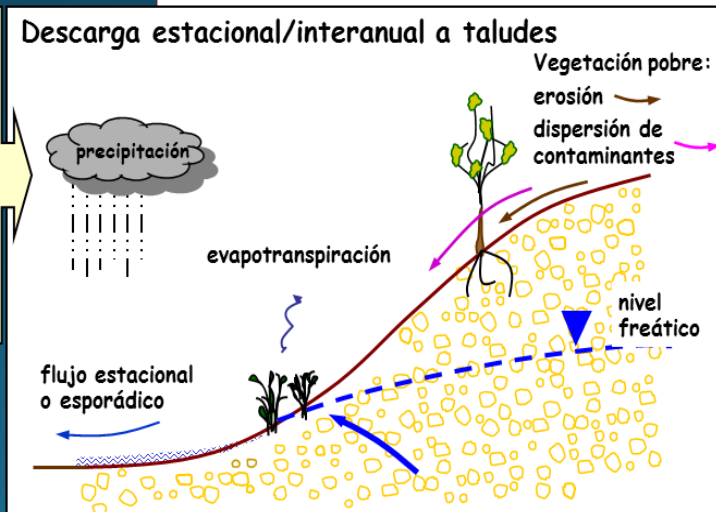
Ejemplo: impacto de la explotación intensiva de aguas subterráneas sobre los humedales de Doñana (SW España)



**AÑO
HÚMEDO
O
ACUÍFERO
EN
RÉGIMEN
NATURAL**



**AÑO
SECO
O
ACUÍFERO
EN
RÉGIMEN
PER-
TURBADO**



*Lagunas y arroyos:
vinculados a líneas de
flujo de agua
subterránea someras*

Modificado de
Manzano et al. (2013)

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Evaluación de factores de estrés para los humedales y sus servicios

- MEA (2005): Método estandarizado de evaluación que utiliza una escala gráfica de colores y flechas y se apoya en indicadores.

Impact of drivers		Trends of drivers	
	High	↑	Very rapidly increasing
	Moderate	↗	Moderately increasing
	Low	→	Continuing
	Non-existent	↘	Moderately decreasing
	Unknown	↓	Very rapidly decreasing

MEDITERRANEAN GROUNDWATER RELATED COASTAL WETLANDS INVENTORIED																																											
Main direct drivers of change in wetland systems																																											
Inventory number	Name of wetland, Country	Type	Resource exploitation												Changes in land use								Modification of the hydrological cycle				Pollution			Alteration of biological community structures and ecosystem functioning	Effects associated with changes				Global and climate changes								
			Water abstraction				Biological exploitation				Mineral exploitation																																
			From wetland	From tributaries	Groundwater next to the wetland	Groundwater basin	Crops	Forest	Cattle raising	Fishing	Others	Fuel	Salts	Soils	Rocks	Others	Deforestation	Reforestation	Forest management	Replacement of species	Extensive agriculture	Extensiva cattle raising	Urbanization	Roads	Others	Drainage	Input of excess irrigation	Storage usage	Artificial recharge		Input of urban wastewater	Others	Agricultural diffuse pollution	Atmospheric diffuse pollution	Urban/industrial point source pollution	Invasive exotic species	Native species extinction	Alteration of biogeochemical cycles	Fragmentation	Chemical water quality	Biological water quality	Oxidation by lowering water table	Increased erosion
1	Butrinti, Albania	2H		→		→				→										→	→							→			→		→		→						↘	→	→
2	Guerbes, Algeria	2HKN		→	→	→	→							→				→	→	→	→	→		→	→	→		→						→							↘	→	→
3	Hutovo Blato, Bosnia and Herzegovina	2ENPQS	↑	↑	↑	↑	→					→						→	→	→	→	→		→	→	↑	→	→	→	→	→	↘	→	→	→	↑	→	→	34	→	→	→	→

Evaluación del nivel de impacto y la tendencia de evolución del mismo en humedales costeros mediterráneos (UNEP-MAP, UNESCO-IHP, 2015)

