LIFE12 ENV/ES/000685

Informe del primer año de resultados de la monitorización del impacto de la gestión sobre la calidad del agua y sedimentos. ACCION C1

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

ACCIÓ ECOLOGISTA AGRÓ

FUNDACIÓN GLOBAL NATURE

60 AÑOS SEO BirdLife

acuaMed Aguas de las Cuencas Mediterráneas

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

ABREVIATURAS....0
1. INTRODUCCIÓN....1
1.1 Objetivos de la acción C1....1
1.2 Grado de avance de la acción C1....5
2. Material y métodos....6
2.1 Trabajo de campo....6
2.1.1 Calidad de aguas....6
2.1.2 Sedimentos....10
2.1.3 Macroinvertebrados....11
2.2 Análisis de laboratorio....13
2.3 Tratamiento de los datos....17
2.4 Rendimientos de los sistemas....18
3. Resultados....19
3.1 Calidad de aguas. Concentraciones....19
3.1.1 Resultados en el HATP....19
3.1.2 Resultados en el HATM....31
3.1.3 Resultados en el HATLI....41
3.2 Calidad de aguas. Rendimientos....52
3.2.1 Rendimientos en el HATP....52
3.2.2 Rendimientos en el HATM....55
3.2.3 Rendimientos en el HATLI....57
3.3 Deposición atmosférica....59
3.4 Sedimentos....60
3.5 Macroinvertebrados....64
3.5.1 Listado taxonómico....64
3.5.2 Análisis de la comunidad de macroinvertebrados....68
4. Resumen y Conclusiones....86
4.1 Calidad de aguas....86
4.2 Sedimentos....89
4.3 Macroinvertebrados....89

5. Referencias. 91

Anejo 1. Concentraciones medidas en los puntos extraordinarios (HATP: P9, P10, P11; HATM: P9, P10, P11, P12; HATLI: P9, P10, P11).

Anejo 2. Documentación fotográfica de los trabajos de seguimiento de la calidad del agua.

Anejo 3. Fichas de laboratorio. Calidad de aguas y sedimentos.

ABREVIATURAS

HA: Humedal Artificial

HATLI: Humedal Artificial de Tancat de l'Illa

HATM: Humedal Artificial de Tancat de Milia

HATP: Humedal Artificial de Tancat de la Pipa

LE: laguna educativa (HATP)

LR: laguna de reserva (HATP)

NT: nitrógeno total

OD: oxígeno disuelto

PT: fósforo total

SS: sólidos suspendidos totales

SSV: sólidos suspendidos volátiles

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos de la acción C1

Uno de los objetivos del proyecto LIFE ALBUFERA es el de establecer las reglas de gestión más adecuadas en los humedales artificiales para optimizar conjuntamente la calidad de las aguas y la mejora de los hábitats y la biodiversidad. Dichas reglas de gestión, basadas en la gestión del recurso hídrico y de la gestión de la vegetación, deben evaluarse a partir de unos indicadores que se monitorizan a lo largo de la vida del proyecto. Tal y como establece la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE), la evaluación del estado ecológico de las masas de agua debe realizarse integrando la monitorización de indicadores tanto físico-químicos como hidromorfológicos y biológicos.

En este documento se recogen los resultados correspondientes a los indicadores relacionados con la calidad del agua, de los sedimentos y de la comunidad de macroinvertebrados en el primer año de control: enero-diciembre 2014. Estos resultados se han obtenido dentro de la acción C1.

Por otro lado, en las acciones B1 (gestión y monitorización de la hidráulica: caudales, calados, tiempos de residencia), B2 (gestión de la vegetación acuática y su monitorización) y C2 (monitorización de la biodiversidad vertebrada: ictiofauna y avifauna) se monitorizan el resto de indicadores necesarios para conocer el estado ecológico de los ecosistemas del proyecto. Por tanto, los humedales artificiales del proyecto se monitorizan integrando aspectos contemplados en las tres directivas objeto del proyecto: agua, aves y hábitats.

La acción C1 inició en enero de 2014. Esta acción comprende la monitorización de la calidad físico-química y biológica (fitoplancton y zooplancton) del agua, la fauna macroinvertebrada y los sedimentos. Previamente a su inicio el socio coordinador, UPV, sacó a concurso público las tareas de seguimiento de fitoplancton y zooplancton, siendo adjudicadas al Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Ecología Evolutiva de la Universitat de València, cuya responsable para esta tarea es la profesora Dra. Mª Antonia Rodrigo. Los resultados de este estudio se presentan en un documento independiente.

Las campañas de muestreo realizadas en el periodo de estudio han sido 52 (18 en el *Tancat de la Pipa* (HATP), 17 en el de *Milia* (HATM) y 17 en el de l´*Illa* (HATLI)).

Tabla 1. Campañas de monitorización de calidad físico-química y biológica del agua y sedimentos en el periodo enero-diciembre 2014.

Mes	HATP (*Pipa*)	Matriz	HATM (*Milia*)	Matriz	HATLI (*Illa*)	Matriz
Enero	13/01/2014	Agua	15/01/2014	Agua	23/01/2014	Agua
Febrero	03/02/2014 24/02/2014	Agua, macroinv, sedim Agua	05/02/2014 26/02/2014	Agua, macroinv, sedim Agua	12/02/2014	Agua, macroinv, sedim
Marzo	10/03/2014	Agua, Fito-zooplancton	12/03/2014	Agua, Fito-zooplancton	05/03/2014	Agua

Mes	HATP (*Pipa*)	Matriz	HATM (*Milia*)	Matriz	HATLI (*Illa*)	Matriz
	31/03/2014	Agua, Fito-zooplancton			20/03/2014	Agua, Fito-zooplancton
Abril	22/04/2014	Agua	02/04/2014 24/04/2014	Agua, Fito-zooplancton Agua	09/04/2014 29/04/2014	Agua, Fito-zooplancton Agua
Mayo	12/05/2014	Agua, Fito-zooplancton, macroinv	14/05/2014	Agua, Fito-zooplancton, macroinv	21/05/2014	Agua, Fito-zooplancton, macroinv
Junio	02/06/2014 23/06/2014	Agua Agua	04/06/2014 25/06/2014	Agua Agua	11/06/2014	Agua
Julio	14/07/2014 28-29/07/2014	Agua, Fito-zooplancton Agua, macroinv, sedimentos	16/07/2014 30/07/2014	Agua, Fito-zooplancton Agua, macroinv, sedimentos	02/07/2014 23/07/2014	Agua Agua, Fito-zooplancton
Agosto	25/08/2014	Agua	27/08/2014	Agua	05-06/08/2014	Agua, macroinv, sedimentos
Septiembre	22/09/2014	Agua	24/09/2014	Agua	03/09/2014 24/09/2014	
Octubre	06/10/2014 27/10/2014	Agua Agua, fito-zooplancton	15/10/2014 29/10/2014	Agua Agua, fito-zooplancton	13/10/2014	Agua
Noviembre	17-18/11/2014	Agua, Macroinv	19/11/2014 20/11/2014	Agua Macroinv	26/11/2014 27/11/2014	Agua, fito-zooplancton Macroinv
Diciembre	09/12/2014 29/12/2014	Agua Agua	11/12/2014	Agua	17/12/2014	Agua

Durante los muestreos se han encontrado diversas incidencias que afectan a los parámetros establecidos en la gestión o que suponen una dificultad en la actividad de monitorización. A continuación se describen, para cada uno de los sistemas y de las matrices estudiadas, las incidencias encontradas y las actuaciones propuestas para solucionarlas, así como su estado actual.

Tabla 2. Incidencias relacionadas con actividades de la acción C1 de los humedales artificiales y soluciones propuestas.

Fecha	*Tancat*	Matriz	Incidencia	Solución propuesta	Estado actual
13/01/2014	*Pipa*	Agua	Presencia de fuga importante en la salida de la laguna de reserva (punto 8 de muestreo).	Se ha informado a los gestores del *Tancat* . Se realizaron estimaciones de corrección el caudal de salida teniendo en cuenta esta fuga.	Fuga reparada.
15/01/2014 05/02/2014	*Milia*	Agua	No hay una circulación de agua adecuada a la propuesta en la Gestión definida.	En la acción B1 se va a hacer una monitorización intensa, para estudiar y averiguar la mejor forma de operación para lograr un flujo más continuo. También disminuir el calado de la celda B1E para facilitar así una mejor circulación.	Realizado. Se tiene conocimiento de la variación diaria de caudal.
15/01/204 – 14/07/2014	*Milia*	Agua	Fuga de agua por tubería no controlada desde la entrada al *sector A* a la acequia lateral.	Se ha procedido a localizar y taponar dicha tubería.	Realizado. No existe fuga de agua.
23/01/2014	*Illa*	Agua	No hay una circulación de agua.	En la acción B1 se va a hacer una monitorización intensa, de días completos, para estudiar y averiguar la mejor forma de operación para lograr un flujo más continuo.	Realizado. Se tiene conocimiento de la variación diaria de caudal.
05/02/2014	*Milia*	Macroinv – Sedimentos	El *sector C* presenta un espesor importante de fango muy fluido, que dificulta desplazarse por el mismo a pié.	Se ha propuesto emplear una barca para el siguiente muestreo, para poder realizar el muestreo adecuadamente.	Finalmente no se emplea barca y se toman las muestras próximas a la orilla.
12/02/2014	*Illa*	Agua	No hay una circulación de agua acorde a la propuesta en la Gestión definida.	Se va a hacer una monitorización intensa, de días completos, para estudiar y averiguar la mejor forma de operación para lograr un flujo más continuo. También se va a alimentar directamente el *sector B*	Se sigue alimentando por el sector A pero ya se ha conseguido un flujo continuo por el sector *B3*.

Fecha	*Tancat*	Matriz	Incidencia	Solución propuesta	Estado actual
				para averiguar si la mala circulación se debe a la presencia de fugas en el *sector A*.	
12/02/2014	*Illa*	Sedimentos	Suelo muy compacto y difícil de penetrar con el muestreador a profundidad > 10 cm.	Se propone estudiar los 10 primeros cm del sedimento, dividiendo en 2 profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm.	Se está procediendo según la solución propuesta.
17/02/2014-21/02/2014	*Illa*	Agua	El *sector C* está en proceso de vaciado-secado para fangueo pero se observan filtraciones (no se vacía completamente).	Se va a seguir bombeando hasta vaciado completo. En caso de que el proceso se prolongue más tiempo del previsto, el muestreo de agua de planificado para el 5 de marzo se pospondrá (reajustando el calendario de muestreos).	No fue necesario posponer el muestreo. Se estima que las filtraciones detectadas serán de mucha menor entidad cuando el sistema esté a nivel normal de funcionamiento.
28/03/2014-02/04/2014	*Milia*	Agua	No hay bombeo de agua.	Se ha informado a los gestores del *Tancat*.	Se ha restablecido el bombeo de forma normal.
14/07/2014	*Pipa*	Agua	Apenas entra agua a la *Laguna de reserva* (*sector C*).	Se ha informado a los gestores del *Tancat*. Se realizaron maniobras de cambio de alturas en las compuertas del canal situado entre los sectores *B* y *C*.	Se ha restablecido el caudal de entrada apropiado a la *Laguna de reserva*.
16/07/2014-24/09/2014	*Milia*	Agua	Detección de cianobacterias del género *Microcystis* en los puntos 1 y 8.	Se informa a los gestores del *Tancat* para que tomen las medidas de prevención oportunas.	Se están aplicando las medidas higiénico-sanitarias pertinentes.
24/09/2014-08/10/2014	*Illa*	Agua	Conductividad del agua de entrada demasiado alta para el ecosistema (11320 µS/cm).	Se suspende el bombeo de agua de entrada hasta que disminuya la conductividad en l´Estany de la Plana.	Se ha retomado el bombeo de entrada. La conductividad del agua de entrada ha tomado valores habituales (5250 µS/cm).
27/10/2014-10/12/2015	*Illa*	Agua	Conductividad del agua de entrada demasiado alta para el ecosistema (14000 µS/cm).	Se suspende el bombeo de agua de entrada hasta que disminuya la conductividad en l´Estany de la Plana.	Se ha retomado el bombeo de entrada.

La estructura del documento sigue el esquema clásico de la descripción de "Material y Métodos" empleados, "Resultados y Discusión" y "Conclusiones". En cada uno de ellos se describen los ámbitos de estudio: aguas, suelos/sedimentos, fitoplancton/zooplancton y macroinvertebrados.

1.2 Grado de avance de la acción C1

Las tareas de monitorización programadas en la acción C1 están completadas prácticamente al 50% en todos los humedales artificiales, y para todas las matrices (agua, fitoplancton/zooplancton, macroinvertebrados y sedimentos). Las campañas de monitorización pendientes de realización están programadas para ser realizadas a lo largo del año 2015.

En el caso de la matriz agua, en el HATLI queda pendiente una campaña de monitorización que por los motivos expuestos en la Tabla 2 no pudo llevarse a cabo el 05/11/14, y que se recuperará en el año 2015. En el caso del HATP ya se ha superado el 50% de las campañas de monitorización programadas.

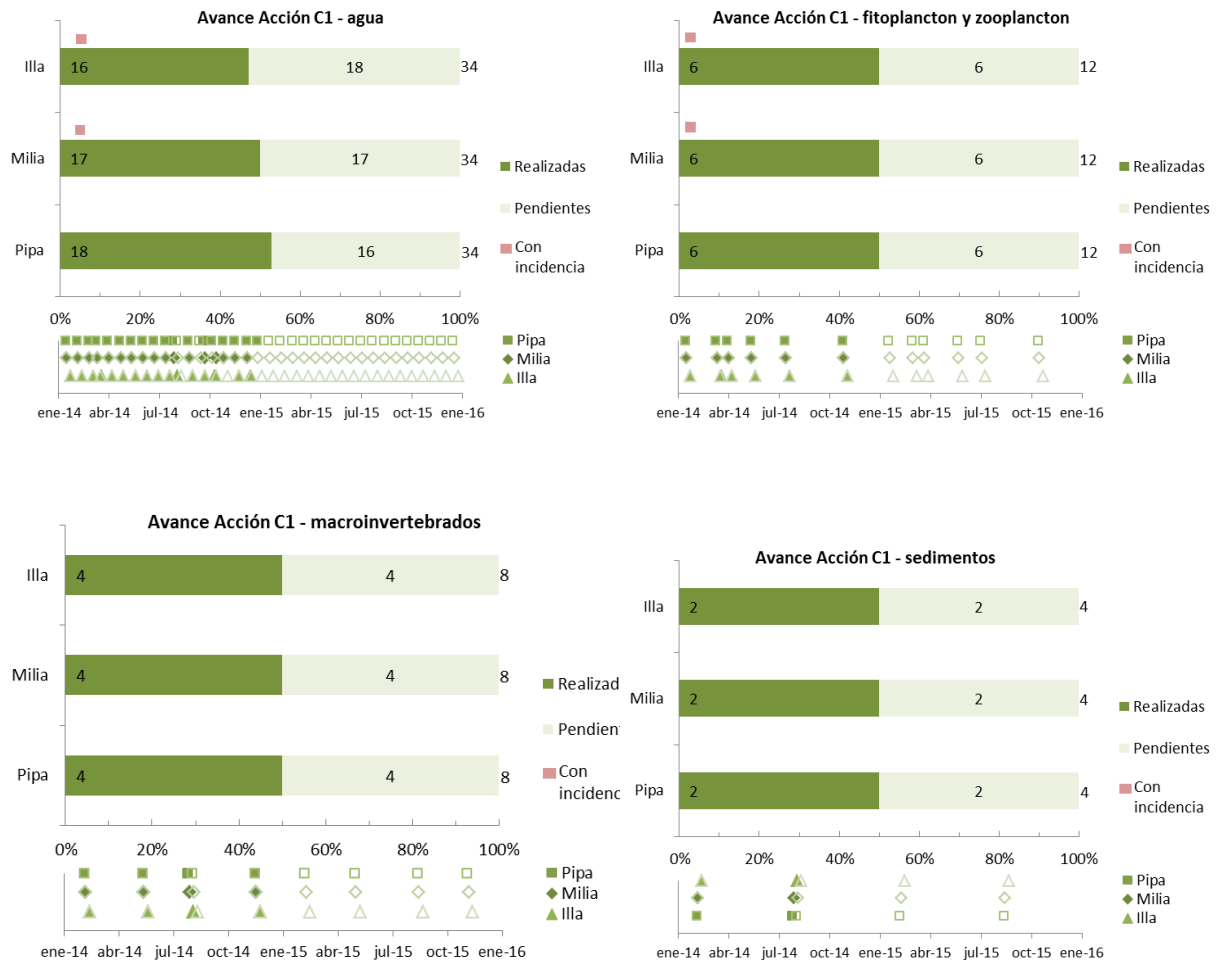


Figura 1. Diagramas del grado de avance en las matrices monitorizadas en la acción C1 (agua, fitoplancton y zooplancton, macroinvertebrados y sedimentos).

2. Material y métodos

El contenido de este apartado se estructura en dos bloques: el trabajo de campo (realizado *in situ* en cada HA) y el trabajo de laboratorio.

