

BALANCE HÍDRICO Y DE NUTRIENTES Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA “LES BASSES D’EN COLL”



Recuperación del hábitat de anfibios y *Emys orbicularis* en el Baix Ter (LIFE 04 NAT/ES/000059)

Informe de Seguimiento Científico

Anna Badosa¹
Carles Barriocanal²
Jordi Compte¹
Rocío López-Flores¹
Xavier D. Quintana¹

Girona, diciembre de 2006



¹ Institut d'Ecologia Aquàtica, Universitat de Girona.
Facultat de Ciències, Campus de Montilivi s/n, 17071 Girona



² Espai Natural Basses d'en Coll
Avda. Arenales de Mar s/n, 17256 Pals (Girona)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Introducción	1
Antecedentes	2
Objetivos	2

METODOLOGÍA

Área de estudio y puntos de muestreo	3
Metodología de muestreo y análisis	6
Evaluación de la calidad del agua	7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance hídrico y de nutrientes de la laguna “les Basses d’en Coll”	8
Evaluación de la calidad del agua de la laguna “les Basses d’en Coll” a partir de los invertebrados acuáticos	17

CONCLUSIONES	19
--------------	----

PROPUESTAS DE GESTIÓN	21
-----------------------	----

REFERENCIAS	29
-------------	----

Introducción

En la región mediterránea, los humedales costeros están actualmente sometidos a una fuerte presión antrópica al tratarse de una zona densamente poblada y con una elevada actividad turística (EEA, 1999; De Stefano, 2004). Además, están ampliamente influenciados por las distintas actividades humanas que se realizan tanto en sus alrededores como en la cuencas de recepción (Álvarez-Cobelas et al., 2005). Tradicionalmente, la agricultura ha sido la actividad humana que más ha afectado a los humedales costeros, pero desde la segunda mitad del siglo XX, el desarrollo urbanístico, industrial y turístico ha adquirido mayor relevancia. La desecación de humedales para la agricultura y/o la construcción, la manipulación del régimen hídrico y la degradación de la calidad del agua son los principales impactos de las actividades humanas y las principales causas de la desaparición y degradación de los humedales mediterráneos (Pearce & Crivelli, 1994; Day et al., 2000; de Jorge, 2002; Green et al., 2002). Durante el último siglo, en países de la región mediterránea como Francia, Grecia, Italia y España, se ha registrado una pérdida de superficie de humedales costeros que supera en más de un 50% su área original y las zonas de humedales restantes todavía siguen en la actualidad amenazadas por la contaminación, la extracción de agua, la eutrofización y la sedimentación (Skinner & Zalewski, 1995; Flower, 2001; De Stefano, 2004).

En los distintos humedales que configuran los *Aiguamolls del Baix Ter*, sector litoral de la llanura deltaica de los ríos Ter y Daró, situados en la turística zona de la Costa Brava (NE Península Ibérica), se puede observar cómo la actividad antrópica ha modificado en cierto grado la dinámica natural de los ecosistemas costeros. En los sistemas de agua dulce, cuya dinámica natural depende de aportaciones continentales de origen fluvial (p.e. la laguna de Ter Vell, Quintana & Comín, 1989; Badosa, 2007), la manipulación del régimen hídrico, debido a la elevada actividad agrícola de la zona, y la degradación de la calidad del agua a causa de las elevadas entradas de nutrientes, son las principales consecuencias de la actividad humana.

Antecedentes

La intención de recuperar y conservar los *Aiguamolls del Baix Ter* ya se inició en los años 90 cuando se realizaron una serie de actuaciones para la restauración y acondicionamiento de la laguna de agua dulce Ter Vell (zona norte, antigua desembocadura del río Ter) y entre 1999 y 2003 esta misma laguna junto con la marisma halófila de la Pletera fueron objeto de un proyecto LIFE de restauración ambiental realizado con la finalidad de recuperar y conservar los valores ecológicos de ambos ecosistemas (www.torroella.org/life). Desde 2005, en los humedales de la zona sur de los *Aiguamolls del Baix Ter*, próximos a la desembocadura del río Daró, se está desarrollando otro proyecto LIFE de restauración ambiental “Recuperación del hábitat de anfibios y *Emys orbicularis* en el Baix Ter” (LIFE 04 NAT/ES/000059) que, entre muchos otros objetivos, pretende mejorar el estado ecológico de la laguna “les Basses d’en Coll” (www.lifeemyster.com). Este ecosistema costero de agua dulce está sometido a una fuerte presión antrópica al verse rodeada en casi su totalidad por arrozales y, a la vez, por estar ubicada en una zona muy turística (www.bassesdencoll.com).

Objetivos

El presente informe forma parte del Seguimiento Científico del proyecto LIFE “Recuperación del hábitat de anfibios y *Emys orbicularis* en el Baix Ter” (LIFE 04 NAT/ES/000059) y corresponde a las acciones F.2: *Balance hídrico y de nutrientes de la laguna “les Basses d’en Coll”* y F.3: *Evaluación de la calidad del agua de “les Basses d’en Coll” a partir de los invertebrados acuáticos*. En él se presentan los resultados obtenidos en un estudio realizado durante un ciclo anual con el objetivo principal de caracterizar el funcionamiento limnológico de la laguna, establecer los criterios para el diseño y organización de las actuaciones de restauración, así como sentar las bases para la futura gestión del ecosistema. Los resultados obtenidos se utilizarán en la evaluación del éxito obtenido en la restauración del ecosistema ya que el mismo estudio va a ser repetido una vez finalizadas las actuaciones.

Dentro de la Acción F.2., los objetivos concretos se basan en determinar los caudales de entrada de agua dulce a la laguna, analizar las cargas de nutrientes del agua dulce de entrada y analizar el contenido de nutrientes del agua en distintos puntos de la laguna. La Acción F.3. tiene como objetivo evaluar la calidad del agua en distintos puntos de la laguna a partir de la comunidad de invertebrados acuáticos.

Área de estudio y puntos de muestreo

“Les Basses d’en Coll” es una laguna costera de agua dulce situada al sur de una zona más extensa de humedales, los *Aiguamolls del Baix Ter*, que se extienden por el sector litoral de la llanura deltaica constituida por los ríos Ter y Daró (NE Península Ibérica, Fig. 1). Concretamente, la laguna se sitúa en la desembocadura del río Daró, tras el cordón de dunas litoral y actúa como sistema receptor de una red de canales que distribuyen el agua para el regadío de los arrozales y que recogen la escorrentía de éstos. El vaciado de la laguna se da hacia el río Daró, tramo canalizado y conocido como *Rec del Molí*, justo a unos 100 m antes de su desembocadura al mar a través de la playa (Fig. 2). El conjunto de arrozales, junto con la laguna, la zona de dunas y la desembocadura es conocido como el *Espacio Natural de Basses d’en Coll*, área protegida por el PEIN (Pla d’Espais d’Interés Nacional, ley autonómica 12/1985) y cogestionada entre el Ayuntamiento de Pals, el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya y el propietario.

El seguimiento de los caudales de entrada de agua dulce y las cargas de entrada de nutrientes a la laguna se ha realizado en los cuatro canales que distribuyen el agua de regadío y/o recogen agua de escorrentía (Fig. 2). El canal 1 se utiliza para distribuir agua procedente del *Rec del Molí* a los campos de arroz adyacentes. La circulación de agua a través de él está controlada directamente por el agricultor que utiliza una bomba para elevar el agua desde el canal hasta el sistema de acequias. Cuando no se da el cultivo del arroz este canal puede llevar agua de escorrentía puntualmente, durante intensas precipitaciones. El canal 2, denominado *Rec de les Bassetes*, es el canal principal que desvía agua del río Daró para el regadío de los distintos cultivos de la zona y recoge a la vez las aguas de escorrentía de los campos que atraviesa. Es la principal fuente de alimentación de la laguna. El canal 3, denominado *Rec del Fesols*, a parte de recibir la escorrentía de los arrozales recoge también las aguas de escorrentía de la zona sur de la laguna, zona más elevada de bosques y urbanizaciones. El canal 4, denominado *la Gilda* se utiliza para distribuir agua al campo de golf Platja de Pals (al sur de el espacio natural) y los sobrantes se vierten a *Rec dels Fesols*.



Figura 1. Mapa de Aiguamolls del Baix Ter dónde se distinguen las principales zonas de humedales.

En el interior de la laguna se han seleccionado dos puntos (Fig. 2), uno situado en la zona de entrada de agua dulce ($BC_{ENTRADA}$) y otro en la zona de salida próxima al mar (BC_{SALIDA}), para realizar el seguimiento de las concentraciones de nutrientes y de la composición de la comunidad de invertebrados acuáticos.