3 NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

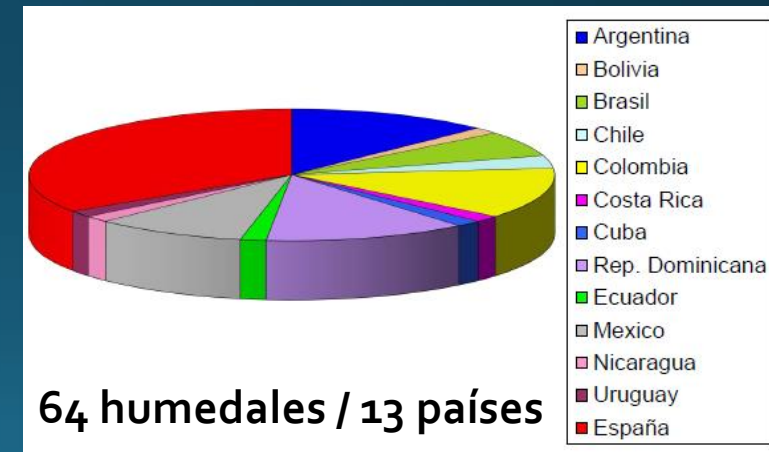
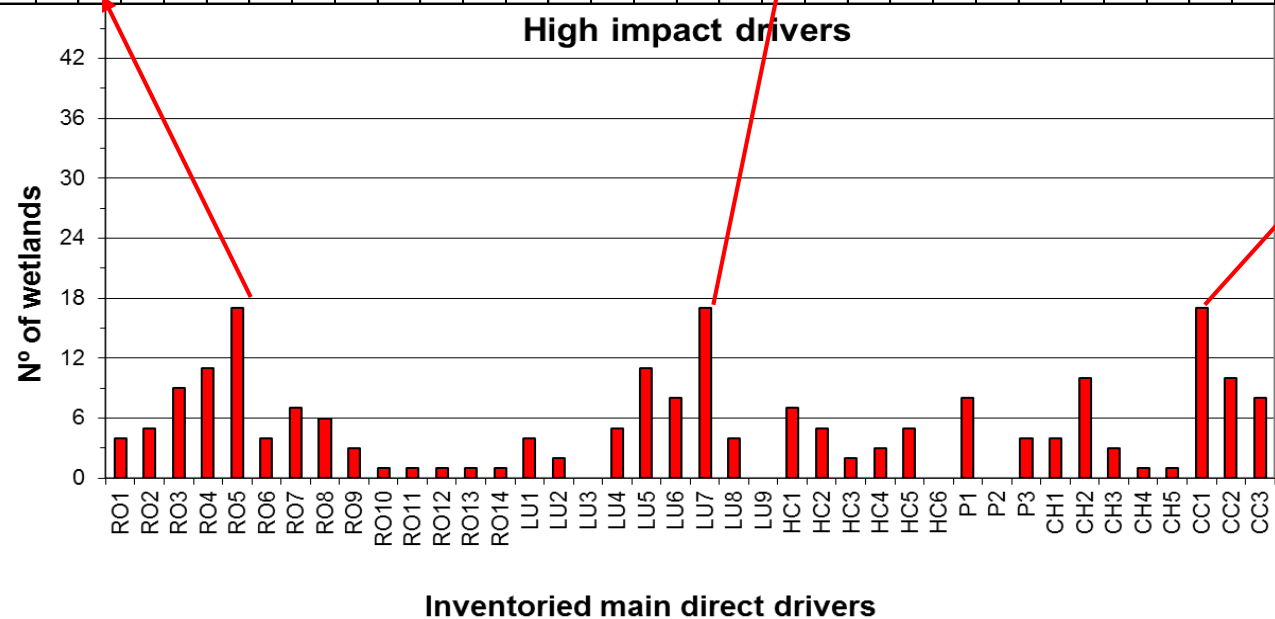
La contribución del agua subterránea a los servicios ecosistémicos