2.1 Trabajo de campo.

2.1.1 Calidad de aguas.

En cada campaña de muestreo se lleva a cabo, de forma sistemática, la toma de las ocho muestras definidas en el documento "Definición de la estrategia de gestión de los humedales artificiales…" establecido como resultado de la acción A1, distribuidas estratégicamente dentro de cada HA.

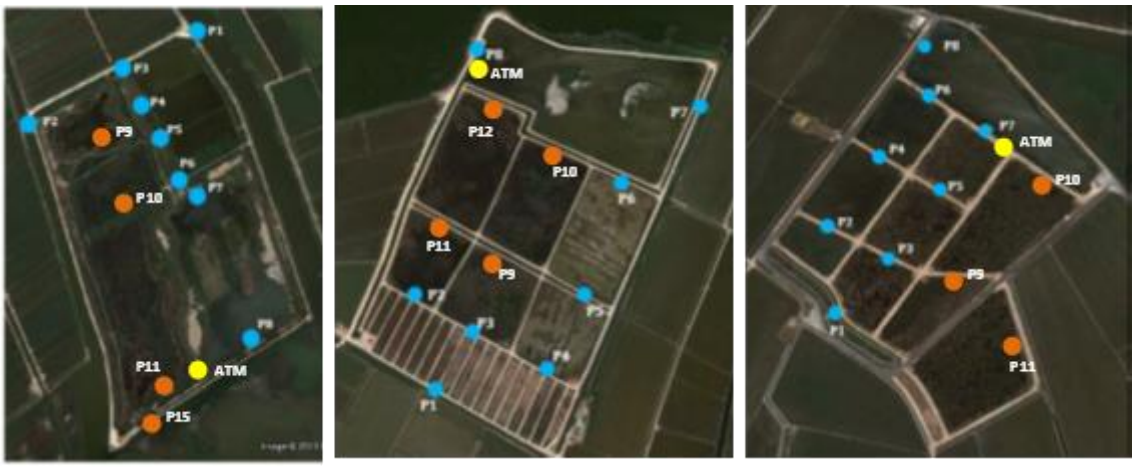


Figura 2. Puntos de muestreo monitorizados por la acción C1 en el HATP, HATM, HATLI, respectivamente.

Al iniciarse la acción C1, se constató el interés de ampliar el seguimiento y muestreo de calidad de aguas a los siguientes puntos:

- En el HA *Tancat de la Pipa* se muestreó el punto definido como P15. Este punto es en el que confluyen todas las aguas tratadas en el humedal artificial antes de su evacuación al lago, por lo que refleja el funcionamiento global del humedal. Ello junto con la disponibilidad de una serie histórica de parámetros físico-químicos del agua en este punto hizo que se considerase adecuado su seguimiento también durante este periodo. De esta manera se podrá observar el efecto de las aguas tratadas en el humedal artificial en el entorno más inmediato, dentro del lago de l´Albufera.

- Coincidiendo con las campañas de muestreo de macroinvertebrados, se han muestreado y analizado algunos puntos extra:
  - HATP: ullal (P9), salida de F4 (P10) y salida de la *laguna educativa* (P11).
  - HATM: salida de B1C (P9), salida de B2C (P10), salida de B10 (P11) y salida de B20 (P12).
  - HATLI: salida de B1 (P9), salida de B2.1 (P10) y salida de B2.2 (P11).

  Los resultados relativos a la calidad del agua de estos puntos se adjuntan en el anejo 1.

- Por último y dado que no se había considerado en el proyecto inicial el estudio, siquiera aproximado, de los aportes atmosféricos, se consideró oportuno instalar sistemas de recogida de agua de lluvia para su posterior análisis. En los tres HAs se ha recogido y analizado la deposición atmosférica, tanto seca como húmeda. Para ellos se ha instalado un captador atmosférico en cada HA, como se puede ver en la Figura 3, con un embudo de 35 cm de diámetro y una botella de 5L de capacidad para recoger dicha deposición.
  Tras cada episodio lluvioso se recoge la muestra de deposición atmosférica. La concentración obtenida en la muestra, multiplicada por su volumen, representa la masa depositada desde el último evento de precipitación. Se expresa en $mg/m^2 \cdot d$.

Las campañas de muestreo se llevan a cabo entre las 8.00-14.00 horas. En la Tabla 3 se muestra el detalle del horario en cada punto de muestreo.

Tabla 3. Orden cronológico de los puntos muestreados durante cada campaña, así como la hora aproximada de la toma de cada muestra.

HATP		HATM		HATLI	
P3	9:20	P1	9:35	P1	9:30
P4	9:30	P8	9:40	P2	9:40
P5	9:40	P7	9:50	P3	9:45
P6	9:50	P6	10:00	P4	9:55
P7	9:55	P5	10:05	P5	10:00
P1	10:05	P4	10:10	P6	10:15
P2	10:15	P3	10:20	P7	10:30
P8	10:25	P2	10:30	P8	10:45
P15	10:35				

En cada muestra se determina *in situ*, mediante un equipo Multi 340i (WTW), los siguientes parámetros:

- Conductividad eléctrica (25ºC) (µS/cm)
- Salinidad (g/L)
- Temperatura (ºC)
- pH
- Oxígeno disuelto (mg/L) y porcentaje de saturación oxígeno disuelto (%).

Figura 3. Captadores atmosféricos utilizados en el HATP, HATLI y HATM, respectivamente.

Figura 4. Detalle de las actividades realizadas *in situ* durante las actividades de monitorización.

La cronología de las muestras de calidad de agua analizadas se recoge a continuación:

Tabla 4. Relación de puntos monitorizados en cada campaña de muestreo.

Mes	Fecha	*Tancat*	Puntos ordinarios (P1-P8)	Puntos extraordinarios (P9-P12)	Deposición atmosférica
Enero	13/01/2014	*HATP*	X		
	15/01/2014	*HATM*	X		
	23/01/2014	*HATLI*	X		X
Febrero	03/02/2014	*HATP*	X	X	X
	05/02/2014	*HATM*	X	X	
	12/02/2014	*HATLI*	X	X	X
	24/02/2014	*HATP*	X		
	26/02/2014	*HATM*	X		
Marzo	05/03/2014	*HATLI*	X		
	10/03/2014	*HATP*	X		
	12/03/2014	*HATM*	X		X
	20/03/2014	*HATLI*	X		X
	31/03/2014	*HATP*	X		X
Abril	02/04/2014	*HATM*	X		X
	09/04/2014	*HATLI*	X		X
	22/04/2014	*HATP*	X		
	24/04/2014	*HATM*	X		
	29/04/2014	*HATLI*	X		
Mayo	12/05/2014	*HATP*	X	X	
	14/05/2014	*HATM*	X	X	X
	21/05/2014	*HATLI*	X	X	X
Junio	02/06/2014	*HATP*	X		X
	04/06/2014	*HATM*	X		
	11/06/2014	*HATLI*	X		
	23/06/2014	*HATP*	X		
	25/06/2014	*HATM*	X		X
Julio	02/07/2014	*HATLI*	X		
	14/07/2014	*HATP*	X		
	16/07/2014	*HATM*	X		
	23/07/2014	*HATLI*	X		
	28/07/2014	*HATP*	X	X	
	30/07/2014	*HATM*	X	X	
Agosto	05/08/2014	*HATLI*	X	X	
	25/08/2014	*HATP*	X		
	27/08/2014	*HATM*	X		
Septiembre	03/09/2014	*HATLI*	X		
	22/09/2014	*HATP*	X		
	24/09/2014	*HATM, HATLI*	X		X
Octubre	06/10/2014	*HATP*	X		
	13/10/2014	*HATM*	X		X
	15/10/2014	*HATLI*	X		X
	27/10/2014	*HATP*	X		
	29/10/2014	*HATM*	X		
Noviembre	17/11/2014	*HATP*	X	X	X
	19/11/2014	*HATM*	X	X	
	26/11/2014	*HATLI*	X	X	X

Mes	Fecha	*Tancat*	Puntos ordinarios (P1-P8)	Puntos extraordinarios (P9-P12)	Deposición atmosférica
Diciembre	09/12/2014	*HATP*	X		X
	11/12/2014	*HATM*	X		X
	17/12/2014	*HATLI*	X		X
	29/12/2014	*HATP*	X		X

2.1.2 Sedimentos.

Las muestras de sedimento son extraídas con un sacatestigos, consistente en un tubo de PVC y un pistón, de manera que se obtienen muestras inalteradas del perfil vertical del sedimento. El tubo de PVC se introduce en el sedimento con el pistón posicionado en el extremo del tubo que se sumerge, de manera que no entre agua en el tubo mientras se alcanza la superficie del sedimento. Una vez se llega a la superficie del sedimento, el tubo es introducido en el mismo y, simultáneamente, se va subiendo el pistón para permitir la entrada de sedimento en el tubo. Una vez alcanzada la profundidad deseada, se extrae el tubo, y la muestra extraída se subdivide en dos fracciones: capa superficial (0-5 cm) y profunda (5-20 cm), con el fin de identificar y estudiar las posibles diferencias entre las mismas. En el caso de HATLI, el sedimento estaba muy compacto y no se podía penetrar hasta los 20 cm de profundidad, por lo que la capa profunda corresponde a una profundidad de 5 a 10 cm. En la imagen de la izquierda se muestra un ejemplo de muestra de sedimento. Una vez fraccionadas las muestras se introducen en una bolsa con cierre hermético y se conservan refrigeradas hasta la llegada al laboratorio.

En cada Humedal Artificial se extrae una muestra compuesta (3 réplicas, separadas unos 5 metros entre sí) en 3 puntos de muestreo repartidos a lo largo de la línea de agua monitorizada: un punto en el primer sector de la línea, un punto en un sector intermedio y un punto en el sector C (lagunas). En las siguientes tabla y figura se especifican los detalles para cada HA.

Tabla 5. Descripción puntos de muestreo en cada HA.

	Celda del H.A. (punto equivalente de la muestra de agua)		
Punto muestreo	HATP	HATM	HATLI
1	Fp1, (P4)	B1E (P5)	B31 (P3)
2	Fp3 (P6)	B2E (P6)	B33 (7)
3	C (P8)	C (P8)	C (P8)

En 2014 se han realizado dos campañas de muestreo, la primera en febrero y la segunda entre julio y agosto.

HATP HATM HATLI

Figura 5. Localización de los puntos de muestreo de sedimentos en cada HA.

2.1.3 Macroinvertebrados.

El muestreo de macroinvertebrados se desarrolló a lo largo de todo el año, con lo que se realizaron cuatro campañas de muestreo correspondientes a las cuatro estaciones del año, en cada uno de los tres humedales. En la Tabla 6 se detallan las referencias de las muestras obtenidas conforme el plan de muestreo.

Tabla 6. Sectores, puntos de muestreos y respectivas coordenadas UTM para cada uno de los 3 humedales artificiales.

Tancat	Código puntos	Código muestras bentos	Código muestra columna	UTMs ETRS89	Sector
PIPA	PIPA04	PIPA04b	PIPA04c	30 S 0728491 - 4360807	fp1
	PIPA05	PIPA05b	PIPA05c	30 S 0728557 - 4360708	fp2
	PIPA06	PIPA06b	PIPA06c	30 S 0728615 - 4360637	fp3
	PIPA08	PIPA08b	PIPA08c	30 S 0728788 - 4360736	Laguna de reserva
MILIA	ILLA05	ILLA05b	ILLA05c	30 S 0728134 - 4354112	B1E
	ILLA06	ILLA06b	ILLA06c	30 S 0728172 - 4354265	B2E
	ILLA07	ILLA07b	ILLA07c	30 S 0728380 - 4354624	C (Entrada)
	ILLA08	ILLA08b	ILLA08c	30 S 0727989 - 4354723	C (Salida)
ILLA	ILLA03	ILLA03b	ILLA03c	30 S 0733542 - 4351043	B31
	ILLA05	ILLA05b	ILLA05c	30 S 0733573 - 4351121	B32
	ILLA07	ILLA07b	ILLA07c	30 S 0733624 - 4352221	B33
	ILLA08	ILLA08b	ILLA08c	30 S 0733726 - 4351271	Sector C

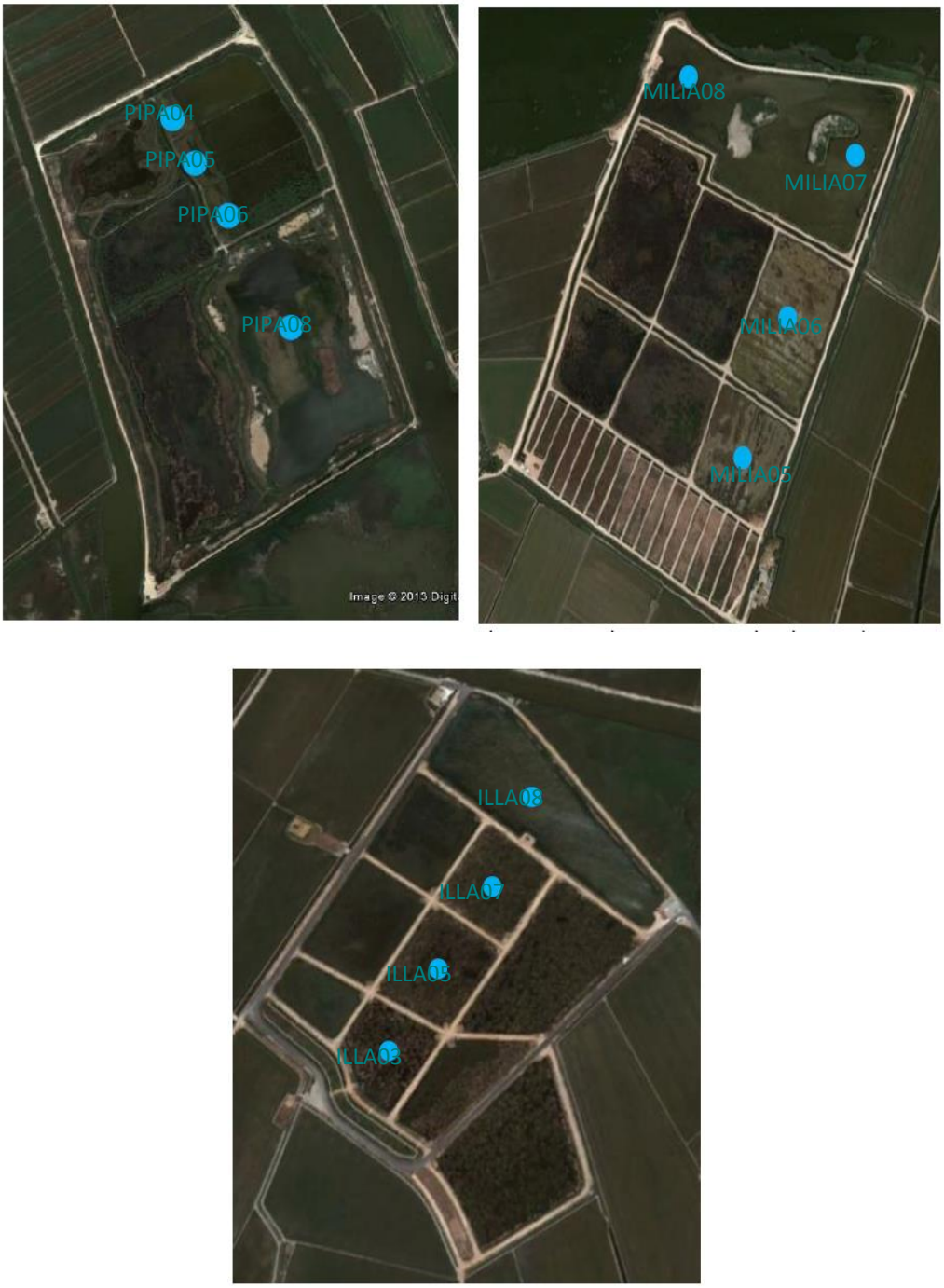


Figura 6. Puntos de muestreo de los 3 Tancats (arriba izquierda Tancat de la Pipa, derecha Tancat de Milia, y abajo Tancat de l'Illa).

Debido principalmente al tiempo requerido para el proceso de triado e identificación de los ejemplares, se ha centrado la presente memoria en las 3 primeras estaciones del año: invierno, primavera y verano. En total se obtuvieron 48 muestras (4 puntos de muestreo para cada Tancat para cada una de las 3 estaciones analizadas, Figura 6). Para cada sector se tomaron 3 muestras de 10 cm de la parte superficial del sedimento mediante cilindros de metacrilato de un diámetro interior de 52 mm (Figura 7) (muestras bentónicas).

Figura 7. Toma de muestras de bentos.

El material recolectado en cada muestra se introdujo en un envase de plástico de un litro. Se decidió no alcanzar mayor profundidad en consideración de que más allá de los primeros 10 cm la fauna de la comunidad bentónica de macroinvertebrados es prácticamente inexistente. Por otro lado, para cada celda se obtuvo una muestra de la comunidad epibentónica mediante una red de mano con malla de 250 µm según metodología de 10 kiks de 1 m o 20 de 0,5 m (Alba-Tercedor *et al.*, 2004; Rueda *et al.*, 2005) (Figura 8). Al finalizar, se introdujo el material recolectado en otro envase de un litro. Tras el muestreo, se procedió a la fijación en formol (5%).