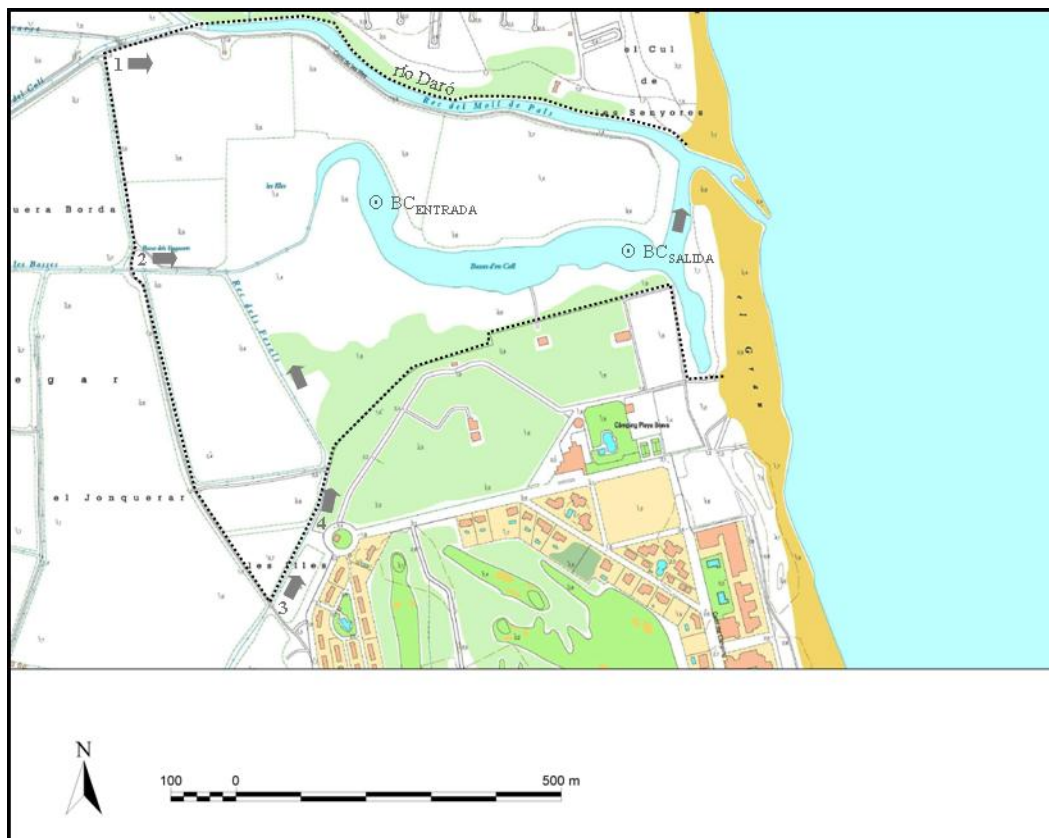


Figura 2. Mapa detallado de la laguna “les Basses d’en Coll”. Se indica el flujo preferencial del agua dulce a través del ecosistema, los puntos de entrada de agua dulce muestreados (del 1 al 4) y los puntos muestreados en el interior de la laguna, $BC_{ENTRADA}$ y BC_{SALIDA} . En línea discontinua se delimita el perímetro global del *Espacio Natural Basses d’en Coll*.

Metodología de muestreo y análisis

El estudio se ha realizado durante un ciclo anual, desde octubre de 2005 hasta septiembre de 2006, incluyendo los meses en que se produce el cultivo del arroz en la zona (de abril hasta septiembre). Las medidas de los caudales de entrada de agua dulce y los niveles de agua de la laguna se realizaron aproximadamente cada quince días mientras que el seguimiento de las cargas de entrada de nutrientes, de la composición físico-química del agua de la laguna y de la comunidad de macroinvertebrados de la laguna se realizó con una frecuencia mensual.

El caudal de entrada de agua dulce se ha medido mediante correntímetro. Los distintos parámetros físico-químicos del agua como la temperatura, la conductividad, el pH y el % de saturación de oxígeno disuelto se han medido *in situ* mediante sondas.

La concentración del nitrógeno inorgánico disuelto (suma de las concentraciones de amonio, nitrito y nitrato) y del fósforo inorgánico disuelto (como fósforo reactivo soluble) se ha analizado a partir de muestras de agua filtradas (filtros Whatman GF/C) mientras que las concentraciones de nitrógeno y fósforo totales se han analizado a partir de muestra directa, en todos los casos según la metodología descrita en Grasshoff et al. (1983) y APHA (1989). El contenido de materia orgánica se ha medido mediante análisis de TOC (carbono orgánico total), previa acidificación de las muestras para eliminar el C inorgánico disuelto. La determinación de la concentración de clorofila-*a* se ha estimado por espectrofotometría según las expresiones descritas en Talling & Driver (1963), previa extracción con metanol 95% durante 24h (filtros Whatman GF/C).

Las muestras de macroinvertebrados se han obtenido mediante capturas realizadas con un salabre de 20 cm de diámetro y poro de malla de 250 μm . Las muestras fueron fijadas *in situ* con formaldehído 4%. Se realizó una secuencia de 20 capturas sucesivas en cada uno de los puntos de muestreo de la laguna intentando cubrir los distintos habitats de la zona litoral. La determinación y recuento de las muestras se mediante estereomicroscopio y microscopio óptico convencional.

Evaluación de la calidad del agua

La evaluación de la calidad del agua en “les Basses d’en Coll” se realizó mediante el cálculo del índice de calidad del agua *QAELS*, desarrollado por Boix et al. (2005) para las aguas leníticas someras en la región de Catalunya y basado en la composición de macroinvertebrados. Este índice se obtiene a partir de la combinación de (1) el índice *ACCO*: abundancia relativa de distintos taxones indicadores de microcrustáceos (Cladoceros, Copépodos y Ostrácodos) ponderada por el valor de calidad de cada taxon; y (2) el índice *RIC*: estimación de la riqueza de crustáceos y insectos acuáticos. Previamente al cálculo del *QAELS*, se ha sido tenido en cuenta la tipología de “les Basses d’en Coll” ya que el valor de calidad de cada taxon difiere entre los distintos tipos de humedales (humedales salobres y humedales dulceacuícolas permanentes o temporales). Los valores obtenidos para este índice permiten clasificar la calidad del agua en: Muy buena: $QAELS \geq 8$; Buena: $6 \leq QAELS < 8$; Mediocre: $4 \leq QAELS < 6$; Deficiente: $2 \leq QAELS < 4$ y Mala: $QAELS < 2$. Para cumplir con la Directiva Marco del Agua, en el 2015 se va exigir una calidad del agua de cómo mínimo ‘buena’ en las todas las aguas superficiales de los países miembros de la Comunidad Europea.

Balance hídrico y de nutrientes de la laguna “les Basses d’en Coll”

La laguna “les Basses d’en Coll” presenta un régimen hidrológico artificial y dependiente del cultivo del arroz en la zona. El caudal total de entrada a la laguna, considerando la suma de los cuatro puntos de entrada, se mantuvo bastante irregular durante el período estudiado pero puede observarse que a partir del mes de mayo, cuando se inicia el cultivo del arroz, el caudal medio de entrada aumenta (Tabla 1, Fig. 3B). Durante el resto del ciclo hidrológico (Octubre 05 – Abril 06) las entradas dependían básicamente de las precipitaciones. Las puntas de caudal máximo registradas, que alcanzaron los $20000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, fueron detectadas tanto durante el cultivo del arroz (Junio 06) como durante el resto del ciclo hidrológico (Enero 06), pero en el primer caso fueron debidas a la actividad agrícola mientras que en el segundo caso fueron causadas por fenómenos meteorológicos. Es muy probable que se superaran estos caudales máximos en momentos de grandes avenidas durante intensas precipitaciones pero debido a la periodicidad del muestreo no fue posible registrarlos.

Aunque el caudal de entrada a la laguna aumentó durante el ciclo del arroz la profundidad media de la columna de agua en “les Basses d’en Coll” no presentó diferencias significativas (ANOVA, $F_{1,31} = 0.005$, $p = 0.945$) entre este período y el resto del ciclo hidrológico ya que el valor medio coincidió (0.76 cm). El hecho de que se mantengan niveles de agua similares en la laguna a pesar de las diferencias en los caudales de entrada sugiere que la elevada circulación del agua que se da durante el cultivo del arroz evita el incremento de nivel del agua en la laguna. Durante los meses de otoño e invierno, cuando no se produce el cultivo del arroz, los niveles de la laguna se mantendrían más elevados debido a que disminuye la circulación a través de la laguna y la tasa de renovación del agua. Durante este mismo período y de manera puntual, la circulación del agua se ve totalmente interrumpida cuando se cierra, de manera natural, la desembocadura del río Daró y la laguna no puede desaguar. Consecuentemente, se registra un aumento del nivel del agua en la laguna (Fig. 3). Este fenómeno natural, conocido localmente como “plenes”, tiene lugar cuando se forma una barra de arena en la desembocadura debido a un incremento del nivel del mar, en días de baja presión atmosférica, que coincide con fuertes vientos del nor-noroeste que favorecen la deposición de arena (Barriocanal et al., 2006).