- Servicios potenciales del agua subterráneas en los humedales: dependen de cada tipo de vinculación humedal-acuífero. Ejemplo: **La relación con el agua subterránea puede contribuir a aumentar la cantidad de agua disponible para cualquier uso; a mejorar la calidad; a aportar nutrientes; a diluir contaminación; a regular la temperatura; a favorecer la regulación de flujos hídricos; etc.**
- En cada tipo de humedal la contribución del agua subterránea a los servicios que contribuyen al bienestar humano será distinta. **Es necesario estudiar, sistematizar y establecer tipos/modelos de comportamiento, así como elegir humedales que sirvan de referencia para cada tipo.**
- Las actividades de gestión se deberían basar en estos humedales de referencia. Estos servirían para identificar y priorizar los servicios a proteger/potenciar, los factores de cambio a controlar/reducir y los procesos hidro(geo)lógicos a estudiar/favorecer para conseguir una mayor contribución del humedal al bienestar humano.

4 ALGUNAS EXPERIENCIAS RECIENTES

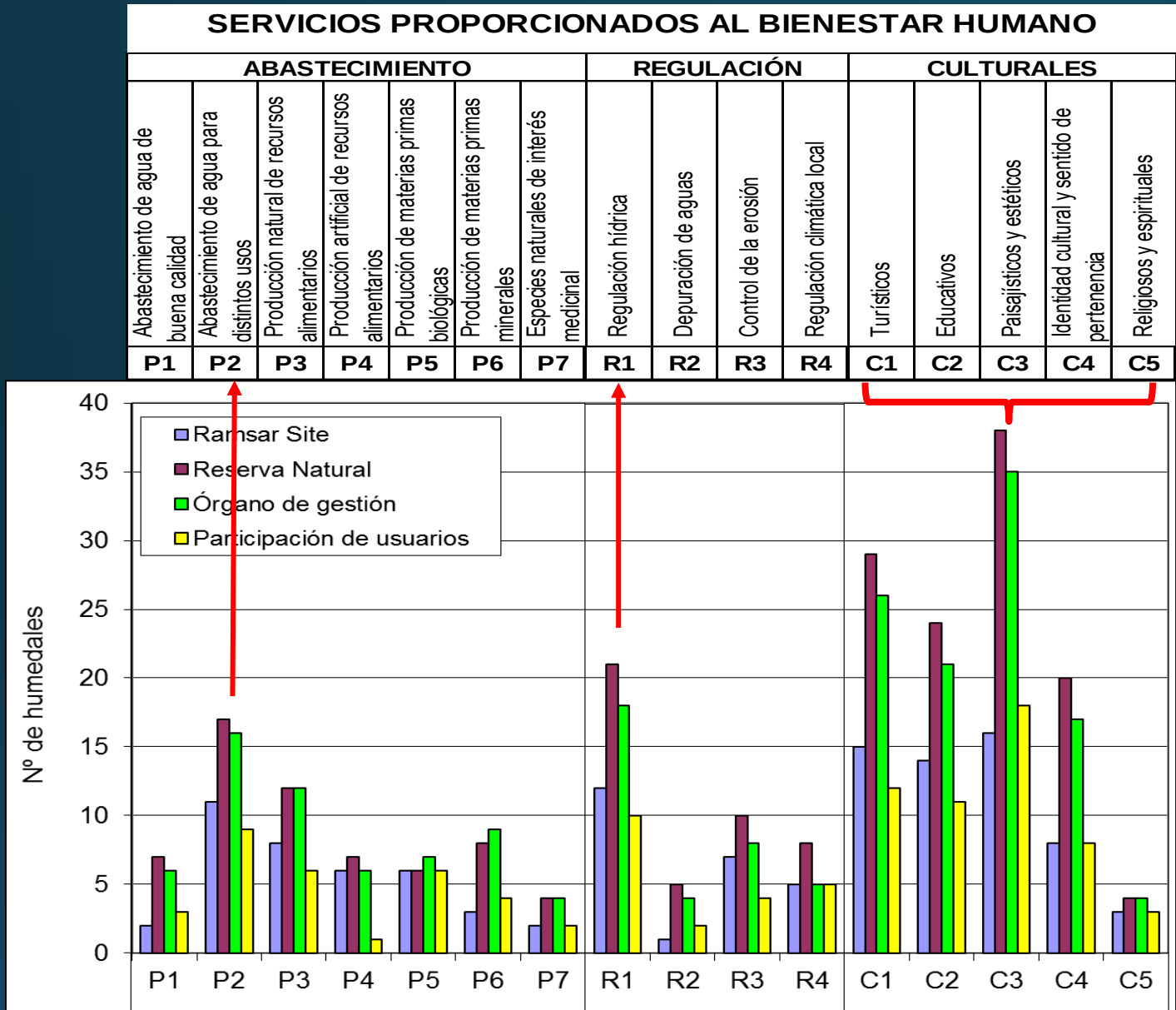
Proyecto IGCP-604, Humedales vinculados al agua subterránea en Latino América y su relación con el ser humano (2010-2013)