Figura 8. Toma de muestras epibentónicas.

2.2 Análisis de laboratorio

2.2.1 Calidad de aguas

Las muestras se recogen en botellas de 2 L, debidamente lavadas con ácido clorhídrico y se transportan refrigeradas al laboratorio, donde se conservaron a una temperatura de 4ºC hasta su análisis, dentro de un plazo inferior a 24 horas.

Los parámetros analizados en cada una de las muestras, así como los métodos utilizados, se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 7. Caracterización de los parámetros analizados en el laboratorio.

Parámetro	Método	Intervalo de medida	Desviación estándar
Alcalinidad	US Stnd. Meth. 4500[1]		
Materia orgánica soluble (DQO_s)	ISO 15705	4-150 mg O_2 L^{-1}	± 1.2 mg O_2 L^{-1}
Materia orgánica total (DQO)	ISO 15705	4-150 mg O_2 L^{-1}	± 1.2 mg O_2 L^{-1}
Nitrógeno amoniacal (NH_4^+)	ISO 7150/1	0.01-3.00 mg N L^{-1}	± 0.024 mg N L^{-1}
N-nitrato (NO_3^-)	Fotometría (formación de nitrocompuesto rojo)	0.20-20.0 mg N L^{-1}	± 0.18 mg N L^{-1}
N-nitrito (NO_2^-)	EPA354.1, APHA 4500, DIN EN 26777 D10	0.002-1.00 mg N L^{-1}	± 0.008 mg N L^{-1}
Nitrógeno total (NT)	ISO 11905-1 + determinación fotométrica de nitratos	0.20-20.0 mg N L^{-1}	± 0.18 mg N L^{-1}
P-ortofosfatos (PO_4^{3-})	ISO 6878/1	0.01-5.00 mg P L^{-1}	± 0.035 mg P L^{-1}
P-total (PT)	Disgregación + ISO 6878/1	0.01-5.00 mg P L^{-1}	± 0.035 mg P L^{-1}
Sílice (Si)	US Stnd. Meth. 4500	0.005-5.00 mg Si L^{-1}	± 0.038 mg Si L^{-1}
Sólidos suspendidos totales (SS)	UNE-EN 872		
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	UNE 77034		
Turbidez	Fotométricamente	1-100 FAU	

A excepción de los sólidos suspendidos totales, volátiles, y la alcalinidad todos los parámetros se analizan siguiendo el sistema Spectroquant® de Merck.

[1] APHA, 1991. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th ed. American Publish Health Association, Washington, DC, USA.

Figura 9. Imágenes de los análisis realizados en el laboratorio.

2.2.2 Sedimentos

La conservación, procesamiento y análisis de las muestras se realiza de acuerdo con las normas nacionales (UNE) e internacionales (ISO) correspondientes, o métodos estándar. En la Tabla 8 se indican las normas seguidas. En el primer muestreo se realizaron 3 determinaciones adicionales a las contempladas en el proyecto, al considerarse de interés para tener un mejor conocimiento de los sedimentos de los tres sistemas: conductividad eléctrica específica, pH y fracción de finos (partículas menores de 63 µm).

Tabla 8. Normas seguidas para el análisis de las muestras de sedimento.

Código	Título
UNE 77303 (ISO 11464)	Pretratamiento de muestras para análisis físico-químico.
UNE 77311 (ISO 11465)	Determinación del contenido en materia seca y agua en base al peso. Método gravimétrico.
UNE-EN 15169	Determinación de las pérdidas por calcinación de residuos, lodos y sedimentos.
Walkley-Black	Determinación del carbono orgánico oxidable (oxidación con dicromato potásico).
UNE 77318 (ISO 11261)	Determinación de nitrógeno total. Método Kjeldahl modificado (NKT).

Código	Título
UNE 77306 (ISO 14255)	Determinación de nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal y nitrógeno soluble total en suelos secados al aire utilizando cloruro de calcio como disolución extractora.
UNE 77324 (ISO 11263)	Determinación de fósforo. Determinación espectrométrica del fósforo soluble en una disolución de hidrogenocarbonato de sodio.
UNE-ISO 10390	Determinación del pH
UNE 77308 (ISO 11265)	Determinación de la conductividad eléctrica específica (CE).
UNE 103-101	Análisis granulométrico por tamizado.

En la siguiente figura se muestran algunas imágenes de los ensayos realizados.

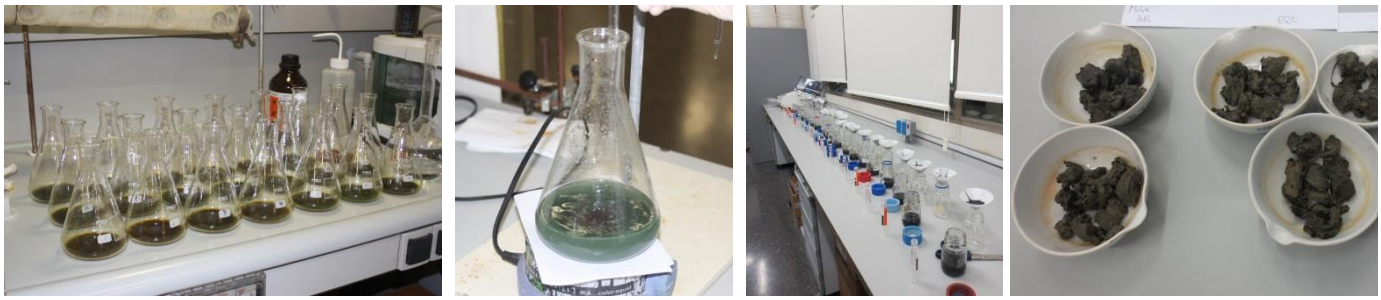


Figura 10. Imágenes de los análisis de sedimento.

2.2.1 Macroinvertebrados

En el laboratorio, se procedió a la limpieza de las muestras mediante filtrado (Figura 11) y sustitución por alcohol de 70% tras dejar un período de 10 días. Posteriormente, se separaron los organismos y se identificaron con una lupa binocular hasta el nivel taxonómico más preciso posible (Figura 12). Todo ello fue llevado a cabo mediante el empleo de claves específicas de identificación (Brinkhurst & Jamieson, 1971; Tachet *et al.*, 1987; Tachet *et al.*, 2000; Kotov & Ferrari, 2010; Oscoz *et al.*, 2011).

De cara a la elaboración de los datos de abundancia de los ejemplares encontrados, una vez obtenido el listado taxonómico completo, se han agrupado los taxones obteniendo un total de 30 grupos (entre paréntesis el código empleado para la representación de los resultados): HYDRIDAE (Hyd), PLATYHELMINTHA (Pla), NEMATODA (Nem), OLIGOCHAETA (NO TUB., NO NAID.) (OliNN), NAIDIDAE (Nai), TUBIFICIDAE (Tub), GLOSSIPHONIIDAE (Glo), GASTEROPODA (Gas), BRANCHIOPODA (NO CLAD.) (Bra), CLADOCERA (Cla), OSTRACODA (Ost), COPEPODA (Cop), MALACOSTRACA (Mal), ACARI (NO HYDROZ.) (Aca), ORIBATIDA (Ori), COLLEMBOLA (Col), ODONATA (Odo), EPHEMEROPTERA (Eph), HETEROPTERA (NO CORIX.) (Het), CORIXIDAE (Cor), COLEOPTERA (NO DYTISCIDAE) (ColND), DYTISCIDAE (Dyt), DIPTERA (NO CERAT., NO CHIRON., NO CULICID.) (DipNN), CILICIDAE (Cul), CERATOPOGONIDAE (Cer), TANYPODINAE (Tan), ORTHOCLADIINAE (Ort), CHIRONOMINAE (Chi), TRICHOPTERA (Tri) y LEPIDOPTERA (Lep).

Figura 11. Proceso de lavado de una muestra.

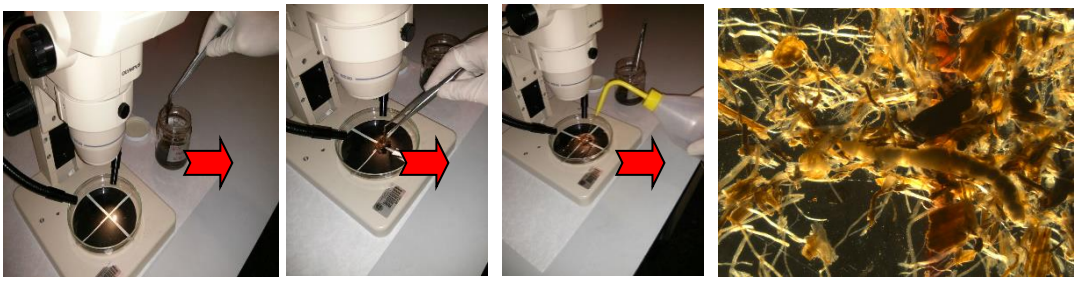


Figura 12. Fases del proceso de triado.

2.3 Tratamiento de los datos

Los resultados se muestran gráficamente mediante diagramas tipo "cajas y bigotes" (*boxplots*) para todas las variables de calidad del agua analizadas en cada punto de muestreo.

También se representa la evolución temporal de las variables en la/s entrada/s y la salida del humedal durante el año 2014.

Los resultados de nitrógeno y fósforo, sean de la especie que sean, se expresan en unidades de nitrógeno y fósforo; esto es, como mg N/L y como mg P/L. Esto significa que hay que aplicar los siguientes factores para convertir los datos aportados en este informe en datos con unidades basadas en especies:

Tabla 9. Factores de conversión entre las unidades de medida de concentración utilizadas.

Para transformar	en	se multiplica por
mg N-NH_4^+/L	mg NH_4^+/L	1.29
mg N-NO_2^-/L	mg NO_2^-/L	3.29
mg N-NO_3^-/L	mg NO_3^-/L	4.43
mg P-PO_4^{3-}/L	mg PO_4^{3-}/L	3.06
mg Si/L	mg SiO_2/L	2.14

2.4 Rendimientos de los sistemas

Las variables de calidad del agua sobre las cuales se ha calculado el rendimiento de eliminación en el sistema son:

- Fósforo total (PT).
- Fosfatos (PO_4^{3-})
- Nitrógeno total (NT).
- Amonio (NH_4^+).
- Nitritos (NO_2^-)
- Nitratos (NO_3^-).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Demanda química de oxígeno, soluble (DQO_s).
- Sólidos suspendidos totales (SS).

Los rendimientos de cada sistema se han calculado asociados a cada variable a estudiar. El parámetro utilizado ha sido la carga eliminada, esto es, la masa que por unidad de tiempo se reduce en el sistema, expresada como porcentaje de la carga de entrada.

$$Rto.(\%) = \frac{\sum_{t=1}^{t=365} carga\ entrada - \sum_{t=1}^{t=365} carga\ salida}{\sum_{t=1}^{t=365} carga\ entrada} =$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^{t=365}[Q_{e,t}C_{e,t} + Q_{pp,t}C_{pp,t}] - \sum_{t=1}^{t=365}[(Q_{e,t} + Q_{pp,t} - Q_{ET,t})C_{s,t}]}{\sum_{t=1}^{t=365}[Q_{e,t}C_{e,t} + Q_{pp,t}C_{pp,t}]}$$

siendo:

$Q_{e,t}$ (L/s): caudal de entrada a cada sistema, a tiempo t.

$Q_{pp,t}$ (L/s): caudal de precipitación, a tiempo t.

$Q_{ET,t}$ (L/s): caudal de evapotranspiración, a tiempo t.

$C_{e,t}$ (L/s): concentración de entrada, a tiempo t.

$C_{pp,t}$ (L/s): concentración en el agua de precipitación, a tiempo t.

$C_{s,t}$ (L/s): concentración de salida del sistema, a tiempo t.

3. Resultados.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en la acción C1 para cada humedal artificial.

3.1 Calidad de aguas. Concentraciones.

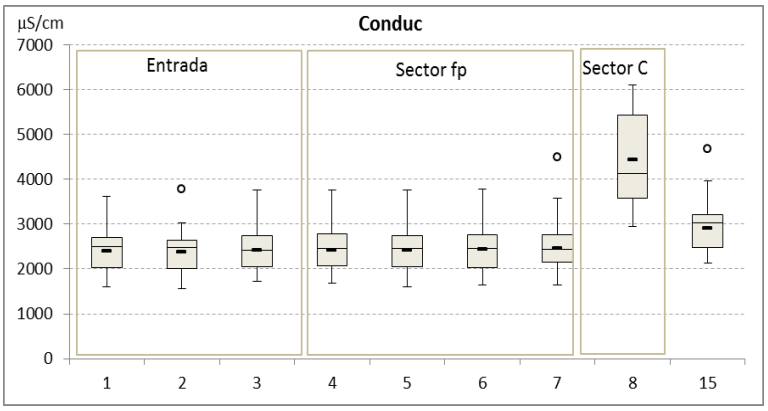
3.1.1 Resultados en el HATP

Con el fin de facilitar la interpretación de las gráficas, se recuerda la ubicación de cada punto, agrupados por significados:

- Puntos 1 y 2. Entradas desde el *Barranco del Poyo* y *Acequia del Puerto de Catarroja*.
- Punto 3. Entrada al sector de humedal artificial *fp*. Sus características son mezcla de los puntos 1 y 2.
- Puntos 4,5,6. Puntos intermedios y final del *sector fp*. Los puntos 3-4-5-6 corresponden a la *línea fp*.
- Puntos 7 y 8. Entrada y salida de la laguna de reserva. El punto 7 es mezcla del punto 6 más el agua que llega del sector humedal artificial *FG*, que no está monitorizado.
- Punto 15. Salida del agua del *Tancat* . Representa la mezcla de todas las aguas que circulan a través del punto 8 con la salida de la *laguna educativa*, que no está monitorizada. Se ha constatado que durante este año, la mayor parte del caudal que llega a P15 procede de la *laguna educativa*, lo cual explica parte de las diferencias que se van a observar entre P8 y P15.

Con el fin de interpretar correctamente los resultados de concentraciones de las distintas variables es muy importante tener en cuenta que la evaporación/evapotranspiración concentra las sustancias en el agua. Esto significa que, en ausencia de procesos/mecanismos de transformación, esto es, para una sustancia conservativa, la concentración de salida es siempre mayor que la de la entrada. La magnitud del incremento depende de la época del año y del caudal circulante. El primer factor no es controlable pero el segundo sí lo es: cuanto mayor sea el caudal circulante menor será el efecto de la concentración y por este motivo, entre otros, en el proyecto LIFE ALBUFERA se realiza una especial atención sobre la gestión hídrica.

Una aproximación a la cuantificación de este efecto puede realizarse empleando los resultados de conductividad, ya que a estos efectos se puede considerar que mide sustancias conservativas (algunos aniones no tienen por qué serlo pero son minoritarios). Los resultados se muestran en la siguiente figura:

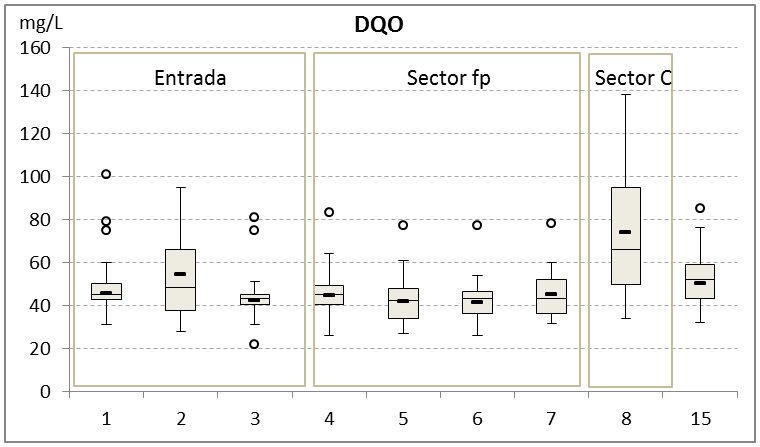


Punto	Promedio (µS/cm)
1	2394
2	2450
3	2416
4	2427
5	2410
6	2430
7	2580
8	4434
15	3006

Figura 13. Variación espacial de la conductividad a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

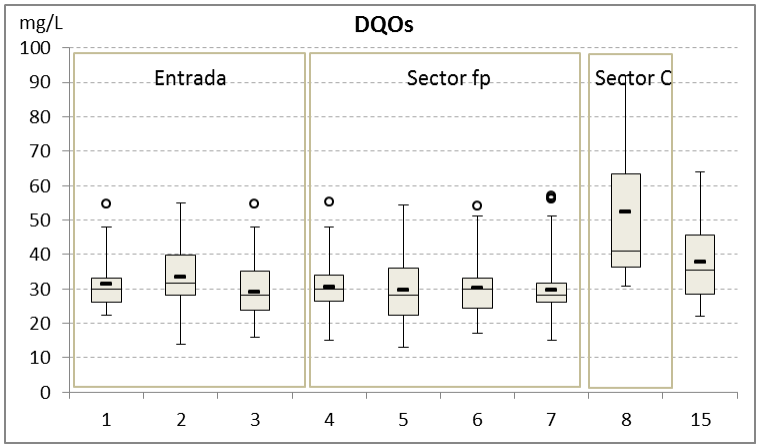
Se puede observar que a lo largo de la línea del *sector fp* (3-4-5-6) la conductividad sube muy ligeramente. El incremento medio entre la salida y la entrada es de un 0.6%; cualquier incremento de concentración de cualquier variable superior a ese tendría un origen distinto al de la evapotranspiración; un incremento de concentración nulo supondría una reducción real de un 0.6%. Como se acaba de ver, en el ámbito del *sector fp* la influencia de la evapotranspiración es baja, pero aplicado este ejercicio sobre toda la superficie del *Tancat de la Pipa* resulta ser que la conductividad se incrementa un 24% entre las entradas (1-2) y la salida (15). Trasladado a otras variables de calidad de las aguas, se puede afirmar, por ejemplo, que si una de ellas no ve modificada su concentración entre la salida y la entrada, en realidad está reduciéndose en más de un 20%.