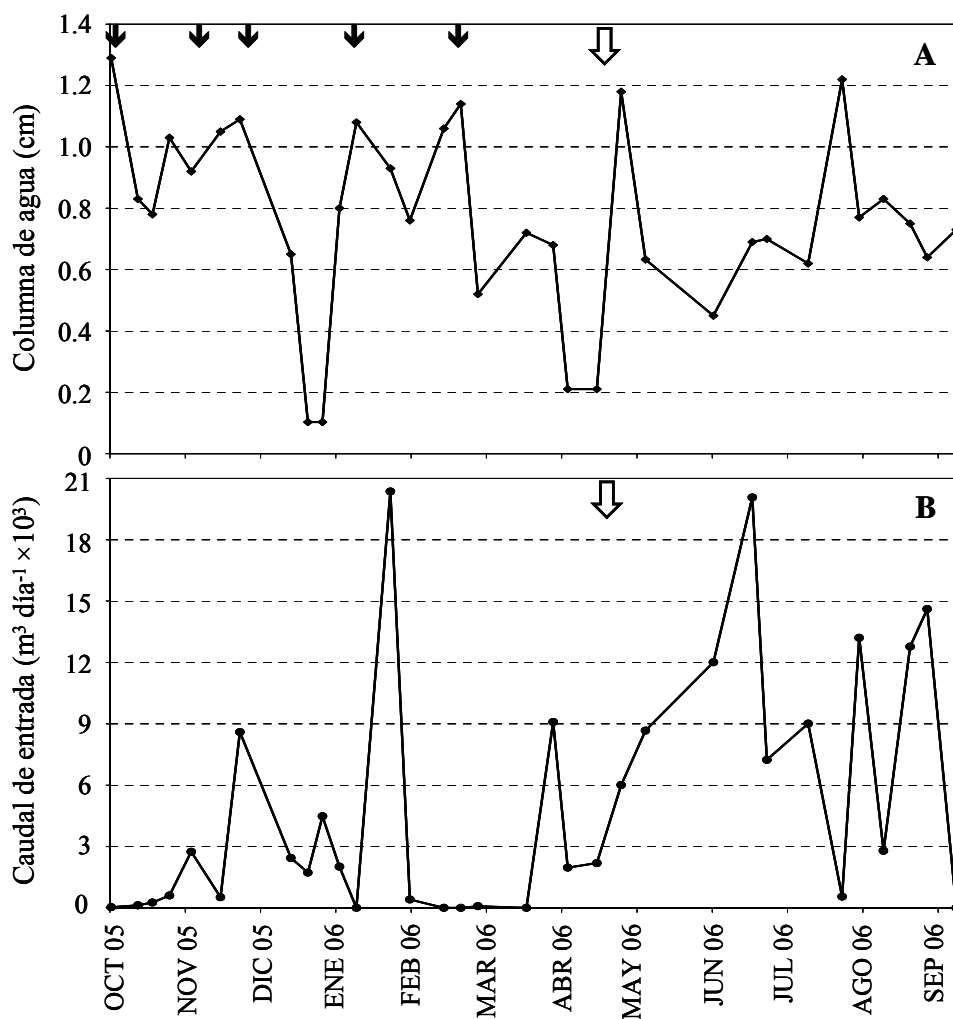


Figura 3. Evolución de la profundidad de la columna de agua en “les Basses d’en Coll” (gráfico A) y del caudal total de entrada de agua dulce (gráfico B) durante el ciclo hidrológico estudiado. Se indican los episodios de “plenes” registrados (flechas negras) y el inicio del ciclo del arroz (flecha blanca). El nivel de la columna de agua fue medido en un único punto de la laguna, justo en la entrada del agua dulce.

El caudal promedio que ha recibido el sistema durante el ciclo hidrológico estudiado es de unos $5000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, siendo el punto de entrada 2, el *Rec de les Bassetes*, el que más caudal ha aportado respecto a los otros puntos de entrada, un 46% (Tabla 1). Se trata del canal principal que desvía agua del río Daró para la irrigación de los cultivos de la zona y que alimenta directamente la laguna (Fig. 2). Si diferenciamos el ciclo del arroz, de mayo a septiembre, del resto del ciclo hidrológico se observa que durante la época de cultivo el caudal medio, que roza los $9000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, es tres veces mayor que el caudal medio detectado durante el resto del ciclo anual (Tabla 1). El punto

de entrada 2, seguido del punto 1, son los que suministran mayor caudal a la laguna, casi el 90% del caudal medio que entra durante el ciclo del arroz. Cuando no se da el cultivo del arroz, las entradas por el punto 3, igualan las entradas que se dan por el punto 2, y entre los dos proporcionan el 75% de las entradas de agua dulce a la laguna. El canal 3 es un canal que, a parte de recoger la escorrentía de los cultivos, recoge la escorrentía de una zona más elevada de bosques y urbanizaciones situada al sur de la laguna. Entonces, es de esperar que durante los meses de otoño e invierno, cuando las precipitaciones son más intensas, el caudal aumente en este punto. El punto de entrada 4 sólo aporta un 6.5% del caudal medio total que recibe la laguna ya que se trata de un canal que, a parte de la escorrentía, sólo transporta el agua sobrante del campo de golf.

Tabla 1. Valores medios del caudal de entrada de agua dulce (en m³ día⁻¹) a “les Basses d’en Coll” durante el ciclo hidrológico 05/06 diferenciando el ciclo del arroz del resto del período estudiado. Se indica el valor medio total, el valor medio detectado en los cuatro puntos de entrada a la laguna y el porcentaje que representa respecto al total.

	Total	Octubre 05 - Abril 06	Mayo 06 – Septiembre 06 (ciclo del arroz)
Total	4987	2745	8913
1 – Bombeo	1517 (30.42%)	409 (14.92%)	3457 (38.78%)
2 – Rec de les Bassetes	2315 (46.43%)	1034 (37.66%)	4559 (51.15%)
3 – Rec dels Fesols	826 (16.56%)	1078 (39.25%)	385 (4.32%)
4 –La Gilda	329 (6.59)	224 (8.17%)	512 (5.75%)

El estudio de los caudales de entrada de agua dulce y la concentración de nutrientes totales del agua de entrada ha permitido determinar las cargas de nutrientes que ha recibido la laguna por los distintos puntos de entrada. Las cargas de entrada de nitrógeno siempre son más elevadas que las de fósforo, debido al uso de fertilizantes (compuestos nitrogenados) en la agricultura. Durante el ciclo del arroz los valores medios de las cargas de entrada de nitrógeno y fósforo totales más elevados se detectaron en los puntos de entrada 2 y 1 al ser los que aportaban mayor caudal durante este período. En ambos puntos se alcanzaron valores medias de 5 y 0.5 Kg día⁻¹ para las cargas de nitrógeno y fósforo respectivamente (Tabla 2). Durante el resto del ciclo hidrológico, cuando no se produce el cultivo del arroz, las mayores cargas de entradas de nutrientes se detectaron el punto de entrada 3 debido al mayor caudal que aporta este canal durante este período. Los valores medios de las cargas de nitrógeno y fósforo totales alcanzaron los 10 y 0.2 Kg día⁻¹, respectivamente.

Tabla 2. Valor medio de la carga de entrada (en g día⁻¹) de nitrógeno y fósforo totales (NT y PT, respectivamente) a la laguna de “les Basses d’en Coll” durante el ciclo hidrológico 05/06. Se indica el valor medio para cada punto de entrada diferenciando el ciclo del arroz del resto del período estudiado.