Resource overexploitation														Changes in land use									Modification of hydrological cycle						Pollution			Effects associated with changes					Global and climate changes		
Water abstraction				Biological exploitation					Mineral exploitation																														
From wetland	From tributaries	Groundwater next to the wetland	Groundwater basin	Crops	Forest	Cattle raising	Fishing	Others	Fuel	Salts	Soils	Rocks	Others	Deforestation	Reforestation	Forest management	Replacement of species	Extensive agriculture	Extensiva cattle raising	Urbanization	Roads	Others	Drenaje	Input of excess irrigation	Storage usage	Artificial recharge	Input of urban wastewater	Others	Agricultural diffuse pollution	Atmospheric diffuse pollution	Urban/industrial point source pollution	Mineral water quality	Biological water quality	Oxidation by lowering water table	Increased erosion	Soil destruction	Rainfall	Temperature	Sea level rise
RO1	RO2	RO3	RO4	RO5	RO6	RO7	RO8	RO9	RO10	RO11	RO12	RO13	RO14	LU1	LU2	LU3	LU4	LU5	LU6	LU7	LU8	LU9	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	P1	P2	P3	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CC1	CC2	CC3



Bocanegra et al. (2013, 2015)
Manzano et al. (2012, 2013)

Proyecto IGCP-604, Humedales vinculados al agua subterránea en Latino América y su relación con el ser humano (2010-2013)



Relación entre acciones de gestión y servicios

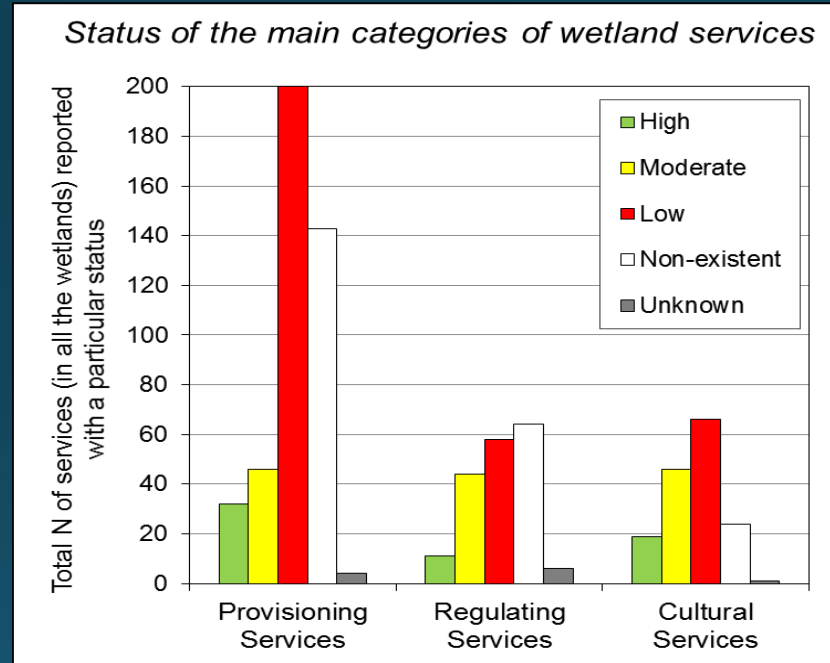
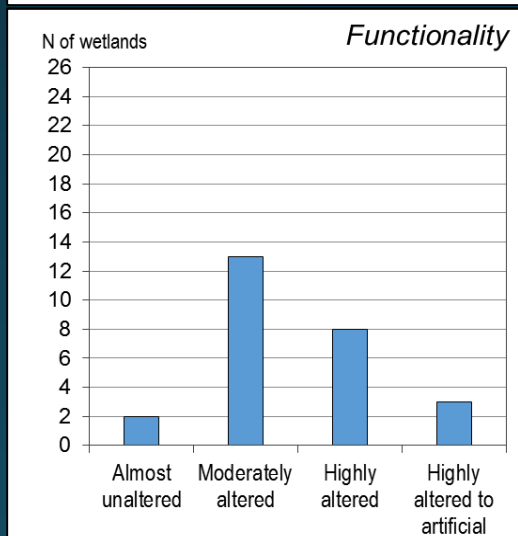
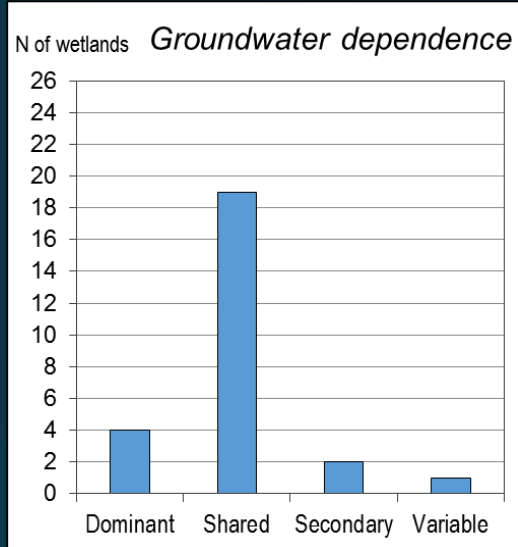
El mayor número de humedales con acciones de gestión corresponde a aquellos que proporcionan servicios “valiosos”:

- Servicios de abastecimiento: agua para distintos usos (P2)
- Servicios de regulación: regulación hídrica (R1)
- Servicios culturales: servicios turísticos (C1), educativos (C2), paisajísticos y estéticos (C3) y de identidad y sentido de pertenencia (C4).

Puede suponerse que las acciones de gestión se establecieron para proteger dichos servicios, pero es más probable que dichos servicios sean especialmente activos gracias a las acciones de gestión realizadas.

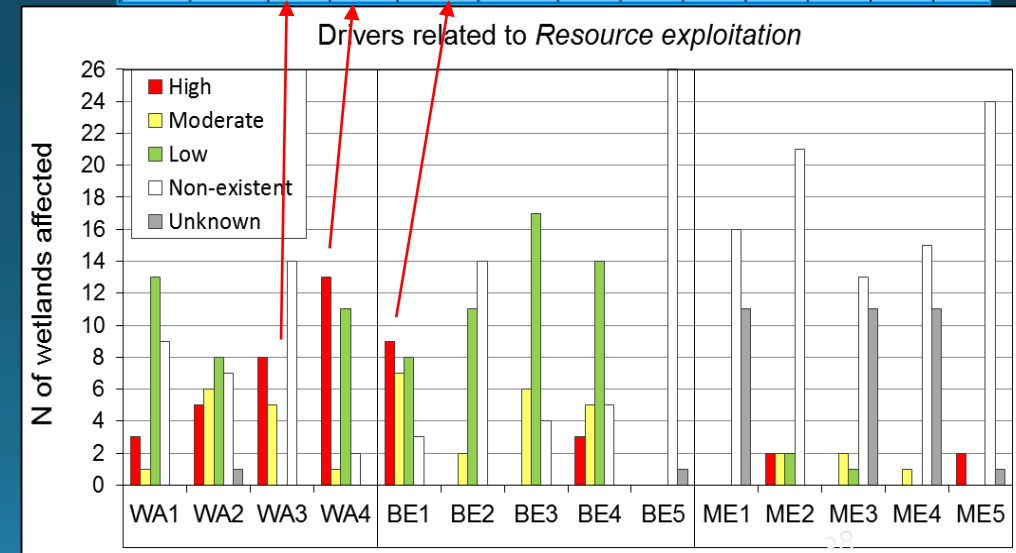
4 ALGUNAS EXPERIENCIAS RECIENTES

UNESCO-IHP-MedPartnership. Estudio de las características hidrogeológicas y evaluación de los servicios ecosistémicos de 26 humedales costeros mediterráneos representativos (2013-2015)