Este efecto sí está recogido adecuadamente en los resultados sobre rendimientos en aquellas variables de las cuales se dispone de información sobre caudales circulantes.



Punto	Promedio (mg/L)
1	52.2
2	54.3
3	45.0
4	46.6
5	43.7
6	43.4
7	46.7
8	73.7
15	52.2

Figura 14. Variación espacial de la concentración de DQO a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg/L)
1	32.6
2	33.4
3	30.5
4	31.8
5	29.6
6	31.5
7	34.0
8	52.2
15	37.6

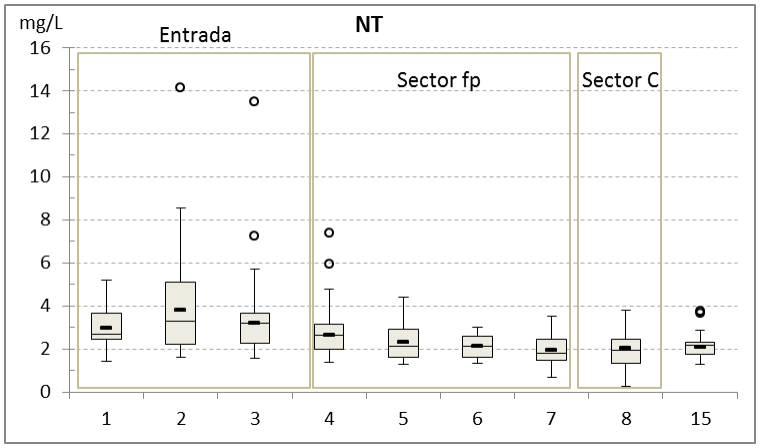
Figura 15. Variación espacial de la concentración de DQO soluble a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

No se observa una reducción significativa de la concentración de materia orgánica durante el recorrido a través del *sector fp* pero sí es muy relevante su aumento en los sectores *C*, las lagunas. El hecho de que apenas se modifique la concentración en el *sector fp* no significa que no esté eliminando materia orgánica ya que si fuera así la concentración a la salida (6) sería mayor que a la entrada (3) por el efecto antes descrito de evapotranspiración. Es más, toda la biomasa generada y en estado de descomposición no está incrementando la DQO a la salida, luego también se está eliminando.

Este mantenimiento/aumento de concentración es el resultado claro de que el humedal artificial superficial en este entorno natural genera materia orgánica tanto particulada como disuelta, fundamentalmente en aquellos sectores morfológicamente más proclives a la presencia de aves y peces. El papel de fijación de carbono que tienen los humedales se ve claramente reflejado en estos resultados ya que parte de ese carbono fijado sale del sistema tras la descomposición de los restos vegetales. Este papel de fijación/emisión de carbono se ve incrementado en los espacios más proclives a la presencia de aves y peces, como son las lagunas someras (*sectores C* de los humedales).

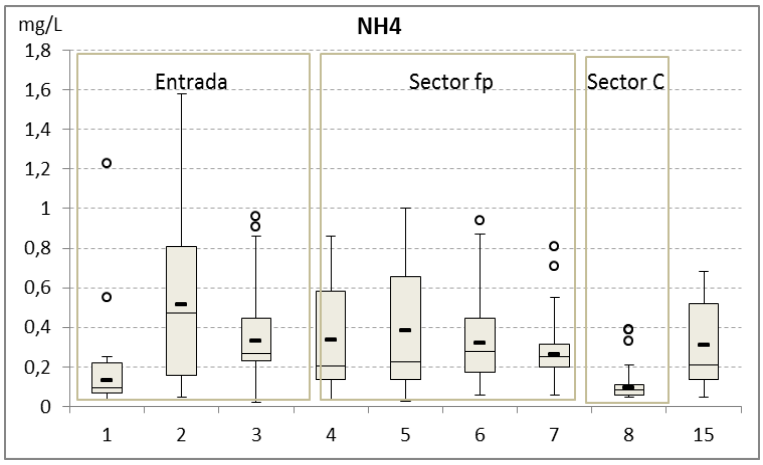
En cualquier caso y por el razonamiento expuesto anteriormente en el apartado de la conductividad, la materia orgánica de entrada se está reduciendo en más de un 20%.

En otro orden de cosas hay que comentar que la concentración de materia orgánica total de las aguas que entran en el *Tancat de la Pipa* ha sido superior en un 50% a las registradas históricamente desde el año 2009 hasta el 2013, tanto en las entradas desde el punto 1 (Bco. del Poyo) como desde el punto 2 (*Acequia del Puerto de Catarroja*). Este hecho es preocupante en tanto que refleja un deterioro de las aguas del lago.



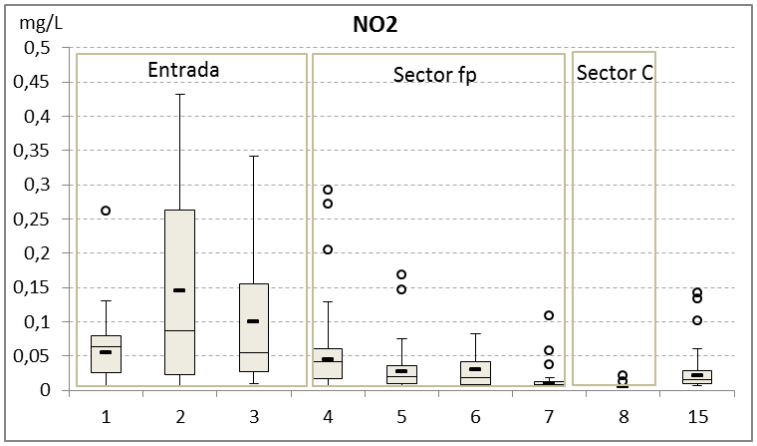
Punto	Promedio (mg N/L)
1	3.0
2	4.4
3	4.0
4	3.1
5	2.3
6	2.1
7	1.9
8	2.0
15	2.3

Figura 16. Variación espacial de la concentración de nitrógeno total a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.



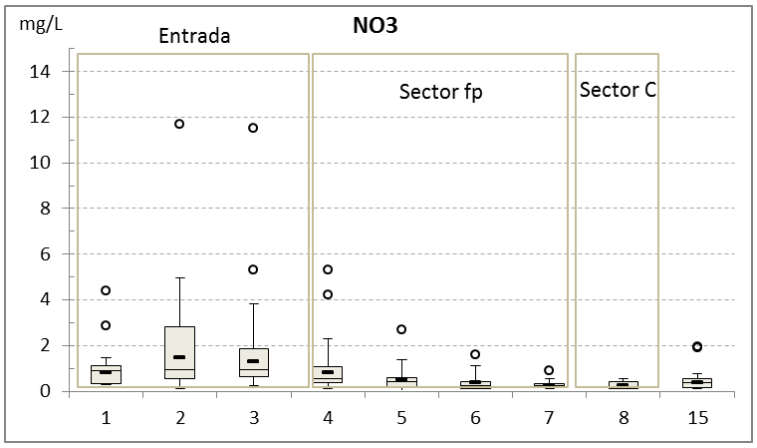
Punto	Promedio (mg N/L)
1	0.216
2	0.513
3	0.396
4	0.334
5	0.384
6	0.354
7	0.317
8	0.141
15	0.307

Figura 17. Variación espacial de la concentración de amonio a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg N/L)
1	0.066
2	0.144
3	0.100
4	0.080
5	0.042
6	0.031
7	0.019
8	0.007
15	0.038

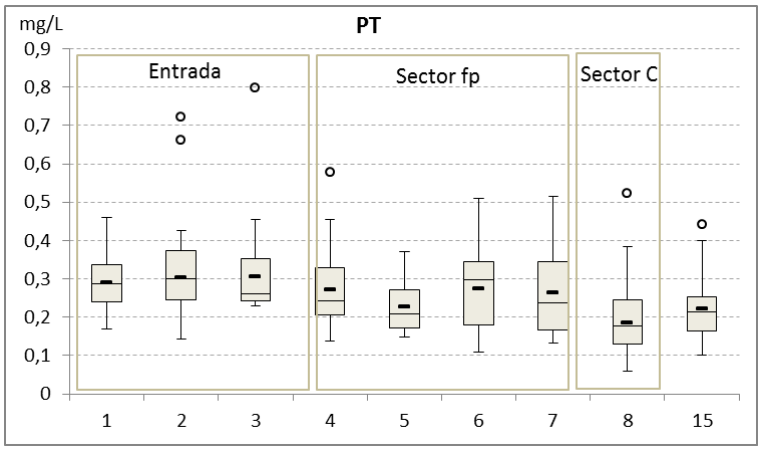
Figura 18. Variación espacial de la concentración de nitritos a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg N/L)
1	1.13
2	2.04
3	2.08
4	1.25
5	0.64
6	0.45
7	0.29
8	0.25
15	0.54

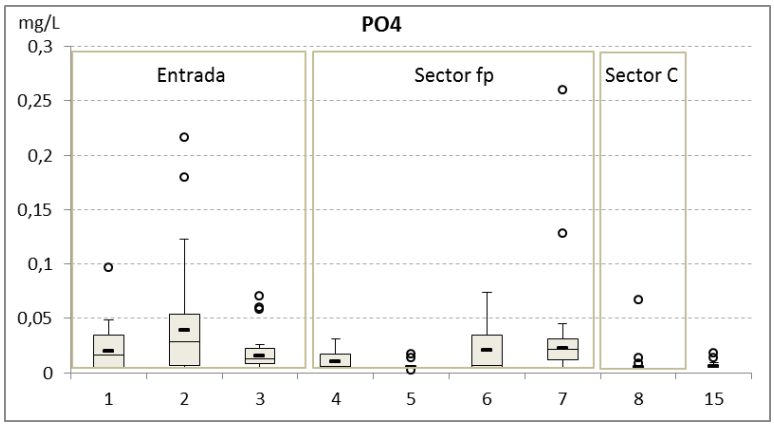
Figura 19. Variación espacial de la concentración de nitratos a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

La concentración de nitrógeno total y de sus formas (amonio, nitrito y nitrato) es mayor en el P2 que en el P1. Se observa una reducción de las concentraciones de estos parámetros a lo largo del tratamiento en *fp* y también en la laguna de reserva (P3-P8), contribuyendo todos los espacios renaturalizados a la reducción de nitrógeno. Sin embargo, entre los puntos P8 y P15 las concentraciones aumentan ligeramente para todos ellos, lo cual es debido a los aportes procedentes de la *laguna educativa*. El resultado global es que entran concentraciones medias de 3.0-4.4 mg N/L y salen de 2.3 mg N/L, lo cual supone un buen resultado.



Punto	Promedio (mg P/L)
1	0.289
2	0.345
3	0.332
4	0.287
5	0.228
6	0.274
7	0.263
8	0.204
15	0.233

Figura 20. Variación espacial de la concentración de fósforo total a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg P/L)
1	0.024
2	0.056
3	0.023
4	0.010
5	0.007
6	0.020
7	0.042
8	0.009
15	0.007

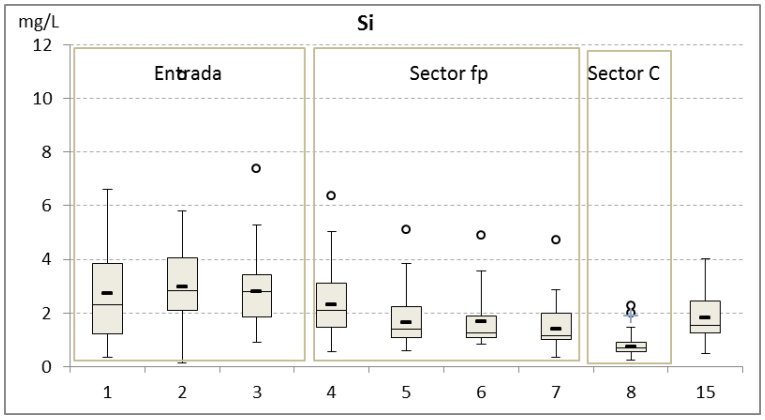
Figura 21. Variación espacial de la concentración de fosfatos a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

En el caso del fósforo total, la concentración de la entrada desde P2 también es mayor que desde P1 (0.345 y 0.289 mg P/L, respectivamente). Las concentraciones se reducen en *fp1* y *fp2*, mientras que en *fp3* (P5-P6) se incrementan un 20%. En este caso no cabe adjudicar el incremento de la concentración de fósforo a la evapotranspiración ya que se comentó que apenas supone un incremento de 0.6% en todo *fp*. El motivo reside en la abundante y "antigua" biomasa que existe en *fp3*. Ese subsector nunca se ha cosechado desde que se plantó en 2009 y su cobertura vegetal es del 100% en su mitad final. La materia orgánica vegetal que hay descomponiéndose va produciendo nutrientes y aumentando la masa de fósforo en su interior. Esta masa, antes o después sale, y lo está haciendo en este momento.

En la LR se reduce la concentración a valores medios de 0.204 mg P/L y en el P15 aumenta ligeramente (0.233 mg P/L), situándose en promedio por debajo de los valores de entrada.

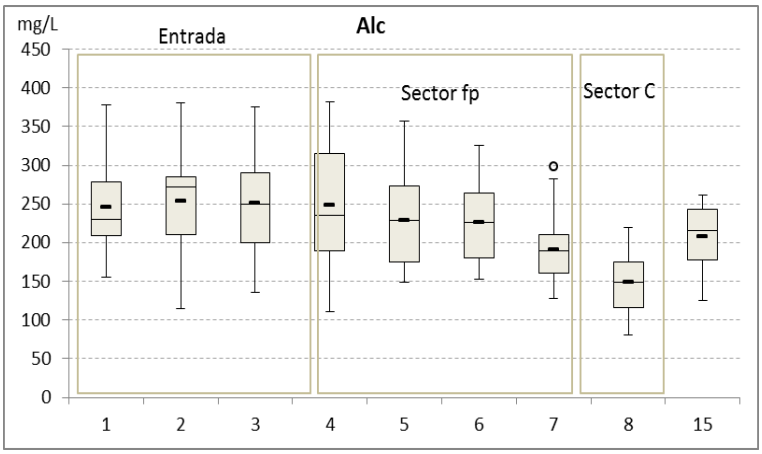
Los fosfatos suponen un pequeño porcentaje el PT contenido en las aguas del sistema (entre el 3 y 16%).

En el balance global se puede afirmar que el fósforo total es eliminado tanto en el humedal artificial monitorizado, *fp*, como en el conjunto del *Tancat de la Pipa*.



Punto	Promedio (mg Si/L)
1	2.73
2	3.42
3	3.06
4	2.54
5	1.85
6	1.84
7	1.59
8	0.95
15	1.83

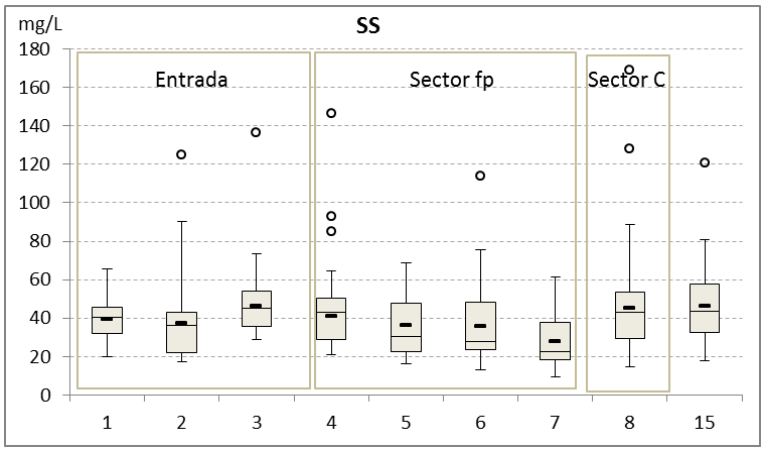
Figura 22. Variación espacial de la concentración de sílice a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg $CaCO_3$/L)
1	245
2	253
3	251
4	248
5	229
6	227
7	197
8	148
15	208

Figura 23. Variación espacial de la alcalinidad a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

Las concentraciones de sílice y alcalinidad siguen un patrón muy parecido. Son mayores en la entrada desde P2 que desde P1, disminuyen paulatinamente desde el P3 hasta el P8 y aumentan el P15, alcanzando valores inferiores a los de la entrada.