	Octubre 05 - Abril 06		Mayo 06 – Septiembre 06 (ciclo del arroz)	
	NT	PT	NT	PT
1 – Bombeo	1299	29	5375	620
2 – Rec de les Bassetes	1600	35	5756	543
3 – Rec dels Fesols	10512	189	2152	74
4 – La Gilda	174	3	3819	131

En el interior de “les Basses d’en Coll” se muestrearon dos puntos, uno cercano a la entrada de agua dulce y otro próximo a la salida, más cercano al mar, separados entre sí por unos 400 metros. Se realizó un análisis de la varianza para el conjunto de las variables físico-químicas estudiadas y no se encontraron diferencias significativas entre los dos puntos de muestreo (MANOVA, traza de Pillai $F_{15,4} = 0.717$, $p > 0.05$). Si se representa a modo de ejemplo la evolución la conductividad del agua a lo largo del ciclo estudiado se observa que es coincidente en los dos puntos muestreados de la laguna, especialmente durante el ciclo del arroz (Fig. 4). Las diferencias en la conductividad del agua entre ambos puntos nos podrían sugerir la existencia de un gradiente en la influencia del agua dulce o del agua marina y, a la vez, posibles diferencias en la composición físico-química del agua. No obstante, sólo se encontraron marcadas diferencias en los meses de Febrero y Marzo (Fig. 4A) coincidiendo con un episodio de “plenes” (Fig. 3), que tuvo como consecuencia principal un fuerte entrada de agua más dulce hacia la laguna por el punto de salida procedente del Daró, que no podía desaguar hacia el mar. Este mismo fenómeno se reflejó en las variaciones de la concentración de nitrato y nitrógeno total a lo largo del ciclo hidrológico (Fig. 4B, sólo el nitrato es representado), que al igual que la conductividad fueron coincidentes en los dos puntos muestreados excepto en los meses de Febrero y Marzo, cuando la entrada de agua procedente del río a través de la salida hizo aumentar la concentración de nitrato y disminuir la conductividad en el punto BC_{SALIDA}. El resto de los nutrientes estudiados también siguieron el mismo patrón temporal en ambos puntos de la laguna.

Este hecho nos permite sugerir que la laguna “les Basses d’en Coll”, a pesar de ser un sistema lenítico, se comportaría más bien como un sistema lótico, con una elevada circulación del agua dulce que conlleva la homogeneización de toda la masa de agua en cuanto a la composición físico-química. Esta situación se hace especialmente evidente durante el ciclo del arroz, cuando aumenta la tasa de renovación del agua.

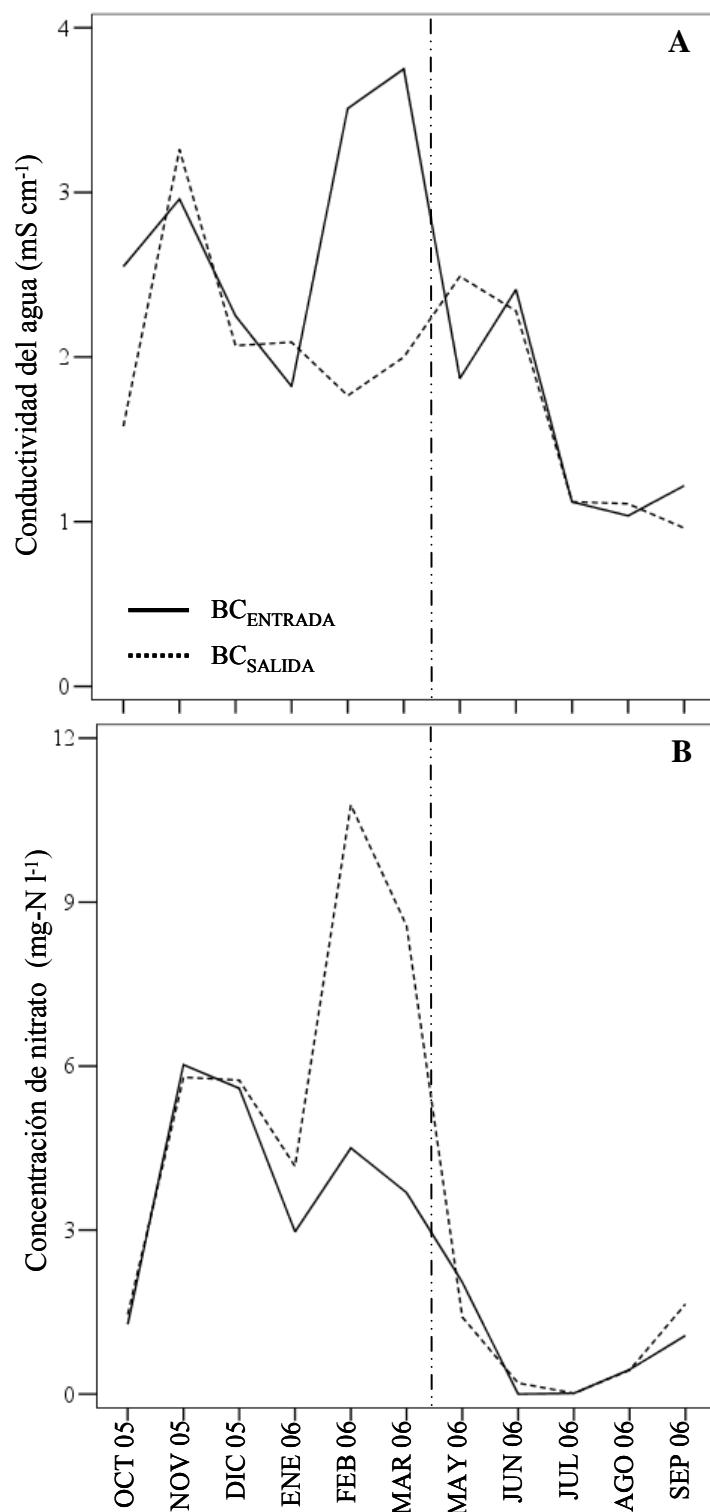


Figura 4. Evolución de la conductividad del agua (gráfico A) y de la concentración de nitrato (gráfico B) en los dos puntos muestreados en “les Basses d’en Coll” durante el ciclo hidrológico 05/06. La línea vertical discontinua indica el inicio del ciclo del arroz.

Aunque no se obtuvieron diferencias espaciales dentro de la laguna, sí se observaron diferencias en cuanto a la temporalidad ya que para el conjunto de las variables estudiadas se encontraron diferencias significativas entre los dos períodos considerados: el ciclo del arroz y el resto del ciclo hidrológico (MANOVA, traza de Pillai $F_{15,4} = 6.471$, $p < 0.05$). En la Tabla 3 se muestran las diferencias significativas para las medias de las distintas variables estudiadas. Es de destacar que las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto y de nitrógeno total (en gran proporción en forma inorgánica) disminuyeron significativamente durante el ciclo del arroz. Este hecho sugiere un efecto de lavado de la fracción inorgánica del nitrógeno por la elevada circulación del agua dulce a través del sistema (Fig. 5A). Durante el resto del ciclo hidrológico, la circulación a través de la laguna no es tan activa ya que se reducen a una tercera parte los caudales de entrada de agua (Tabla 1) y además existen episodios de “plenes” que impiden temporalmente el desagüe de la laguna (Fig. 3A). En consecuencia, se da una cierta acumulación de los nutrientes, básicamente de los compuestos inorgánicos de nitrógeno, ya que las cargas de entrada de nitrógeno se mantienen bastante elevadas aún cuando no se da el cultivo del arroz. El contenido de nitrógeno en forma orgánica se mantiene más o menos constante durante todo el ciclo hidrológico (Fig. 5A).

En cuanto a los compuestos del fósforo, se observa un patrón contrario al del nitrógeno, ya que es el contenido de fósforo en forma orgánica el que presenta diferencias significativas entre los dos períodos (Tabla 3) y su concentración media aumenta durante el ciclo del arroz (Fig. 5B). Aunque se observan diferencias significativas con respecto a la concentración media de fósforo inorgánico disuelto, en la Figura 5B puede verse que estas diferencias se deben principalmente a dos puntos de concentración máxima (Octubre y Noviembre) que difieren marcadamente del resto de los valores, muy bajos y similares entre sí, observados durante del ciclo hidrológico. El aumento de la fracción orgánica del fósforo durante el ciclo del arroz coincide con un aumento, también significativo, de la concentración de carbono orgánico total (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración media y desviación estándar (entre paréntesis) de las distintas variables estudiadas en la laguna “les Basses d’en Coll” para los dos períodos diferenciados. Se muestran las diferencias significativas (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$) y no significativas (n.s.) obtenidas en el análisis de la varianza (ANOVA de un factor). El nitrógeno inorgánico disuelto se ha calculado como la suma de las concentraciones de amonio, nitrito y nitrato.