Manzano et al. (2015)
<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002352/235228e.pdf>

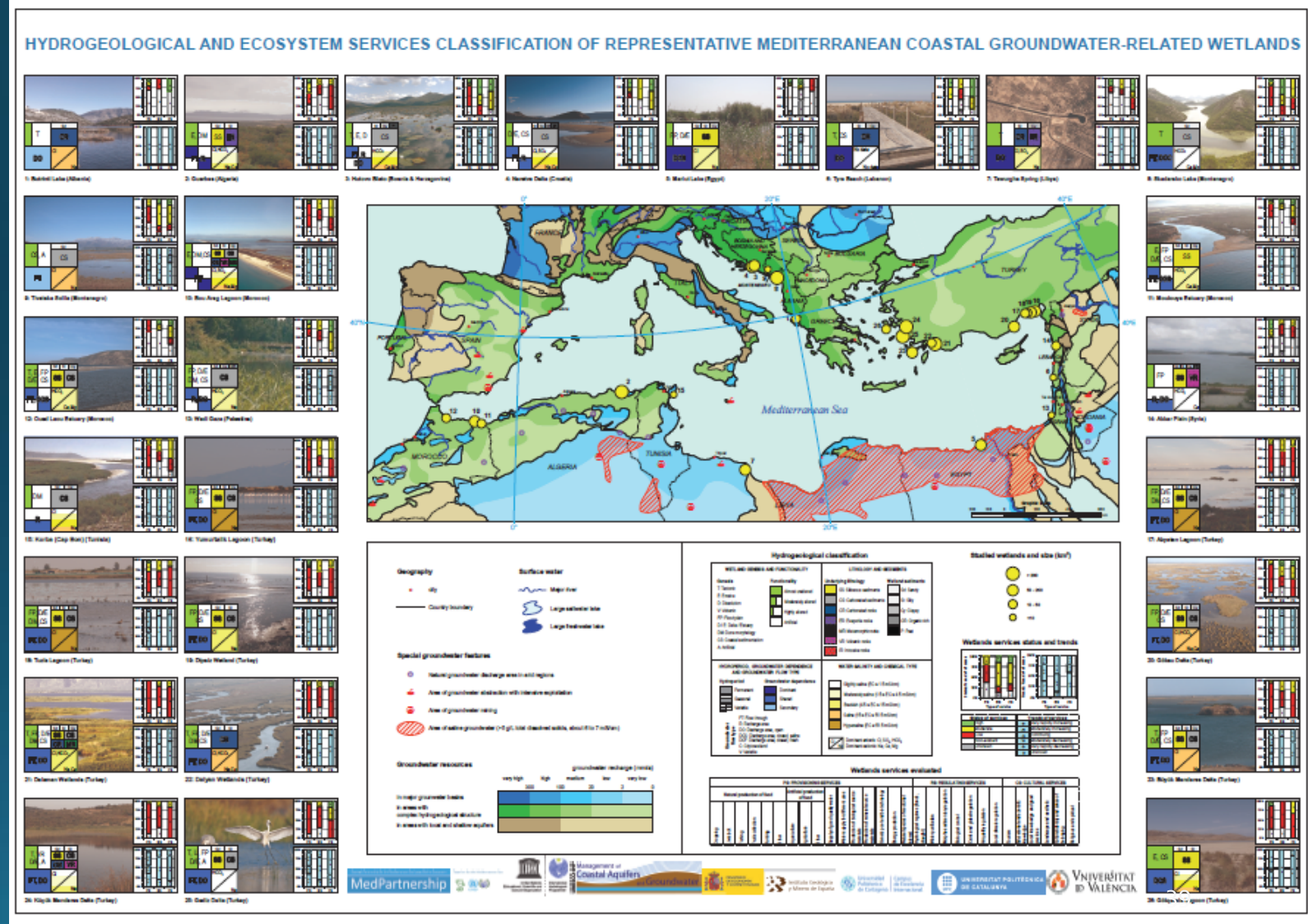
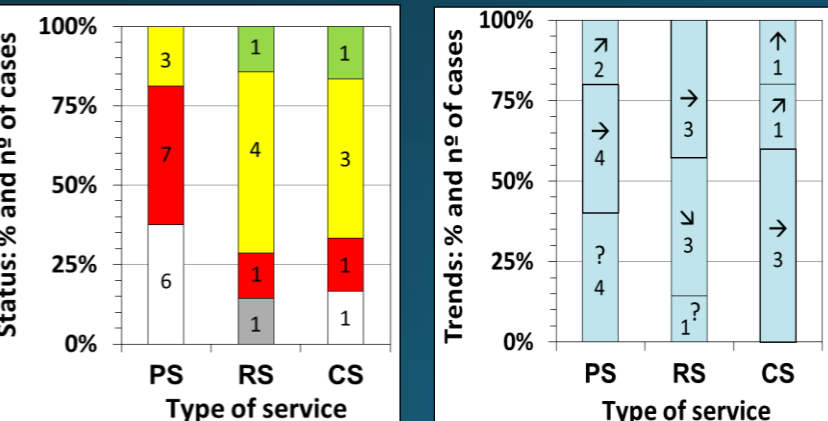
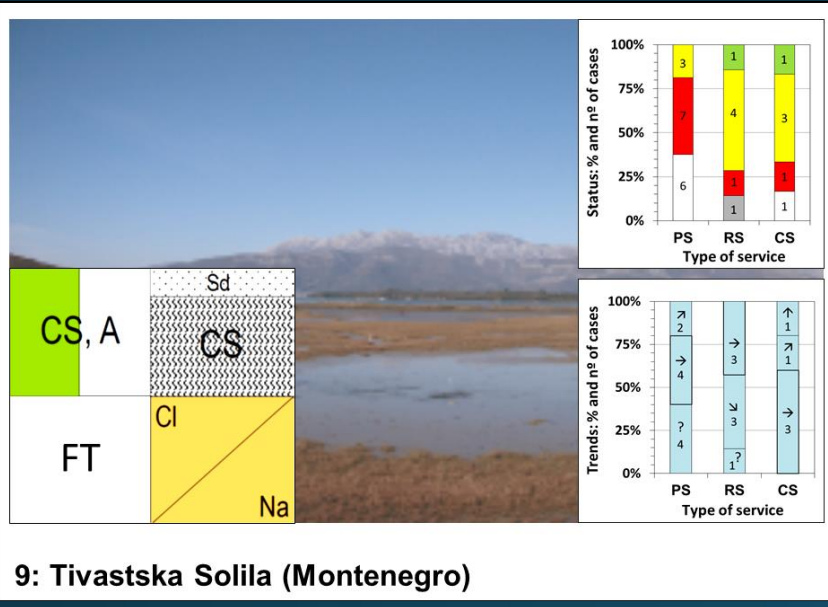
Resource exploitation											
Water abstraction				Biological exploitation				Mineral exploitation			
From wetland	From tributaries	Groundwater next to the wetland	Groundwater basin	Crops	Cattle raising	Fishing	Others	Fuel	Salts	Soils	Rocks
WA1	WA2	WA3	WA4	BE1	BE3	BE4	BE5	ME1	ME2	ME3	ME4