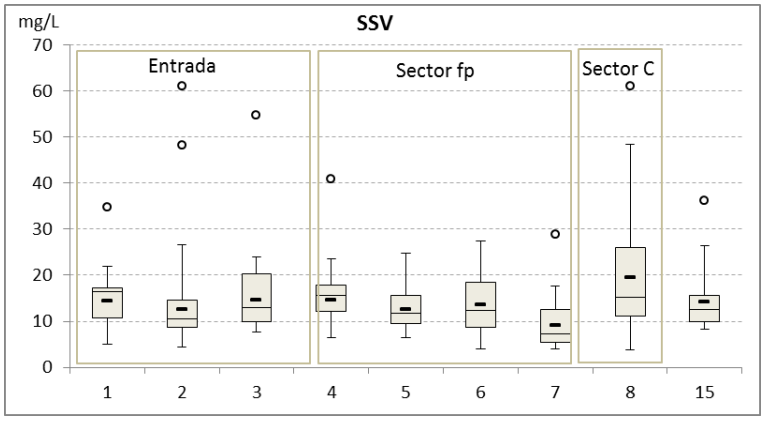


Punto	Promedio (mg/L)
1	39.24
2	42.06
3	51.14
4	52.16
5	35.99
6	40.02
7	27.88
8	56.63
15	50.34

Figura 24. Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos totales a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

La concentración de SS es ligeramente menor en P2 que en P1, y aumenta en P3. Entre P3 y P4 (*fp*1) el valor de SS se mantien prácticamente constante, mientras que entre P4 y P5 (*fp*2) se produce una reducción de la concentración y entre P5 y P6 (*fp*3) ésta aumenta, siendo inferior a la del P3. En la LR la concentración de SS aumenta aproximadamente el 50%, y en P15 se reduce ligeramente. En el balance global, el humedal artificial exporta SS. Como se ve a continuación, la concentración de SSV se mantiene en el mismo valor en las entradas y en la salida, y lo que exporta el humedal artificial son SS de naturaleza inorgánica.

Del total de los SS que contiene el agua del *Tancat de la Pipa*, aproximadamente el 40% corresponden a la fracción volátil de éstos (SSV).



Punto	Promedio (mg/L)
1	15.59
2	17.26
3	16.83
4	16.05
5	12.54
6	13.62
7	10.29
8	21.84
15	15.42

Figura 25. Variación espacial de la concentración de sólidos suspendidos volátiles a lo largo del HATP y valores medios de cada punto de muestreo.

Las gráficas temporales permiten visualizar la evolución de las variables de calidad de aguas a lo largo del año 2014.

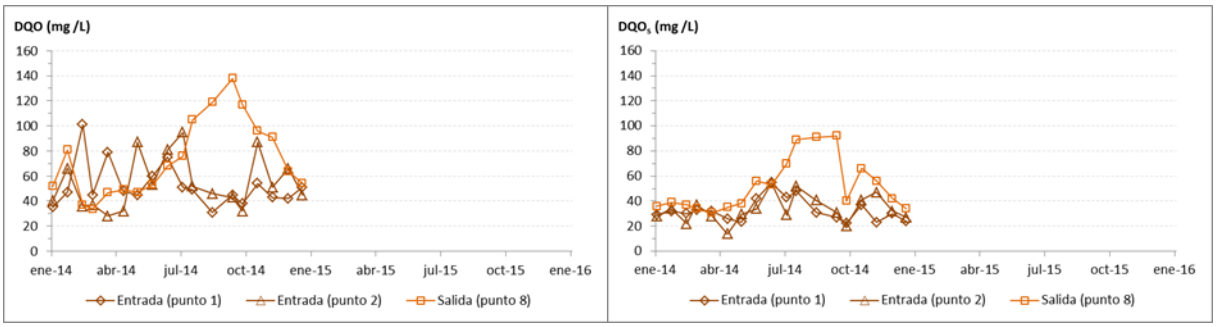


Figura 26. Evolución temporal de las concentraciones de DQO y DQO_S en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P8) del HATP.

Con respecto a la materia orgánica hay que destacar el incremento que se produjo durante el verano en la *laguna de reserva* (punto 8). Este aumento fue debido a la escasa renovación del agua que propició un incremento de las algas en suspensión. No obstante lo llamativo de este aumento, la repercusión en la calidad de aguas de salida del *Tancat* fue muy bajo, como se puede apreciar en la Figura 27.

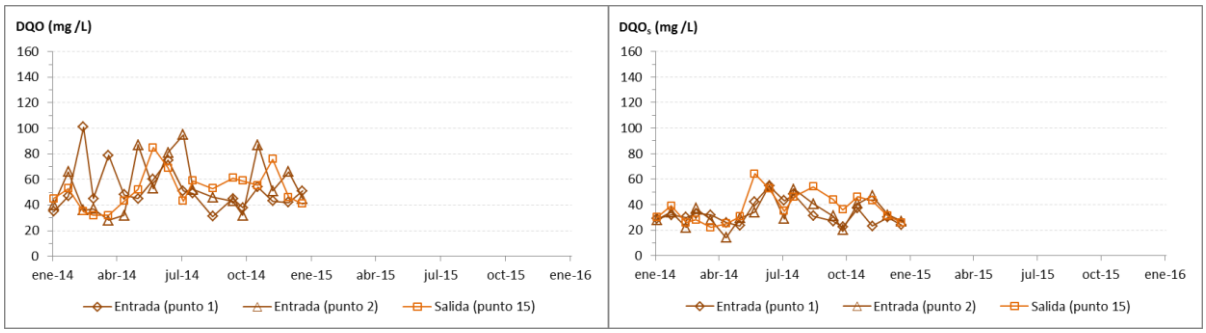


Figura 27. Evolución temporal de las concentraciones de DQO y DQO_5 en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P15) del HATP.

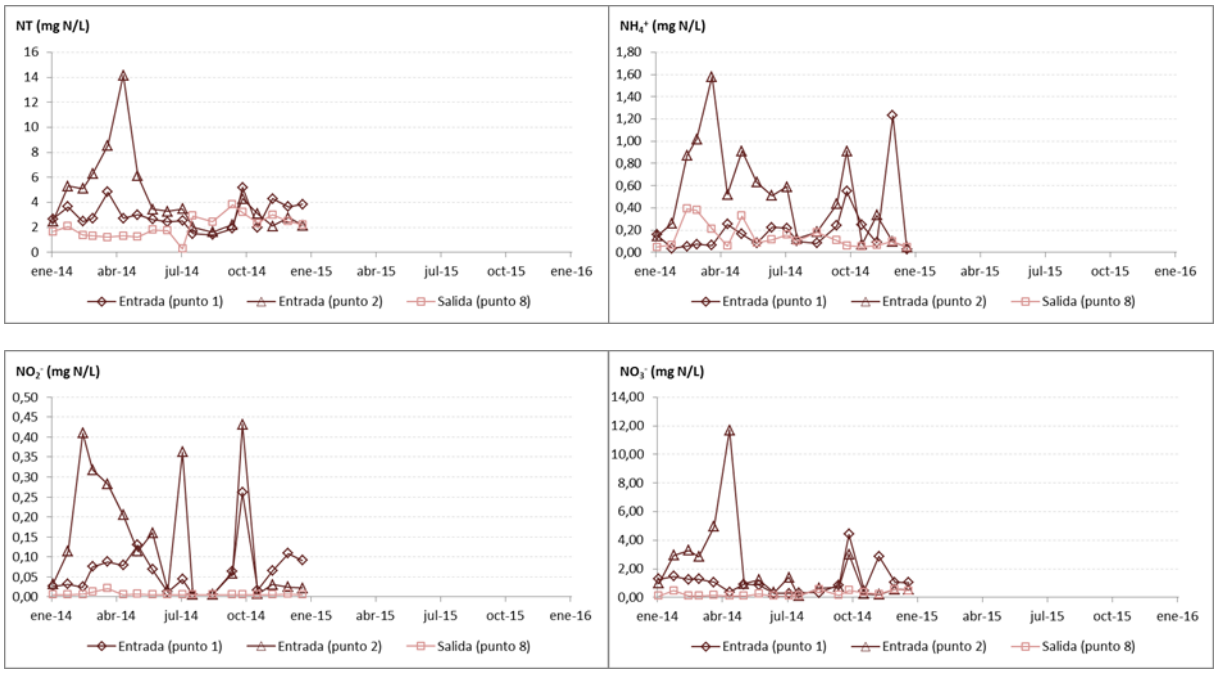


Figura 28. Evolución temporal de las concentraciones de NT, NH_4^+ (arriba), y NO_2^- y NO_3^- (abajo) en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P8) del HATP.

En el caso del NT, se observa cómo las concentraciones más altas en las entradas no se traducen con mayores concentraciones a las salidas. Este mismo comportamiento se aprecia en el caso del amonio, nitritos y nitratos. Es decir, el humedal artificial amortigua y elimina las concentraciones punta de entrada de NT y, fundamentalmente, de sus formas inorgánicas. Estas concentraciones punta pueden alcanzar valores de nitratos tan altos como 12 mg N-NO_3^-/L (53 mg NO_3^-/L). Son también llamativas las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal en la entrada desde la *Acequia del Puerto de Catarroja* (punto 2) que superan en varias ocasiones el valor de 0.78 mg N/L (1 mg de N-NH_4^+ /L).

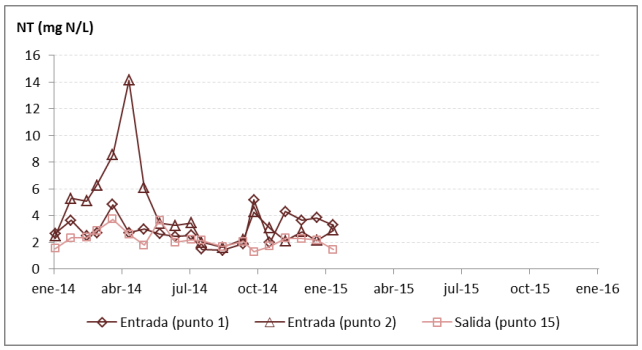


Figura 29. Evolución temporal de las concentraciones de NT en los puntos de entrada (P1, P2) y en el punto final (P15) del HATP.

En la Figura 29 se comparan las entradas con la salida final hacia el lago de l´Albufera (P15). Aunque en ocasiones, las salidas de las lagunas del sector *C* presentan concentraciones superiores a las entradas, en el punto de salida final la concentración de NT se mantiene por debajo durante todo el año.

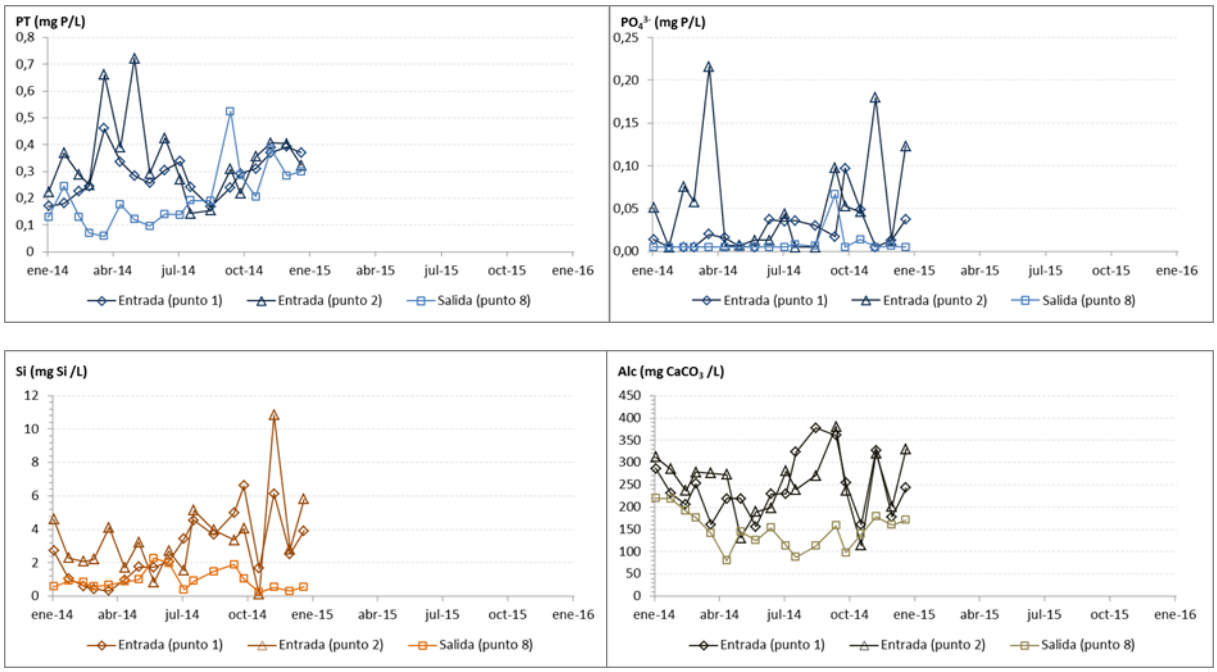


Figura 30. Evolución temporal de las concentraciones de PT, PO_4^{3-} (arriba), y sílice y alcalinidad (abajo) en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P8) del HATP.

Con respecto al PT, las concentraciones más elevadas a la entrada coinciden con los valores más bajos en P8, dando lugar a los mayores rendimientos de eliminación para esta variable (meses de marzo a junio). Sin embargo, desde el mes de septiembre, las concentraciones de entrada y salida son muy parecidas, con valores puntuales de salida mayores a los de entrada. La concentración de fosfatos tiene mayor relevancia en los meses de primavera y otoño y fundamentalmente en la entrada por el punto 2.

La variación anual de la alcalinidad está muy relacionada con los ciclos de los organismos fotosintetizadores: tiende a disminuir conforme se acerca la primavera, momento de uno de sus máximos anuales; aumenta en verano, cuando la actividad es más baja y vuelve a disminuir en otoño. Esta variabilidad tiende a atenuarse en el interior de los humedales artificiales, siendo la alcalinidad más baja y menos variable que en las entradas.

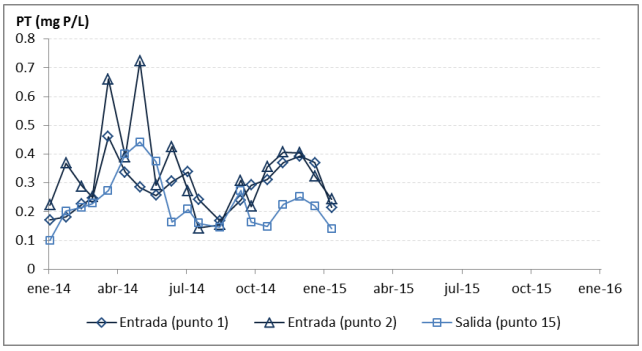


Figura 31. Evolución temporal de las concentraciones de PT en los puntos de entrada (P1, P2) y en el punto final (P15) del HATP.

En la Figura 31 se ve como los resultados de P15 difieren de los obtenidos en el P8, por la influencia del caudal procedente de la *laguna educativa*. En cualquier caso, la concentración de PT en el punto final está por debajo de alguna de las dos entradas.

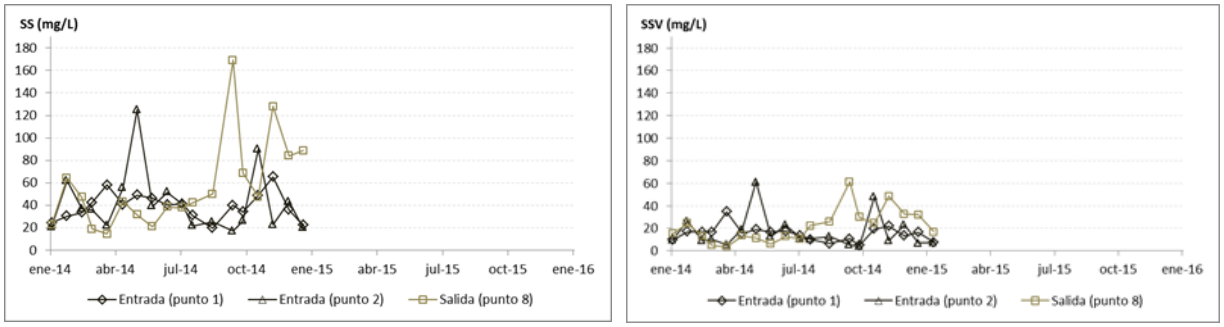


Figura 32. Evolución temporal de las concentraciones de SS y SSV en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P8) del HATP.

La concentración de SS es bastante estable a lo largo del período de estudio, con algunos picos durante los meses de mayo y octubre. En estos meses se registra una elevada densidad de aves en el *tancat* que incrementan la resuspensión de sedimentos, dando lugar a altas concentraciones de SS. Hasta el mes de julio, las concentraciones en el P8 son inferiores a las del agua de entrada y a partir de este momento se registran picos importantes en las concentraciones de P8.