	Octubre 05 - Abril 06	Mayo 06 – Septiembre 06 (ciclo del arroz)	
	(N=12)	(N=10)	Sig.
Temperatura (°C)	10.47 (4.37)	22.95 (4.46)	**
Conductividad (mS cm ⁻¹)	2.47 (0.73)	1.56 (0.63)	**
pH	7.66 (0.36)	7.56 (0.43)	n.s.
Oxígeno disuelto (% sat.)	98.32 (13.53)	74.48 (30.02)	*
Nitrógeno inorgánico disuelto (mg N l ⁻¹)	5.25 (2.78)	0.90 (0.98)	**
Nitrógeno orgánico total (mg N l ⁻¹)	1.46 (0.71)	1.06 (0.28)	n.s.
Nitrógeno total (mg N l ⁻¹)	6.71 (3.11)	1.96 (0.85)	**
Fósforo inorgánico soluble (mg P l ⁻¹)	0.32 (0.46)	0.02 (0.03)	*
Fósforo orgánico total (mg P l ⁻¹)	0.06 (0.06)	0.13 (0.04)	**
Fósforo total (mg P l ⁻¹)	0.38 (0.42)	0.16 (0.05)	n.s.
Carbono orgánico total (mg C l ⁻¹)	6.61 (2.13)	8.51 (1.72)	*
Clorofila- <i>a</i> (µg l ⁻¹)	13.37 (17.23)	22.59 (17.26)	n.s.

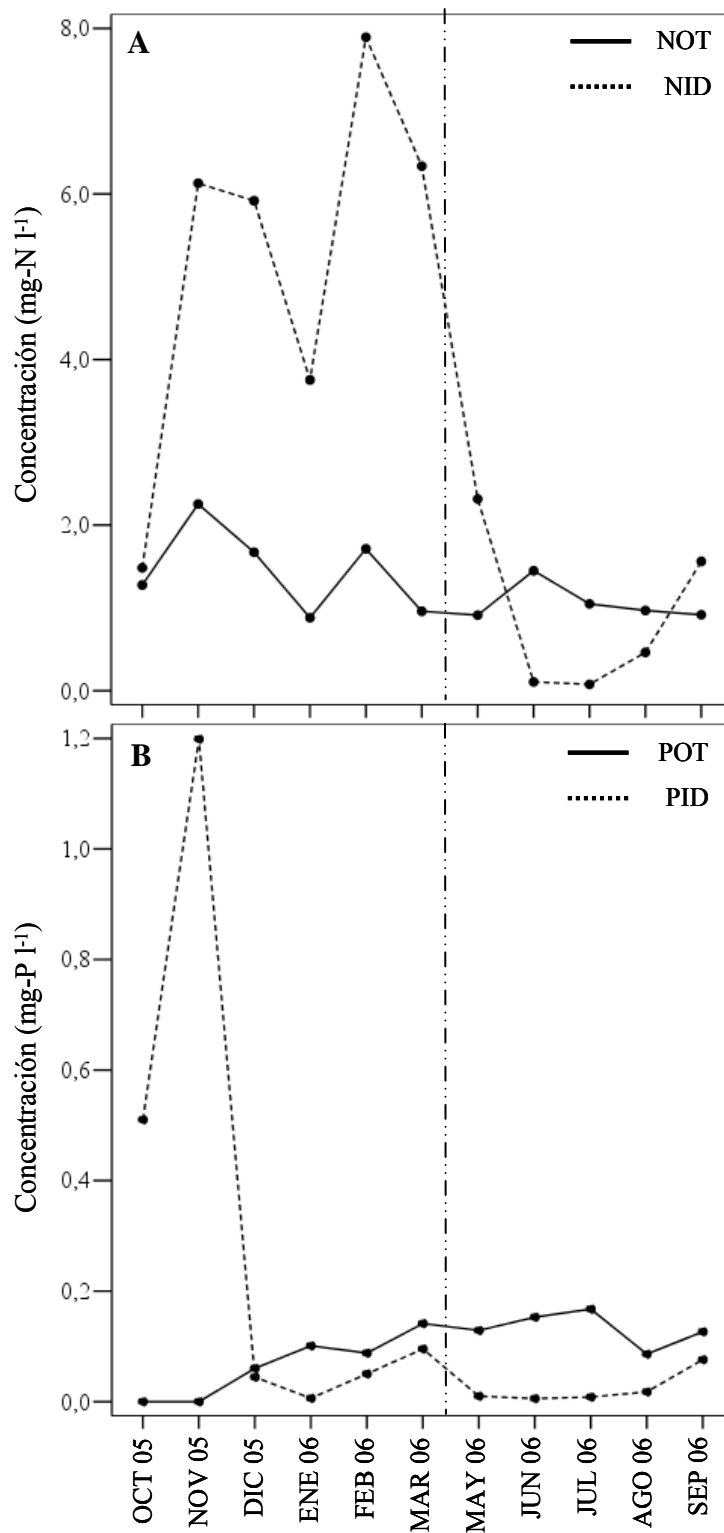


Figura 5. Evolución de la concentración del nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y del nitrógeno orgánico total (NOT) (gráfico A) y de la concentración de fósforo inorgánico disuelto (PID) y fósforo orgánico total (POT) (gráfico B) en “les Basses d’en Coll” durante el ciclo hidrológico 05/06. La línea vertical discontinua indica el inicio del ciclo del arroz.

Evaluación de la calidad del agua de la laguna “les Basses d’en Coll” a partir de los invertebrados acuáticos

Al igual que la composición fisico-química del agua, el índice de calidad del agua *QAELS*, calculado a partir de la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, no presentó diferencias significativas para los valores medios entre los dos puntos de muestreo ($BC_{ENTRADA} = 6.5$ y $BC_{SALIDA} = 6.8$; ANOVA, $F_{1,17} = 0.571$, $p = 0.460$) pero sí entre el período del cultivo del arroz ($QAELS = 6.02$) y el resto del ciclo hidrológico ($QAELS = 7.60$; ANOVA $F_{1,17} = 10.921$, $p = 0.004$). Estos valores medios obtenidos se sitúan entre 6 y 8, clasificando la calidad del agua de “les Basses d’en Coll” como ‘buena’. Si se representa la evolución de los valores mensuales del índice a lo largo del ciclo hidrológico (Fig. 6) puede verse que durante el ciclo del arroz todos los valores están por encima de 6, de modo que la calidad del agua se mantiene como ‘buena’ en todos los casos, llegando incluso a ‘muy buena’ de manera puntual ($QAELS \geq 8$). Sin embargo, durante el resto del ciclo, los valores del índice disminuyeron por debajo de 6 en algunos meses, clasificando la calidad del agua de la laguna como ‘mediocre’ (Fig. 6). El hecho de que aumente la calidad del agua durante el ciclo del arroz puede relacionarse con la disminución generalizada de la concentración de nutrientes durante esta época, cuando se da una elevada tasa de renovación del agua y un probable efecto de lavado (Tabla 3).

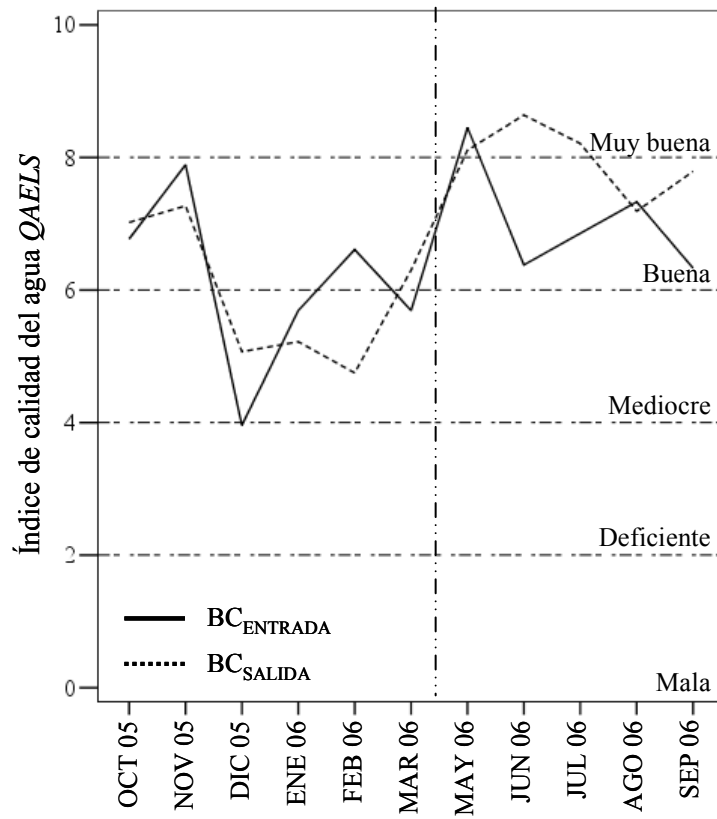


Figura 6. Evolución de los valores del índice de calidad del agua QAELS obtenidos para los dos puntos de muestreo de “les Basses d’en Coll” durante el ciclo hidrológico 05/06. La línea vertical discontinua indica el inicio del ciclo del arroz.