4 ALGUNAS EXPERIENCIAS RECIENTES

UNESCO-IHP-MedPartnership. Mapa: Clasificación hidrogeológica y servicios ecosistémicos

<http://groundwaterportal.org/sites/default/files/Groundwater%20related%20wetlands%20map.pdf>



5 CONSIDERACIONES FINALES

Los humedales son elementos singulares del medio ambiente que contienen un amplio conjunto de ecosistemas complejos de gran valor para la conservación de la biodiversidad del planeta. Muchos humedales valiosos están incluidos en la Convención Ramsar, pero muchos más permanecen sin protección alguna.

Los humedales también tienen gran valor para el ser humano, tanto directamente a través de la producción de alimentos y otros recursos (pesca, plantas, frutas, agua para cualquier uso, purificación de agua, etc.) o de la regulación de recursos y procesos (regulación climática, hídrica, de la erosión, formación de suelos, etc.), como indirectamente (generación de paisaje, de hábitat, de oportunidades económicas, educativas, espirituales, etc.).

Conocer la hidrología de los humedales es imprescindible para su conservación, y para ello es necesario estudiarlos con métodos científicos y a las distintas escalas de influencia: regional (cuenca hidrográfica), media y local.

Muchos humedales deben sus características hidrológicas y ecológicas a la presencia de agua subterránea. Esta puede ser fundamental o secundaria, pero su papel es siempre relevante, especialmente en humedales de zonas áridas y semi-áridas.

5 CONSIDERACIONES FINALES

La gestión de los humedales (y del agua en general) es parte de un sistema complejo que consiste en interdependencias hidrológicas, ecológicas, económicas, sociales e institucionales, y requiere de enfoques integrados para el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

El enfoque ecosistémico tiene un gran potencial como herramienta de apoyo a la gestión integral de humedales, agua subterránea y otros recursos naturales.

La correcta identificación y evaluación de los servicios que proporciona un humedal es una actividad útil para planificar las actuaciones de gestión a realizar en un humedal y en el acuífero vinculado, pues permite evaluar a priori la posible efectividad de las mismas mediante el análisis de sinergias entre los distintos servicios.

De entre todas los enfoques existentes para la gestión de recursos naturales, el ecosistémico podría ser una de las mejores herramientas de apoyo a la gestión de los humedales y los recursos hídricos en general. Pero se requiere conocimiento básico extenso y confiable (caracterización de la geología, la hidrología, la ecología, la antropología y sus interrelaciones con métodos científicos), así como una formación multidisciplinar del personal técnico que ha de realizar el trabajo.

GRACIAS !



¡ SAICARG

***Proyecto FONDICYT Hidrogeología y servicios ecosistémicos de los Humedales del Ozama
Servicio Geológico Nacional, República Dominicana. Coordinadora: Yenny Rodríguez.
Ozama Verde, República Dominicana
Universidad Politécnica de Cartagena, España.***

3 NUEVOS ENFOQUES PARA LA GESTIÓN DE LOS HUMEDALES: EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Evaluación de sinergias (trade-offs) entre servicios como herramienta de gestión medioambiental

- **MEA (2005):** *"Las decisiones políticas importantes de las próximas décadas tendrán que considerar las sinergias entre los usos actuales y futuros de los recursos/servicios de los humedales."*
- **Ejemplo Bocanegra et al. (2014).**

Table 1. Simple conceptual model of trade-offs between services derived from a groundwater management action in a wetland catchment. Modified after Bocanegra et al. (2014).

Action	Management of groundwater abstraction in a wetland basin
Objective	Increase or maintain base flow discharge to the wetland
Services that would benefit (services' identifications refer to those in Figure 5)	P2: More water would be available for whatever use and a longer time along the year. P3: The natural production of vegetables and animals will increase by a larger and lasting water availability. P4: The same reasons would allow increasing controlled agricultural production. P5: They would induce an increase in the production of biological source materials. R1: Wetlands originating streams would favour a lasting and more stable flow. R2: Wetland water quality would benefit from dilution due to increased groundwater discharge. R4: More stable local climate conditions due to the increased and lasting air humidity and thermal gradients. C1, C2, C3, C4 and C5: Increase benefits from the more lasting wetland conditions that induce them.
Winners	The users (humans or not) of all the wetland services.
Services that would damage	The erosion control service (R3 in Figure 5) may eventually decrease if the size of the wetland basin were not large enough to accommodate runoff during flooding episodes. This would depend not only on the wetland basin dimensions, but also on the climatic characteristics and on the topography of the wetland catchment.
Losers	Intensive groundwater exploitation would have to be reduced and the economic income related to the use of groundwater may be affected.