La tendencia descrita para los SS se reproduce en el caso de la turbidez, con picos de entrada durante el mes de mayo, y turbideces elevadas en P8 a partir del mes de septiembre.

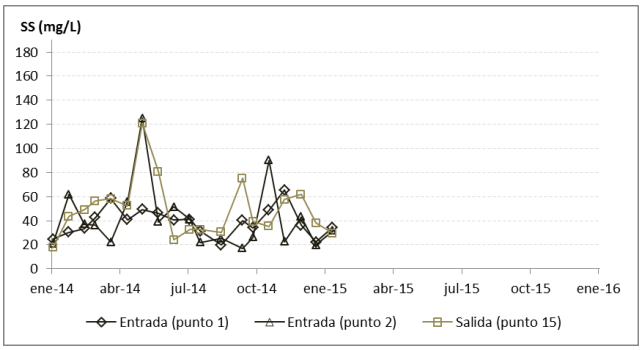


Figura 33. Evolución temporal de las concentraciones de SS en los puntos de entrada (P1, P2) y en el punto final (P15) del HATP.

En el punto final, las concentraciones de SS no son tan diferentes de las concentraciones de entrada, como sí que ocurre en P8, debido a la mejor calidad que presenta el agua procedente de la *laguna educativa*.

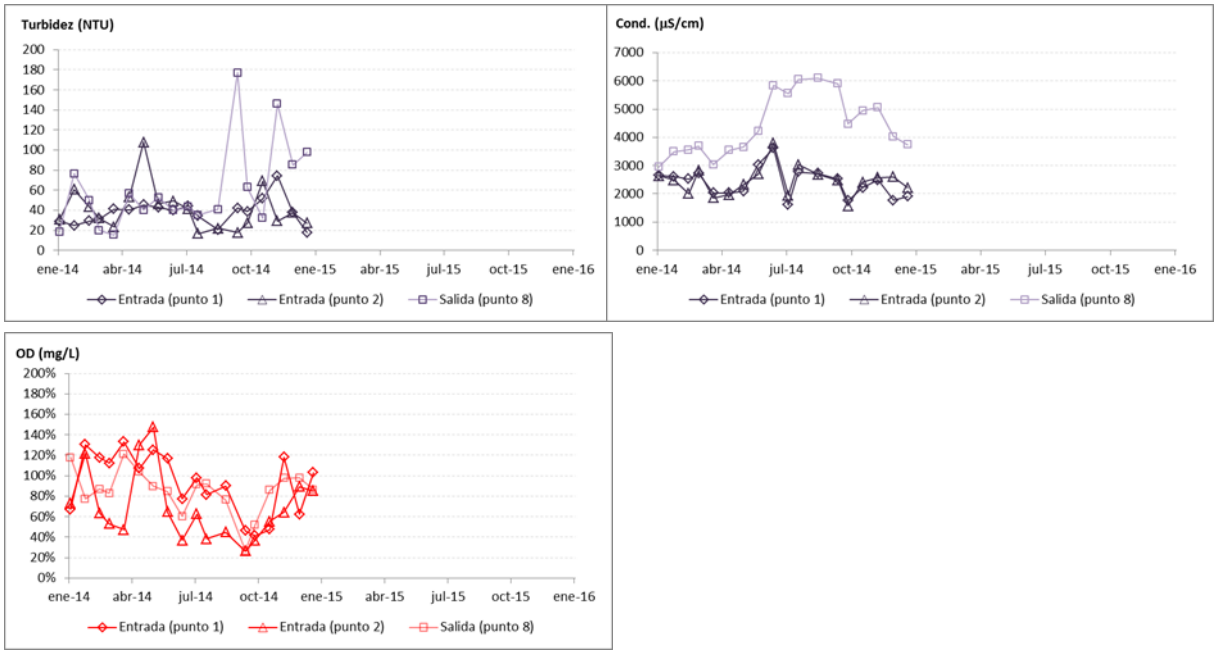


Figura 34. Evolución temporal de la turbidez y conductividad (arriba), y OD (abajo) en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P8) del HATP.

En la Figura 34 se observa muy bien el incremento de conductividad que se produce en los sectores *B* y *C* estudiados del *Tancat* de la Pipa. Este incremento es muy acusado en el sector *C*, Laguna de Reserva, debido al alto tiempo de residencia que se ha registrado en ella durante este año. Se observa también que las mayores diferencias entre las conductividades de entrada y salida se producen en verano y las menores en invierno, siguiendo las pautas de la evapotranspiración.

Las concentraciones de oxígeno disuelto en las entradas muestran una altísima variabilidad debido al estado hipertrófico en que se encuentran las aguas del lago de l'Albufera. Hay ocasiones en que no se llega al 20% de la concentración de saturación y otras en las que se llega

al 140%. Hay que recordar que las muestras se toman a las mismas horas en cada muestreo, pero la intensidad luminosa y de ahí la actividad fotosintética depende de la época del año para cada hora. En el interior del humedal la oscilación de oxígeno disuelto se atenúa un poco pero sigue habiendo valores por encima del 120% y del orden del 20% de la concentración de saturación.

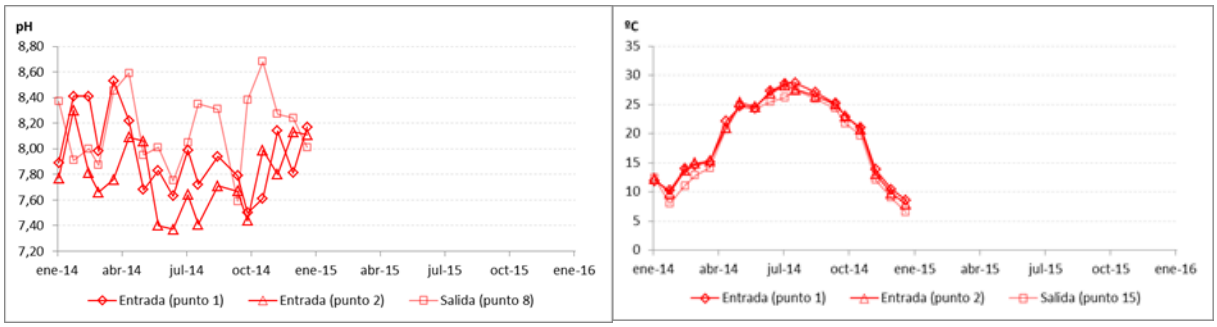


Figura 35. Evolución temporal del pH y temperatura en los puntos de entrada (P1, P2) y de salida (P8) del HATP.

El pH, como el oxígeno disuelto, presenta importantes oscilaciones, tanto en las entradas como en el punto 8. Estas oscilaciones están también ligadas a la actividad fotosintética y a la alcalinidad. Si se recuerda (Figura 23), la alcalinidad en el punto 8 era más baja que en las entradas, por lo que cabe esperar valores de pH más altos si la actividad fotosintética es significativa, como sucede.

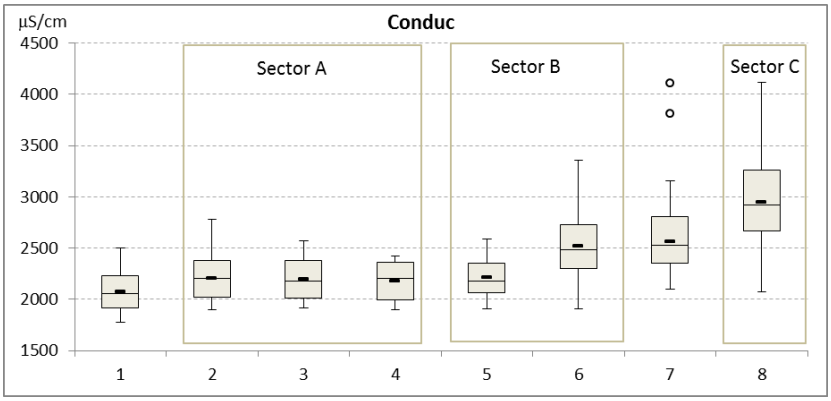
La curva de temperaturas muestra muy bien la oscilación térmica del agua a lo largo del año, desde 6 hasta 30ºC aproximadamente.

3.1.2 Resultados en el HATM

Para facilitar la interpretación de los resultados, se recuerda la ubicación de cada punto:

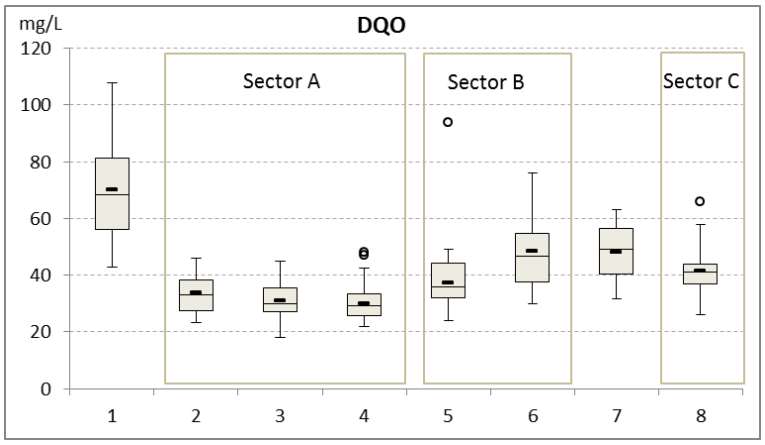
- Puntos 1. Entrada desde el lago de l´Albufera.
- Puntos 2, 3 ,4. Salidas oeste, centro y este del *sector A*, respectivamente.
- Puntos 5,6. Punto intermedio y final del *sector BE*.
- Puntos 7 y 8. Entrada y salida del *sector C*. El punto 7 es mezcla del punto 6 más el agua que llega de los *sectores BC* y *BO*, que no están monitorizados.

A lo largo del tratamiento en el humedal artificial del *Tancat de Milia*, el promedio de la conductividad del agua se incrementa un 42%, pasando de 2069 a 2944 µS/cm. Los mayores incrementos se producen en los sectores de flujo superficial *B* y *C*. En el *sector A*, subsuperficial, la conductividad apenas se incrementa un 6%, lo que pone de manifiesto la ventaja que supone el flujo subsuperficial frente a la salinización de las aguas.



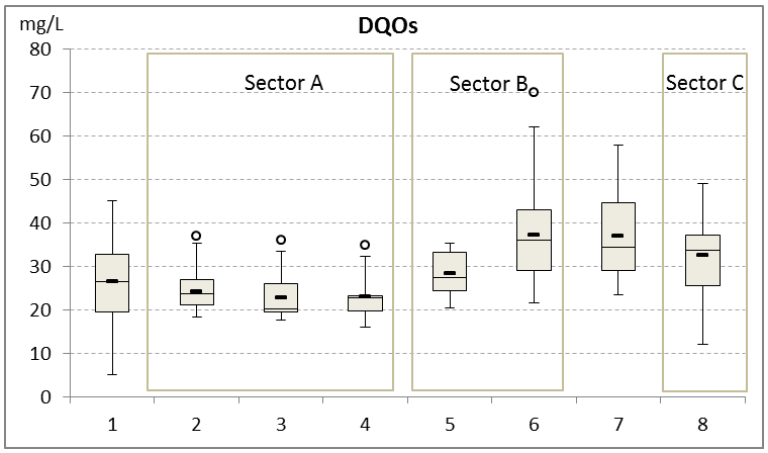
Punto	Promedio (µS/cm)
1	2069
2	2203
3	2194
4	2174
5	2210
6	2522
7	2720
8	2944

Figura 36. Variación espacial de la conductividad a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg/L)
1	70.1
2	33.7
3	31.0
4	31.9
5	40.4
6	48.4
7	48.2
8	42.7

Figura 37. Variación espacial de la concentración de DQO a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



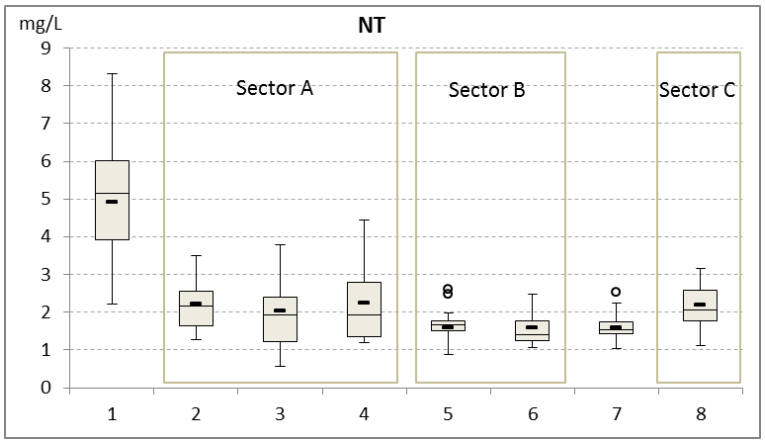
Punto	Promedio (mg/L)
1	26.4
2	24.9
3	23.5
4	23.6
5	28.4
6	39.0
7	37.0
8	32.6

Figura 38. Variación espacial de la concentración de DQO_S a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.

La materia orgánica que entra desde l'Albufera al *Tancat* de la *Milia* experimenta una espectacular reducción de su concentración en el sector subsuperficial. Esta reducción es superior al 50% y se focaliza en la materia orgánica particulada puesto que, como se puede ver, la reducción de la materia orgánica soluble es mucho más pequeña. En los sectores de flujo superficial tiende a aumentar, hecho asociado a los aportes de restos vegetales y otros seres vivos, como también ocurría en el *Tancat de la Pipa*. De hecho, este aumento es de materia orgánica soluble, producto de la hidrólisis de la materia orgánica particulada. La laguna final, *sector C*, tiene un efecto de reducción sobre la materia orgánica, en este caso soluble también, que le entra.

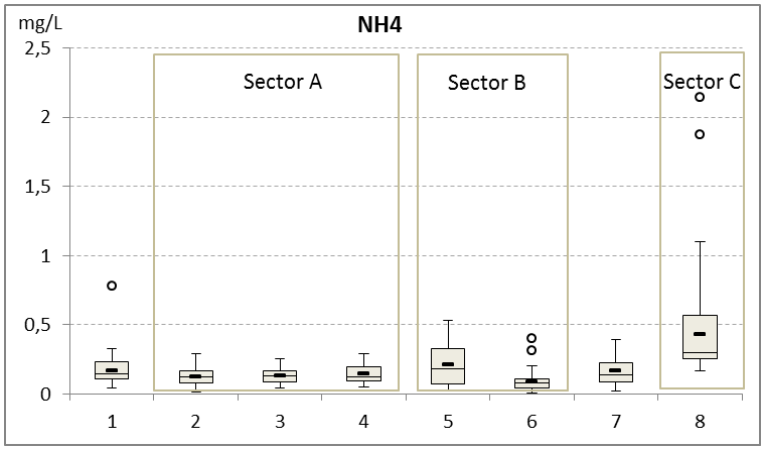
El balance global es que la materia orgánica que proviene de l'Albufera reduce su concentración en casi un 40% pero en realidad es bastante más ya que hay que contar con el efecto de concentración por evaporación.

En otro orden de cosas hay que comentar que la concentración de materia orgánica total de las aguas que entran en el *Tancat de Milia* es bastante mayor que la que se registra en el *Tancat de la Pipa* y, como se verá a continuación, en el *Tancat* de L'*Illa*.