CONCLUSIONES

- La hidrología de “les Basses d’en Coll” es artificial y está condicionada por la gestión del agua en los arrozales que la rodean. Las principales entradas de agua se dan durante los meses de primavera y verano, coincidiendo con el ciclo del arroz, y por tanto presenta un patrón hidrológico invertido al esperado en una laguna costera mediterránea. El caudal medio de entrada de agua durante el ciclo del arroz (Mayo 06 – Septiembre 06) es de unos $9000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, tres veces mayor que el caudal medio registrado durante el resto del ciclo hidrológico (Octubre 05 – Abril 06).
- La mayor parte (46%) del caudal de agua dulce que alimenta “les Basses d’en Coll” a lo largo del ciclo hidrológico llega a través del punto de entrada 2 (*Rec de les Bassetes*), canal que desvía agua del río Daró para la irrigación de los cultivos de la zona. Este canal junto con el punto de entrada 1 (*Bombeo*), encargados mayoritariamente de la distribución del agua de regadío, son los que aportan mayor caudal a la laguna durante el ciclo del arroz, casi el 90% del caudal medio total. Durante el resto del ciclo hidrológico, las entradas por el punto 3 o *Rec dels Fesols* igualan a las entradas por el punto 2 y entre los dos aportan un 75% del caudal de entrada a la laguna. Cuando no se da el cultivo del arroz, el *Rec dels Fesols* se alimenta básicamente de las aguas de escorrentía del margen sur de la laguna, una zona elevada de bosques y urbanizaciones.
- Las cargas de nutrientes que lleva el agua dulce de entrada a la laguna son más elevadas durante el ciclo del arroz, especialmente en los puntos 1 y 2 donde el caudal se incrementa y se alcanzan, en ambos puntos, cargas de nitrógeno y fósforo superiores a los 5 y 0.5 Kg día^{-1} , respectivamente. Durante el resto del ciclo hidrológico, es el punto de entrada 3 el que presenta mayores cargas de nutrientes, principalmente las de nitrógeno que alcanzan los 10 Kg día^{-1} . Las cargas de entrada de nitrógeno siempre son más elevadas que las de fósforo, debido al uso de fertilizantes (compuestos nitrogenados) en la agricultura.

- Respecto a la composición físico-química del agua en “les Basses d’en Coll”, no existen diferencias significativas entre los dos puntos muestreados dentro la laguna debido probablemente a que la elevada circulación de agua dulce a través del sistema, especialmente durante el ciclo del arroz, que actuaría como agente homogeneizador de las condiciones ambientales.
- El patrón temporal observado en la hidrología, determinado por el ciclo del arroz, sí tiene efecto sobre las características físico-químicas del agua de “les Basses d’en Coll”, especialmente sobre la conductividad y las concentraciones de los compuestos inorgánicos del nitrógeno, que disminuyen significativamente durante el ciclo del arroz a pesar de las elevadas cargas de entrada. Esto sugiere que la elevada circulación de agua dulce a través de la laguna durante el ciclo del arroz conllevaría un “lavado” de estos compuestos inorgánicos (que no llegan a ser incorporados en forma orgánica en el ecosistema).
- Los valores medios del índice de calidad del agua *QAELS* no presentaron diferencias significativas entre los dos puntos muestreados en “les Basses d’en Coll” pero sí entre los dos períodos hidrológicos diferenciados. La calidad del agua se mantuvo como ‘buena’ durante todo el ciclo del arroz llegando incluso, puntualmente, a la calidad de ‘muy buena’. Durante el resto del ciclo hidrológico, cuando no se daba el cultivo del arroz, aumentó la variabilidad de los valores del índice y la calidad del agua osciló entre ‘mediocre y ‘buena’.

PROPUESTAS DE GESTIÓN

Para llevar a cabo con éxito un proyecto de restauración ambiental de un sistema acuático es indispensable disponer previamente de un buen conocimiento del funcionamiento limnológico del ecosistema a restaurar. En este sentido, uno de los objetivos principales del presente informe era obtener suficiente información sobre la limnología de “les Basses d’en Coll” para establecer adecuadamente los criterios de diseño y organización de las acciones de restauración previstas en este ecosistema. Inicialmente, la acción propuesta dentro del proyecto LIFE fue la *Creación de un sistema de humedales de depuración (SHD) anterior a la laguna de agua dulce “les Basses d’en Coll”* (Acción C.2. en el apartado Tareas únicas de gestión del biotopo). En ella se proponía la construcción de un SHD en la zona de arrozales adyacentes al canal principal de entrada de agua a la laguna (punto de entrada 2) con la finalidad de reducir las cargas de nutrientes que entraban en la laguna y obtener una mejora de la calidad del agua de la laguna.

Los resultados obtenidos en el presente informe en lo referente al *Balance hídrico y de nutrientes de la laguna “les Basses d’en Coll”* han permitido establecer la superficie necesaria de SHD para la depuración de los caudales de agua dulce de entrada a la laguna (Tabla 4). El cálculo de la superficie de SHD necesaria se ha realizado asumiendo un tiempo de residencia de entre 5 y 6 días y una columna de agua de entre 20-25 cm, parámetros adecuados para garantizar una eficiente depuración de las aguas (Kadlec & Knight, 1996). Con estas condiciones de partida se espera que el rendimiento del humedal sea de una retención del 95% de sólidos en suspensión y de la reducción del 65% de las entradas de nitrógeno y fósforo totales.

En la Tabla 4 se muestran las superficies de SHD estimadas para depurar el caudal total medio de entrada de agua a la laguna así como el caudal medio en cada uno de los cuatro puntos de entrada de agua. También se han estimado las superficies de SHD necesarias para depurar el agua de entrada durante los distintos períodos hidrológicos: el ciclo del arroz y el resto del ciclo.

Tabla 4. Valores medios del caudal de entrada de agua dulce y superficie de depuración necesaria. Se indican los valores para el global de las entradas y para cada punto por separado.

	Caudal medio (m ³ día ⁻¹)	Superficie de depuración (ha)
Total de entradas en la laguna		
Total	4987	12,0
No arroz	2745	6,6
Ciclo del arroz	8913	21,4
Punto 1: Bombeo		
Total	1517	3,6
No arroz	409	1,0
Ciclo del arroz	3457	8,3
Entrada 2: Rec de les Bassetes		
Total	2315	5,6
No arroz	1034	2,5
Ciclo del arroz	4559	10,9
Entrada 3: Rec del Fesols		
Total	826	2,0
No arroz	1078	2,6
Ciclo del arroz	385	0,9
Entrada 4: La Gilda		
Total	329	0,8
No arroz	224	0,5
Ciclo del arroz	512	1,2

De acuerdo con la propuesta inicial del proyecto LIFE y según los resultados obtenidos en el presente informe, se debería construir un único SHD de un mínimo de 12 ha para garantizar la depuración del caudal total medio de entrada a la laguna (Tabla 4). Esta superficie supone aproximadamente un 30% de la superficie total del *Espacio Natural Basses d'en Coll* y ocuparía aproximadamente la totalidad de los campos de arroz situados en el zona oeste (Fig. 7). Si se quiere garantizar la depuración del caudal total medio de entrada durante el ciclo del arroz, la superficie de depuración necesaria se incrementa a unas 21 ha, el 50% de la superficie total. La elevada extensión de terreno necesaria en ambos casos y la dificultad que supone, en cuanto a infraestructuras necesarias, la canalización del agua desde los distintos puntos de entrada y su distribución por toda el área, llevan a reconsiderar la propuesta inicial formulada en el proyecto LIFE. Además, si se tiene en cuenta que dentro del mismo

proyecto se pretende reconvertir todos los arrozales que rodean la laguna en zona de humedales, prados de siega y bosques de ribera (Acción C.3: *Transformación de los arrozales adyacentes a la laguna “les Basses d’en Coll” a humedales, prados de siega y bosques de ribera*) no tiene mucho sentido construir dentro del ecosistema a recuperar un sistema de humedales de depuración que ocupe entre el 30% y 50% de la superficie total.

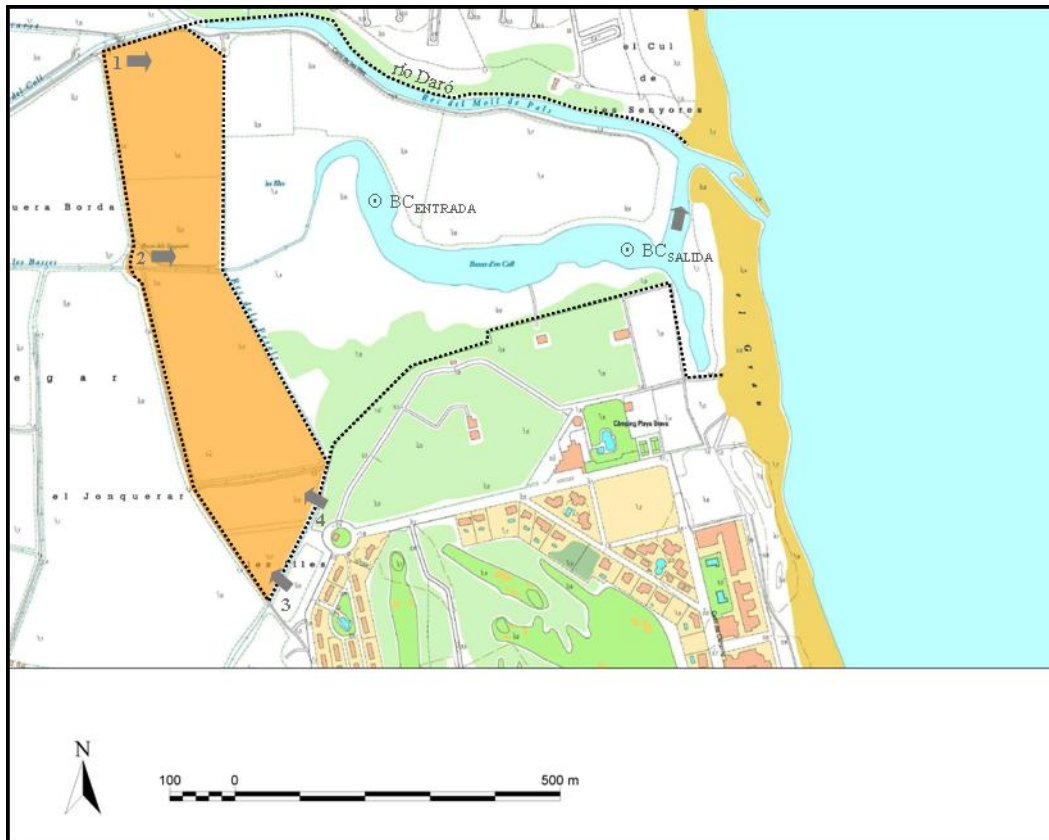


Figura 7. Mapa detallado de la laguna “les Basses d’en Coll”. Se indica, en color naranja, la superficie de humedales de depuración necesaria para la depuración del caudal total medio de entrada a la laguna “les Basses d’en Coll” por los cuatro puntos de entrada. En línea discontinua se delimita el perímetro global del *Espacio Natural Basses d’en Coll*.

El *Espacio Natural Basses d'en Coll* debe concebirse como un único sistema de humedales interconectados entre sí, y para conseguir una buena calidad del agua en todo el ecosistema se recomienda que las aguas de entrada, ya sean de escorrentía o bien de regadío, lleguen ya depuradas en cierto grado. Para conseguirlo se recomienda establecer distintas zonas de acumulación y/o laminación de agua durante el recorrido previo de las aguas, fuera del ecosistema, dónde ya se conseguiría cierta reducción de los nutrientes y cierto control de los caudales de entrada, especialmente durante las avenidas, asegurando un flujo de agua hacia el ecosistema más regular y continuo. Una vez dentro del ecosistema, y en comparación con la situación actual, la circulación del agua se daría más lentamente y de forma laminar ya que el agua se extendería por toda la zona de humedales recuperados previos a la laguna. De esta manera se favorecería a la vez un segundo proceso de retención de nutrientes en el agua de entrada a la laguna. Se recomienda que el agua de salida de la laguna, con mejor calidad, se haga recircular por la zona de arrozales situados en el margen norte (Fig. 8), que dentro del mismo proyecto Life ya se prevé reconvertirla en humedales. Esta zona deberá aislarse del resto de los arrozales y/o humedales reconvertidos ya que por éstos se prevé que circulen las aguas de entrada, de peor calidad.

Así, el modelo de circulación del agua dulce ideal para el ecosistema del *Espacio Natural les Basses d'en Coll* podría resumirse en (1) establecer, a lo largo del recorrido de las aguas antes de su llegada al ecosistema, puntos de retención y/o acumulación de agua para iniciar la reducción de nutrientes y regular los caudales de entrada al sistema, (2) conseguir, una vez dentro del ecosistema, la laminación del agua de entrada antes de su llegada a la laguna para garantizar un segundo proceso de retención de nutrientes y (3) favorecer la recirculación del agua de salida de la laguna, de mayor calidad, a una zona de humedales recuperados adyacente a la laguna. No obstante, cabe mencionar que se trata, en realidad, de una propuesta a más largo plazo ya que ésta debe integrarse dentro del plan de gestión del agua para el global de la zona Red Natura 2000. Este modelo de circulación del agua recomendado no puede llevarse a la práctica si antes no se ha determinado la correcta ubicación de las zonas previas de laminación y/o retención del agua, para la cual se necesita un buen conocimiento de la conectividad hídrica de toda la zona.

La solución a corto plazo a la propuesta del proyecto LIFE de ‘*Creación de un sistema de humedales de depuración (SHD) anterior a la laguna de agua dulce “les Basses d’en Coll”*’ (Acción C.2.), y habiéndose descartado la construcción de un único SHD debido a la extensión requerida, sería la construcción de pequeñas superficies de laminación de agua en los arrozales adyacentes a los distintos puntos de entrada de agua al ecosistema. De esta manera se conseguiría cierta reducción de nutrientes en las aguas de entrada a la laguna. Los resultados obtenidos en el presente informe han mostrado que las concentraciones de nutrientes en la laguna aumentan significativamente durante la época en que no se produce el cultivo del arroz, cuando la circulación del agua dulce y el efecto de ‘lavado’ de los nutrientes es menor y tienden a acumularse en el ecosistema. Durante este período la calidad del agua tiende a empeorar con respecto a la observada durante el ciclo del arroz, ya que oscila entre ‘mediocre’ y ‘buena’. Durante el cultivo del arroz la calidad del agua se considera ‘buena’, llegando puntualmente a ‘muy buena’.

Ya que para cumplir con la Directiva Marco del Agua se va a exigir que en 2015 la calidad del agua en los sistemas acuáticos de los países comunitarios sea como mínimo ‘buena’, debería priorizarse la mejora de la calidad del agua durante el período en que no se produce el cultivo del arroz. Así, la construcción de los distintos sistemas de laminación de agua debería garantizar, como mínimo, la reducción suficiente de nutrientes del agua de entrada a la laguna durante este período. De acuerdo con las superficies de depuración estimadas para el caudal medio de entrada durante el ciclo del arroz (Tabla 4), la superficie mínima de laminación de agua necesaria para una reducción aproximada de nutrientes del 65% en el punto de entrada 2, *Rec de les Bassetes*, es de 2.5 ha. Para los puntos de entrada 3, *Rec dels Fesols*, y 4, *La Gilda*, debido a su proximidad, se recomienda una única superficie de laminación de unas 3 ha. Para el punto de entrada 1 no tiene sentido la construcción de un sistema de laminación para la reducción de nutrientes ya que el agua que circula por este canal no se dirige a la laguna si no que se distribuye directamente hacia los arrozales adyacentes. No es necesario depurar el agua antes de su entrada en el arrozal, ya que es en la salida del arrozal cuando el agua vierte hacia la laguna. Además, la circulación de agua por este canal no se da de manera natural si no que depende directamente de la necesidad de agua a criterio del agricultor, que desvía agua del *Rec del Molí* mediante una bomba. Lo más recomendable en este punto sería dirigir las salidas de agua desde el arrozal, que actualmente se dan de manera difusa hacia la laguna, hacia algún sistema de laminación

próximo. De todas maneras, como se ha comentado anteriormente, esta zona concreta de arrozales se prevé convertirla en humedal o prados de siega dentro del mismo proyecto LIFE (Acción C.3).