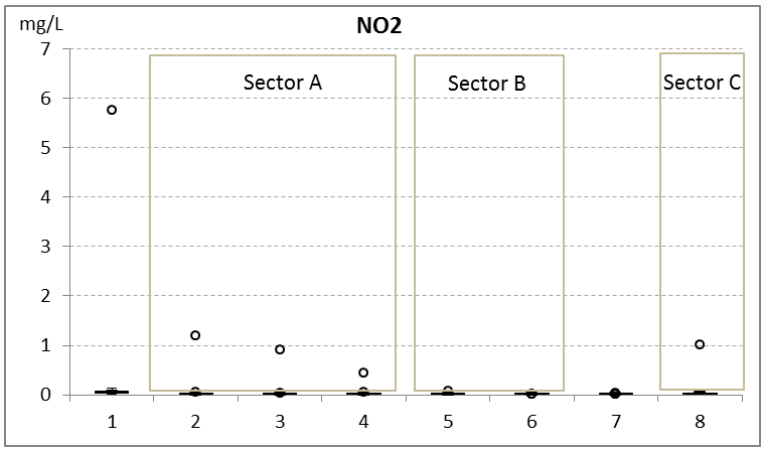
Punto	Promedio (mg N/L)
1	5.1
2	2.2
3	2.0
4	2.2
5	1.7
6	1.6
7	1.6
8	2.2

Figura 39. Variación espacial de la concentración de NT a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



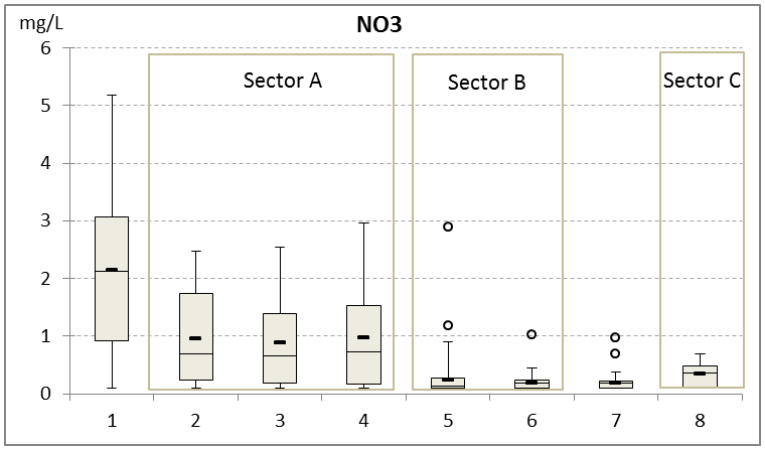
Punto	Promedio (mg N/L)
1	0.200
2	0.125
3	0.130
4	0.142
5	0.210
6	0.115
7	0.170
8	0.603

Figura 40. Variación espacial de la concentración de NH_4^+ a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg N/L)
1	0.375
2	0.081
3	0.062
4	0.038
5	0.016
6	0.008
7	0.010
8	0.078

Figura 41. Variación espacial de la concentración de NO_2^- a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



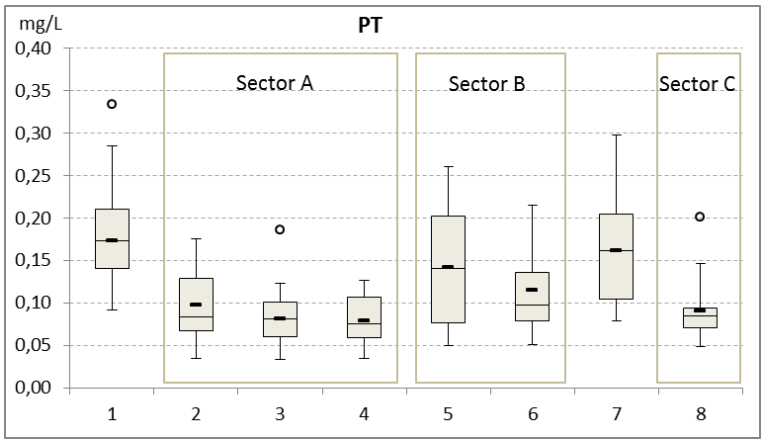
Punto	Promedio (mg N/L)
1	2.14
2	0.96
3	0.88
4	0.98
5	0.44
6	0.24
7	0.26
8	0.34

Figura 42. Variación espacial de la concentración de NO_3^- a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.

La reducción de nitrógeno total en el *sector A* es tan exitosa como lo ha sido para la materia orgánica. Aproximadamente la concentración de nitrógeno total se reduce en un 58% en este sector subsuperficial pero también se sigue reduciendo en los sectores superficiales, como también sucede en el *Tancat de la Pipa*. Únicamente aumenta en el *sector C* y debido fundamentalmente al incremento de nitrógeno amoniacal, cuya presencia está relacionada con la abundante presencia de aves. Con respecto a esta variable, hay que indicar que la concentración de salida es excesivamente alta y uno de los objetivos del próximo periodo de muestreo será buscar los mecanismos que nos permitan reducirla.

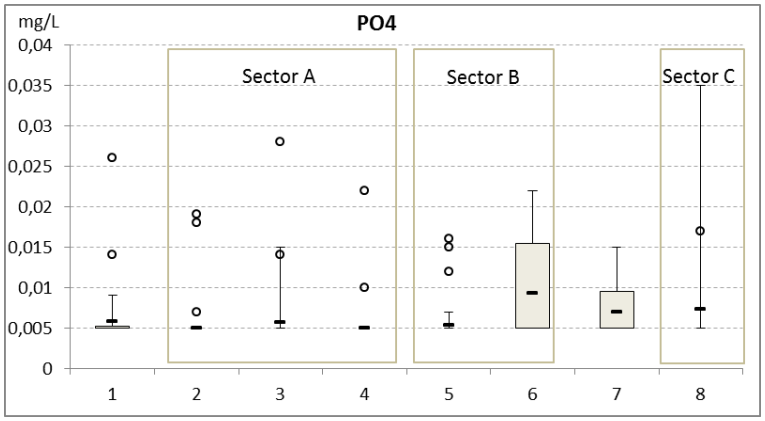
Por su parte, la eliminación de nitritos y nitratos es prácticamente completa.

En cualquier caso, la reducción global en el *Tancat de Milia* de la concentración de nitrógeno total es del 57%; un excelente resultado.



Punto	Promedio (mg P/L)
1	0.182
2	0.098
3	0.086
4	0.079
5	0.141
6	0.115
7	0.162
8	0.096

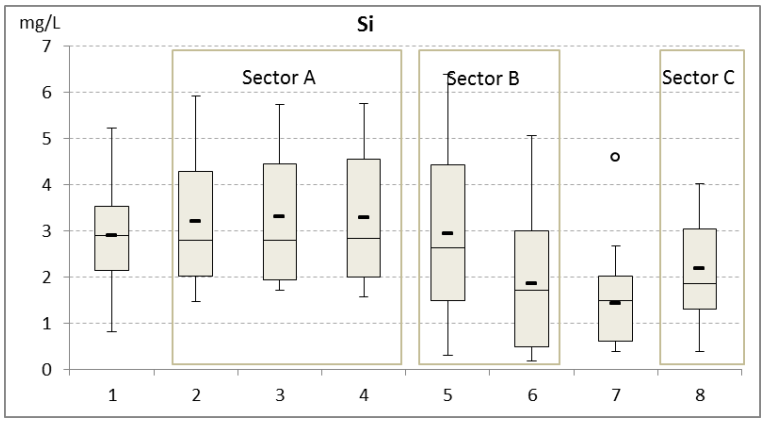
Figura 43. Variación espacial de la concentración de PT a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg P/L)
1	0.007
2	0.007
3	0.007
4	0.006
5	0.007
6	0.009
7	0.007
8	0.007

Figura 44. Variación espacial de la concentración de PO_4^{3-} a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.

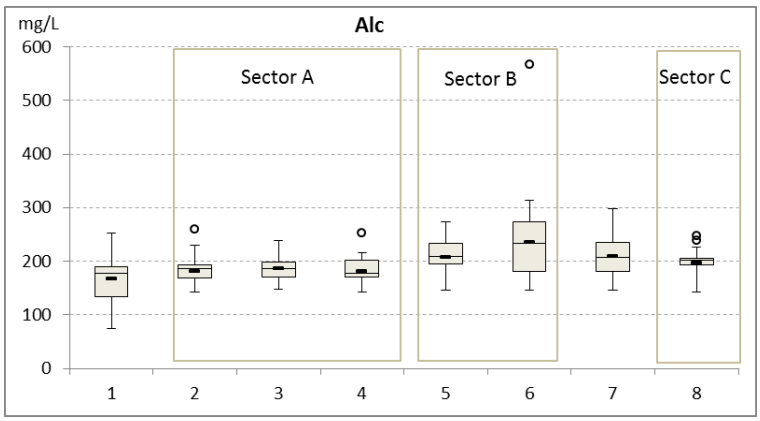
Las concentraciones de fósforo total a la salida del *sector A* siguen la misma pauta de reducción, siendo del orden del 52%. Los valores a la salida de este sector subsuperficial están por debajo de 0.1 mg P/L, que es el objetivo que se estableció para las aguas que alimentaran l'Albufera. El tránsito del agua por el primero de los sectores superficial hace aumentar la concentración de fósforo debido a la escasa vegetación existente y la presencia de aves que resuspenden el sedimento. El segundo subsector superficial sí que actúa eficazmente y vuelve a reducir el fósforo total. La acción de la laguna también es muy positiva y finalmente, el agua que se devuelve a l'Albufera tiene una concentración media por debajo de 0.1 mg P/L.



Punto	Promedio (mg Si/L)
1	2.90
2	3.20
3	3.30
4	3.28
5	2.94
6	1.85
7	1.60
8	2.18

Figura 45. Variación espacial de la concentración de Si a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.

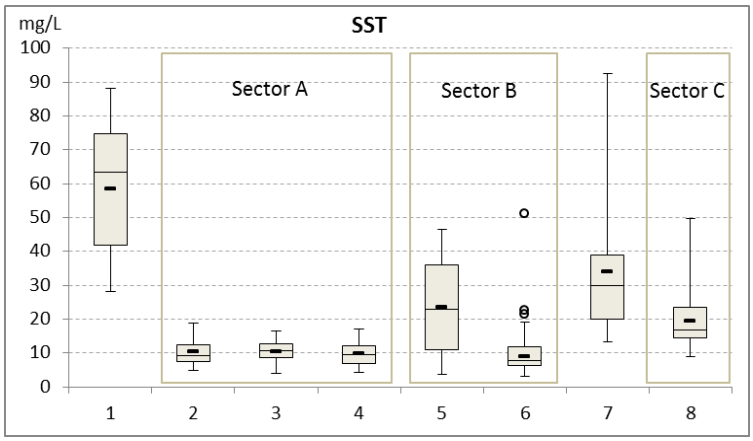
En el sector *A* se produce un ligero incremento de la concentración de sílice, posiblemente asociado al lavado del material de relleno del humedal subsuperficial. En el sector *B* la concentración disminuye y se incrementa ligeramente en el sector *C*, siendo en promedio inferior a los valores de entrada.



Punto	Promedio (mg $CaCO_3$/L)
1	166
2	186
3	185
4	186
5	208
6	254
7	209
8	202

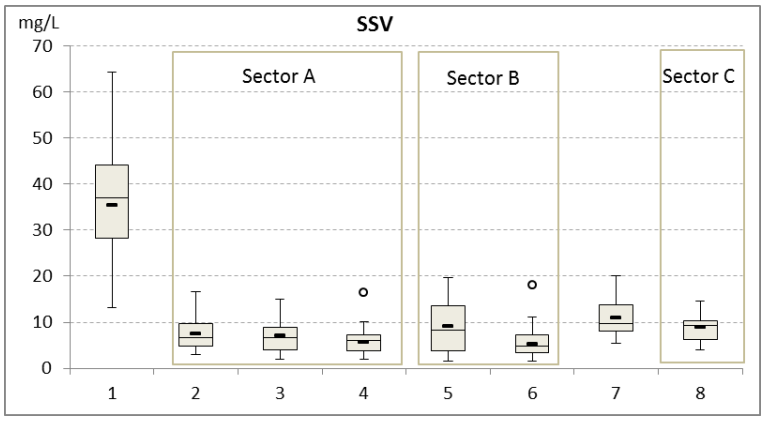
Figura 46. Variación espacial de la alcalinidad a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.

La alcalinidad aumenta en el *Tancat de Milia* en todos los sectores, debido a la reducción de la actividad fotosintética que se produce en el sector *A*.



Punto	Promedio (mg/L)
1	58.39
2	10.30
3	10.31
4	9.79
5	23.49
6	12.66
7	33.90
8	19.42

Figura 47. Variación espacial de la concentración de SS a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.



Punto	Promedio (mg/L)
1	35.35
2	7.47
3	7.03
4	6.27
5	9.06
6	5.99
7	11.55
8	8.99

Figura 48. Variación espacial de la concentración de SSV a lo largo del HATM y valores medios de cada punto de muestreo.

La reducción de sólidos suspendidos totales es la mayor de todas las variables. En términos globales en todo el *Tancat* la concentración se reduce en un 67%, mientras que en el *sector A* esta reducción es del 83%. Este magnífico resultado en el sector *A* hace que aunque en los *sectores B* y *C* los SS aumenten, no lo hagan de manera negativa

Las gráficas temporales permiten visualizar la evolución de las variables de calidad de aguas a lo largo del año 2014.

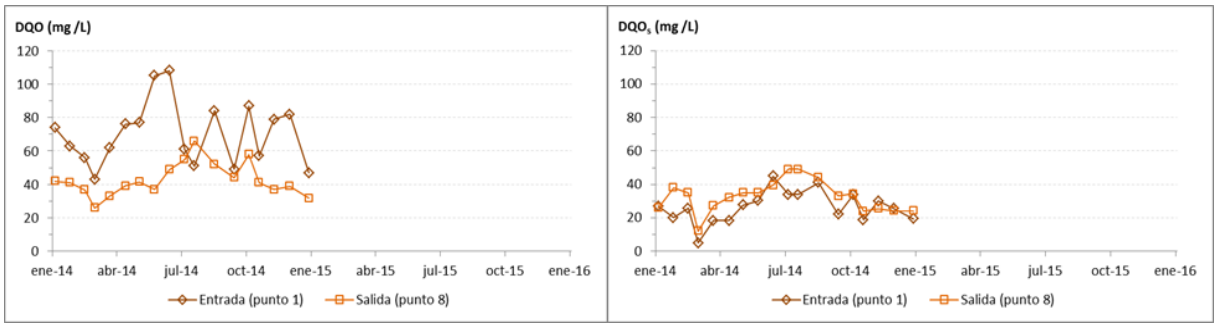


Figura 49. Evolución temporal de las concentraciones de DQO y DQO_S en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

La concentración de materia orgánica en el punto de l'Albufera de donde se capta el agua para alimentar al humedal artificial no presenta un patrón claro de variación a lo largo del año. Se observan picos muy elevados (DQO > 100 mg/L) a finales de primavera y oscilaciones importantes el resto del año entre 40 y 80 mg/L. Prácticamente durante todo el año se produce eliminación neta de materia orgánica, siendo menor en verano. Con respecto a la DQO soluble se observa que fue superior a la salida del *Tancat de Milia* en los primeros nueve meses debido a la desaparición y degradación de gran parte de la enea que existía en los *sectores BE*.

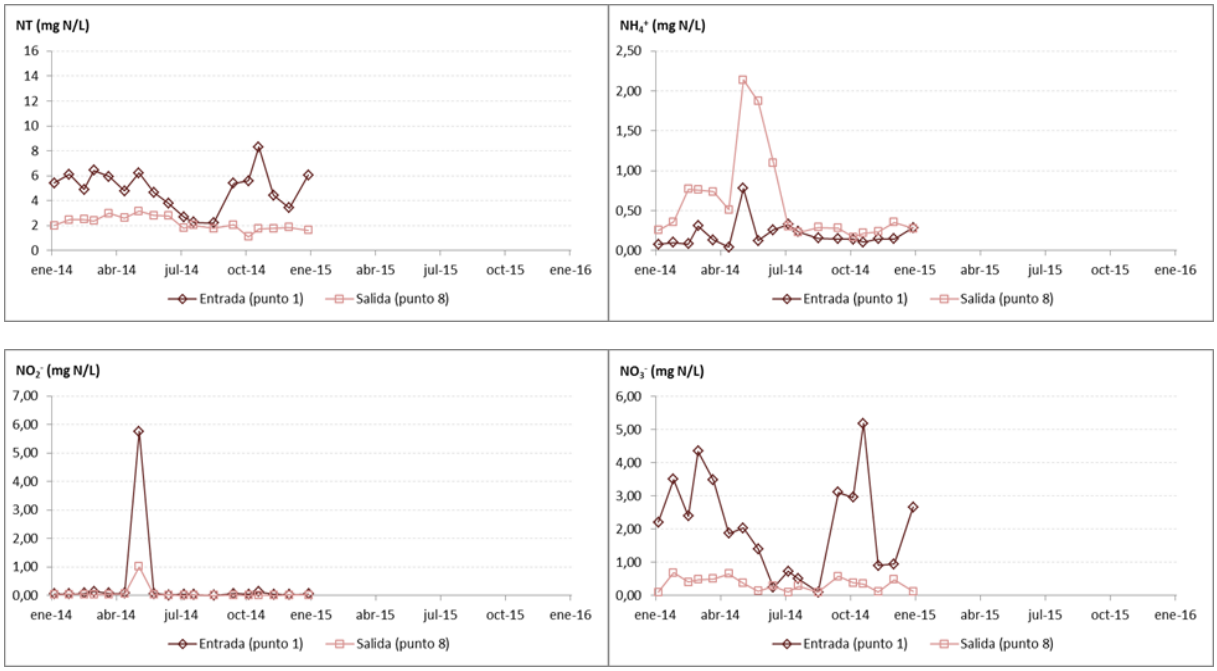


Figura 50. Evolución temporal de las concentraciones de NT y NH_4^+ (arriba), y NO_2^- y NO_3^- (abajo) en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

La concentración de NT a la salida del *Tancat de Milia* se mantiene muy estable durante todo el año, en el entorno de 2 mg N/L. El hecho de que cuando la concentración de entrada se aproxima a ese valor prácticamente no se produce reducción alguna, hace pensar que esa concentración sea un "valor base", resultado de los procesos biogeoquímicos y la interacción con seres vivos superiores en un ambiente natural, y por ello difícil de reducir. Es notable el efecto que tiene el humedal artificial para laminar las puntas de concentración de entrada, tanto de nitritos y nitra-

tos. Los mayores valores de nitratos en la entrada se dan en invierno, hecho probablemente asociado al vaciado de los campos de arroz tras la *Perellonà* y en otoño, siendo los valores mínimos en verano. El nitrógeno amoniacal presenta un máximo en mayo-junio.