En la Figura. 8 se muestra la propuesta de ubicación de las distintas superficies de laminación en los puntos de entrada de agua 2, 3 y 4 teniendo en cuenta la localización de las zonas prioritarias y/o alternativas de compra de terrenos propuesta en el proyecto inicial (Fig. 9). En todo caso, la ubicación definitiva de los sistemas de laminación va a depender finalmente de los terrenos comprados y/o cedidos. En la Figura 8, también se ubica la zona propuesta para la recirculación del agua de salida de la laguna, de mejor calidad. Esta zona coincide con la zona prioritaria de cesión de uso del terreno propuesta inicialmente en el proyecto Life (Fig.9). Dentro del mismo proyecto se prevé la conversión de esta zona en humedal (Acción C.3) aunque se recomienda que se aisle del resto de arrozales y/o nuevos humedales de laminación de modo que sólo reciba el agua de salida de la laguna, de mayor calidad.



Figura 8. Propuesta inicial de ubicación de las superficies de laminación para la depuración del agua en los distintos puntos de entrada (en naranja). Se indica con flechas la propuesta de circulación del agua de entrada una vez haya circulado por los sistemas de laminación. Se ubica también la zona de recirculación del agua de salida de la laguna (en azul). Actualmente se trata de un arrozal pero dentro el mismo proyecto LIFE se prevé convertirlo en humedal (Acción C.3). Esta zona de recirculación de agua de mayor calidad debería aislarse del resto de los arrozales y/o humedales reconvertidos que rodean laguna (línea discontinua) ya que por ellos circularía el agua de entrada al sistema, de calidad más baja.

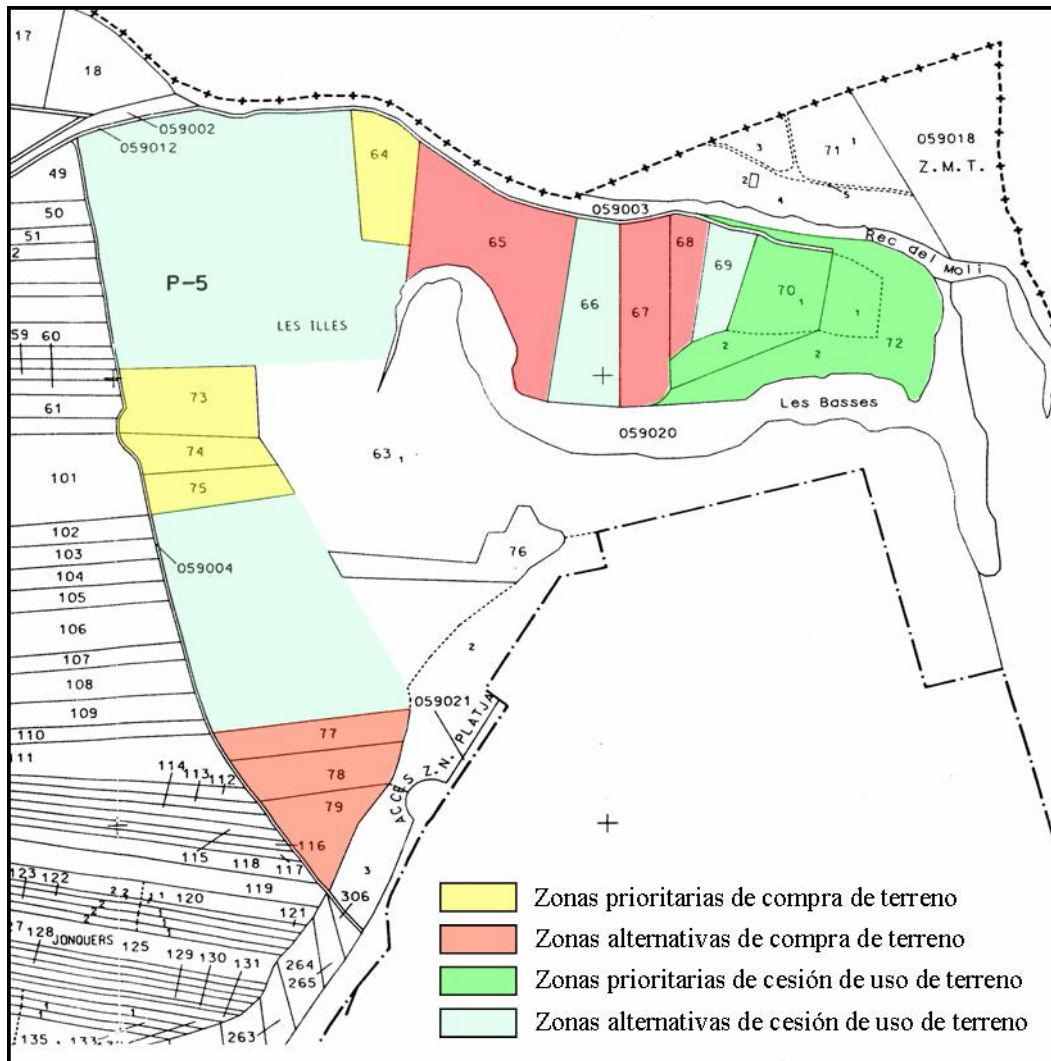


Figura 9. Detalle de las parcelas catastrales propuestas para la compra de terrenos y la cesión de usos en el *Espacio Natural les Basses d'en Coll* para la ejecución de la Acciones C.2 'Creación de un sistema de humedales de depuración (SHD) anterior a la laguna de agua dulce "les Basses d'en Coll" y C.3 'Transformación de los arrozales adyacentes a la laguna "les Basses d'en Coll" a humedales, prados de siega y bosques de ribera'.

REFERENCIAS

- Álvarez-Cobelas, M., Rojo, C., Angeler, D.G., 2005. Mediterranean limnology: current status, gaps and the future. *Journal of Limnology* 64, 13-29.
- APHA, 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th edition. American Public Health Association, Washington D.C., 1268 pp.
- Badosa, A., 2007. *Limnological characteristics and zooplankton community structure of Mediterranean coastal lagoons undergoing restoration*. Tesis Doctoral, Universitat de Girona, 233 pp.
- Barriocanal, C., Crous, A., Varga, D., Vila, J., 2006. Preliminary assessment of factors responsible for periodic river mouth closure, river Daró, (Costa Brava, Girona). *Journal of Coastal Research* SI 48, 16-20.
- Boix, D., Gascón, S., Sala, J., Martinoy, M., Gifre, J., Quintana, X.D., 2005. A new index of water quality assessment in Mediterranean wetlands based on crustacean and insect assemblages: the case of Catalunya (NE Iberian peninsula). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16, 441-455.
- Day Jr., J.W., Psuty, N.P., Pérez, B.C., 2000. The role of pulsing events in the functioning of coastal barriers and wetlands: implications for human impact, management and the response to sea level rise. In: Weinstein, M.P., Kreeger, D.A. (eds.), *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, The Netherlands, pp. 633-661.
- de Jonge, V.N., Elliott, M., Orive, E., 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. *Hydrobiologia* 475/476, 1-19.
- De Stefano, L., 2004. *Freshwater and Tourism in the Mediterranean*. WWF Mediterranean Programme.
(http://assets.panda.org/downloads/medpotourismreportfinal_ofnc.pdf).
- EEA, 1999. *State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment*. Summary. Environmental European Agency, Copenhagen, 44 pp.
(http://reports.eea.europa.eu/medsea/en/medsea_en.pdf).
- Flower, R.J., 2001. ChAnge, Stress, Sustainability and Aquatic ecosystem Resilience In North African wetland lakes during the 20th century: an introduction to integrated biodiversity studies within the CASSARINA Project. *Aquatic Ecology* 35, 261-280.

- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K. (Eds.), 1983. *Methods of Seawater Analysis*, 2nd revised and extended edition. Verlag Chemie, Weinheim, 419 pp.
- Green, A.J., El Hamzaoui, M., El Agbani, M.A., Franchimont, J., 2002. The conservation status of Moroccan wetlands with particular reference to waterbirds and to changes since 1978. *Biological Conservation* 104, 71-82.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L., 1996. *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers CRC, New York, 893 pp.
- Pearce, F., Crivelli, A.J., 1994. *Characteristics of Mediterranean Wetlands. Conservation of Mediterranean Wetlands, n° 1 (MedWet publications series)*, Tour de Valat, Arles, France, 88 pp.
- Quintana, X.D., Comín, F.A., 1989. Introducció a l'estudi limnològic de la llacuna costanera de Ter Vell. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 57, 23-34.
- Skinner, J., Zalewski, S., 1995. *Functions and values of Mediterranean wetlands, no. 2 MedWet publication series*, Tour du Valat, Arles, France, 78 pp.
- Talling, J.F., Driver, D., 1963. Some problems in the estimation of chlorophyll a in phytoplankton. *Proceedings of a Conference on Primary Productivity Measurements, Marine and Freshwater*. University of Hawaii, 1961. US Atomic Energy Comm., TID-7633, 142-146.