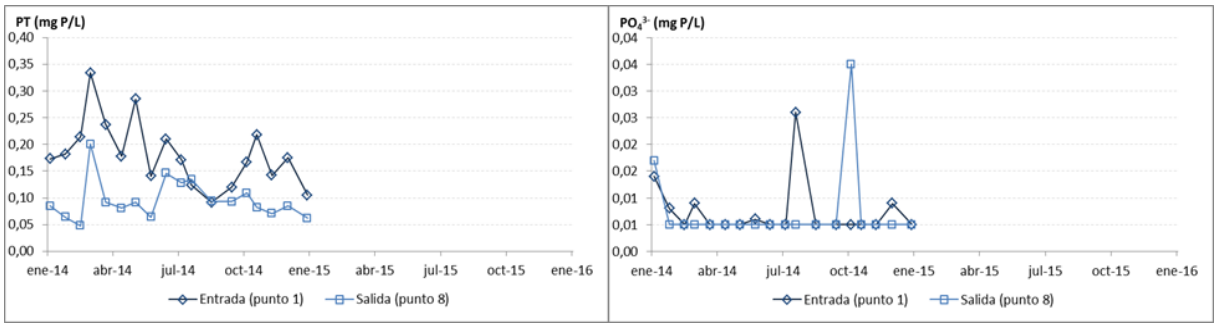


Figura 51. Evolución temporal de las concentraciones de PT y PO_4^{3-} (arriba) en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

La concentración de PT en la entrada no presenta un patrón estacional claro, observándose fluctuaciones importantes a lo largo del año. Esas fluctuaciones se traducen, bastante minoradas, en la concentración de salida. A escala anual se observa una tendencia a la disminución de la concentración de entrada conforme avanza el año, pero aún no hay suficiente información como para confirmar esa tendencia. La concentración de salida presenta, a lo largo del año, bastantes valores por debajo de 0.1 mg P/L.

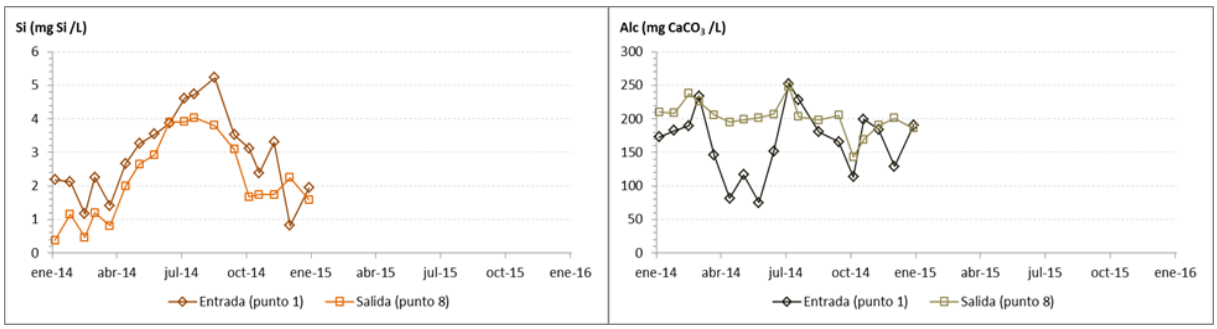


Figura 52. Evolución temporal de las concentraciones de sílice y alcalinidad en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

La concentración de sílice en la entrada presenta un claro patrón anual en 2014 aunque habrá que observar si se repite en 2015. Durante el invierno se mantiene bastante constante pero en primavera aumenta alcanzando el máximo a finales del verano, para decrecer en otoño. La concentración a la salida del *Tancat* sigue el mismo patrón con valores ligeramente inferiores.

Una propiedad muy intersante que presenta el humedal artificial es que mantiene de manera bastante constante los valores de alcalinidad de las aguas en su interior. Se puede observar que el agua de entrada presenta alcalinidades muy bajas desde mediados de primavera hasta principios del verano, coincidiendo con el crecimiento fitoplanctónico que se da en esos

momentos. Estas bajas alcalinidades de entrada aumentan a valores más normales para este tipo de aguas en el interior del humedal.

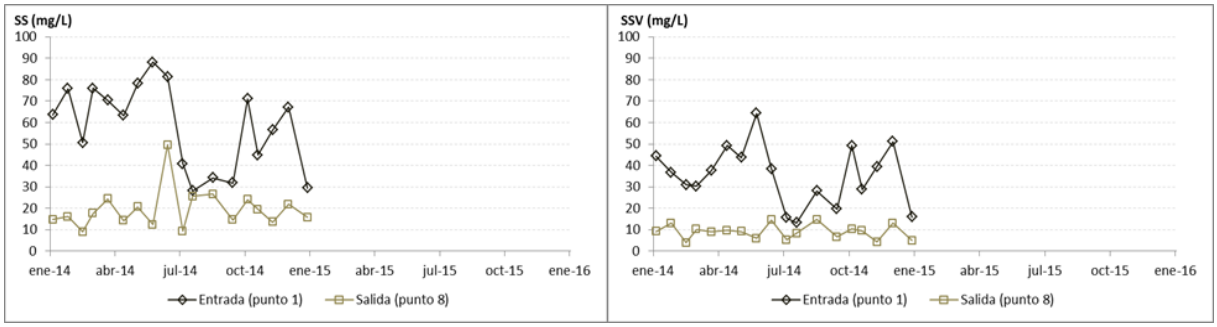


Figura 53. Evolución temporal de las concentraciones de SS y SSV en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

La concentración de SS y SSV en la entrada tampoco sigue un patrón claro, aunque se aprecia una disminución significativa durante los meses de verano. Posiblemente esta disminución esté asociada a una posible disminución del fitoplancton que es un componente fundamental de los SS en el agua de L'Albufera. Se puede observar que la reducción de la concentración es bastante constante en el tiempo aunque es menor si la concentración de entrada es más baja.

El porcentaje de SSV respecto a los SS totales es del 61% en la entrada y 50% en la salida, lo cual muestra que, proporcionalmente, se eliminan más SSV que no volátiles.

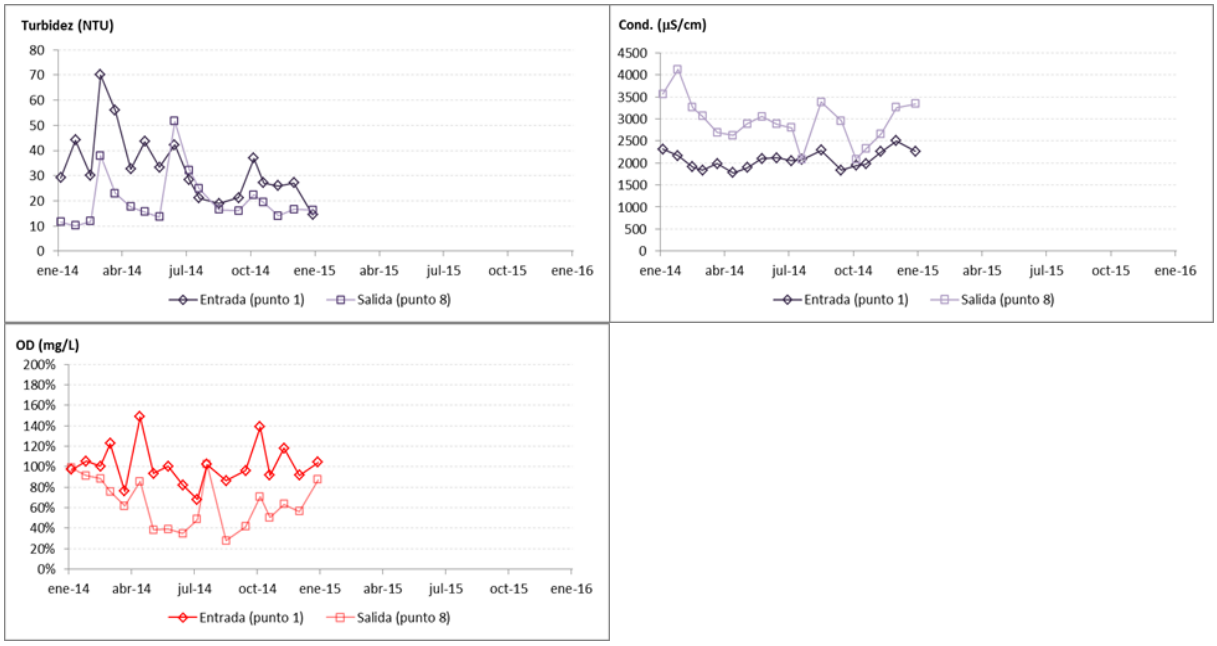


Figura 54. Evolución temporal de la turbidez y conductividad (arriba), y OD (abajo) en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

Como ya se comentó en apartados anteriores, en el humedal artificial se produce un aumento de las sales disueltas por la evapotranspiración cuya magnitud, como se puede observar depende de la época del año. En otoño, el incremento de conductividad es menor debido a que éste se ve compensado por mayores precipitaciones.

Otra consecuencia de la operación del humedal se observa en las concentraciones de oxígeno disuelto. El hecho de que muchas concentraciones de entrada tengan concentraciones de saturación superiores al 100% responde a una elevada producción fotosintética de oxígeno por parte de las microalgas. El humedal artificial, al contribuir a la reducción del fitoplancton también reduce el oxígeno producido y el balance final de oxígeno hace que su concentración disminuya sensiblemente, lo cual no es extraño en las zonas húmedas.

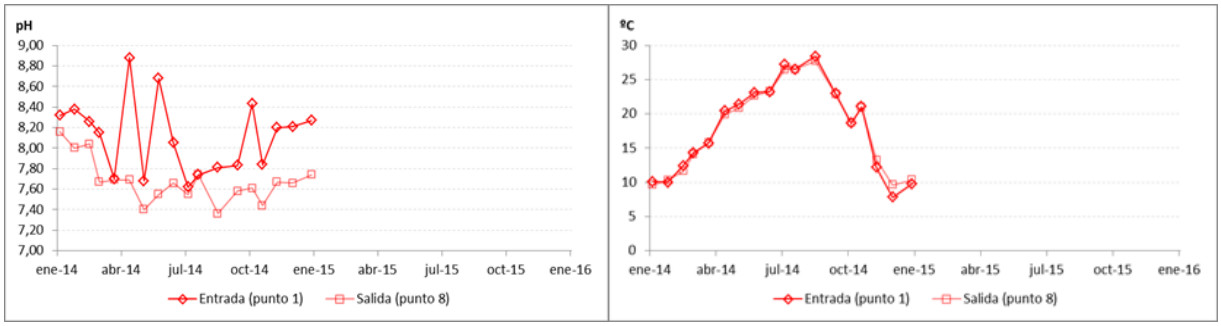


Figura 55. Evolución temporal del pH y temperatura en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATM.

Otro efecto beneficioso del humedal artificial es la "estabilización" del pH, altamente variable en la entrada al *Tancat* y mucho más estable a la salida. Reducir las alteraciones de pH reduce el estrés al que estás sometidos los organismos acuáticos facilitando su supervivencia y desarrollo.

Por último, se comprueba que el humedal no altera significativamente la temperatura de las aguas de l'Albufera, variando entre 8 y 28ºC.

3.1.3 Resultados en el HATLI

Con el objetivo de facilitar la interpretación de las gráficas, se recuerda la ubicación y descripción de cada uno de los puntos de muestreo:

- Punto 1. Entrada al *Tancat.*
- Puntos 2,4,6. Forman la línea de monitorización del *sector B4*, siendo P2 y P4 los puntos intermedios y P6 el punto de salida del *sector B4* y una de las tres entradas al *sector C*.
- Puntos 3,5,7. Forman la línea de monitorización del *sector B3*. Los puntos P3 y P5 son los puntos intermedios y el punto P7 es la salida del *sector B3* y una de las tres entradas al *sector C*.

- Punto 8. Salida del *sector C*. Puesto que la salida del agua desde el *sector C* se realiza por gravedad y existen varias compuertas de salida colocadas a distintas alturas, el punto de toma de esta muestra ha sido aquel por el que se ha observado más caudal de circulación.

La monitorización del *Tancat de l´Illa* se ha ocupado del seguimiento de dos líneas de tratamiento: línea *B3* y línea *B4*. Puesto que estas líneas presentan funcionamiento hidráulico distintos (ver informe Acción B1), se va realizar un análisis diferenciado de cada una de ellas.

A lo largo del tratamiento en el humedal artificial del *Tancat de l´Illa* se produce una reducción en la conductividad del 10%, disminuyendo los valores medios de 3327 µS/cm en el agua de entrada a 2994 µS/cm en el agua de salida del *sector C*. Esta reducción de la salinidad del agua tratada debe analizarse contextualizando el funcionamiento del *Tancat de l´Illa*. Durante los meses de septiembre, octubre y principios de noviembre la conductividad del agua de l´Estany de la Plana (punto de toma del agua a tratar) presentó valores extraordinariamente altos (superiores a 15000 µS/cm). Durante este periodo, y mientras se observaron valores excesivamente altos en el agua a tratar, se cesaron los bombeos de entrada para evitar la salinización de las aguas del humedal artificial. Por este motivo se explica que la conductividad en el agua de entrada (P1) sea superior a la que presenta el agua de salida (P8).

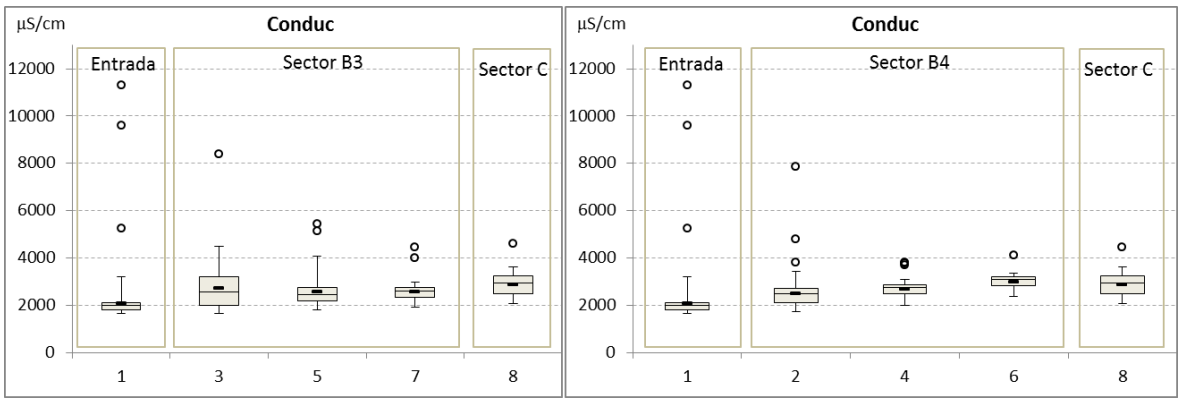


Figura 56. Variación espacial de la conductividad a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

El análisis de la evolución de la materia orgánica a lo largo del *Tancat de l´Illa* muestra como su concentración no se reduce en su recorrido. Más bien al contrario, se observa un incremento en la concentración de DQO, tanto total como soluble. La elevada cobertura vegetal presente en los *sectores B3* y *B4* y el hecho de que sea una vegetación "antigua", ha supuesto un gran aporte de biomasa vegetal en descomposición. Por lo tanto, esta biomasa vegetal aumenta la DQO particulada en el *sector B*, y tras la hidrólisis, también la DQO soluble.

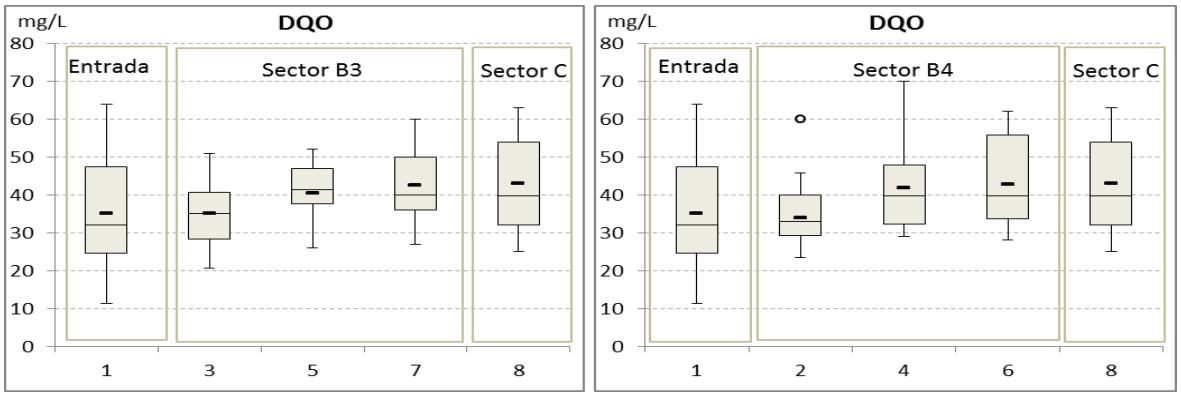


Figura 57. Variación espacial de la concentración de DQO a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

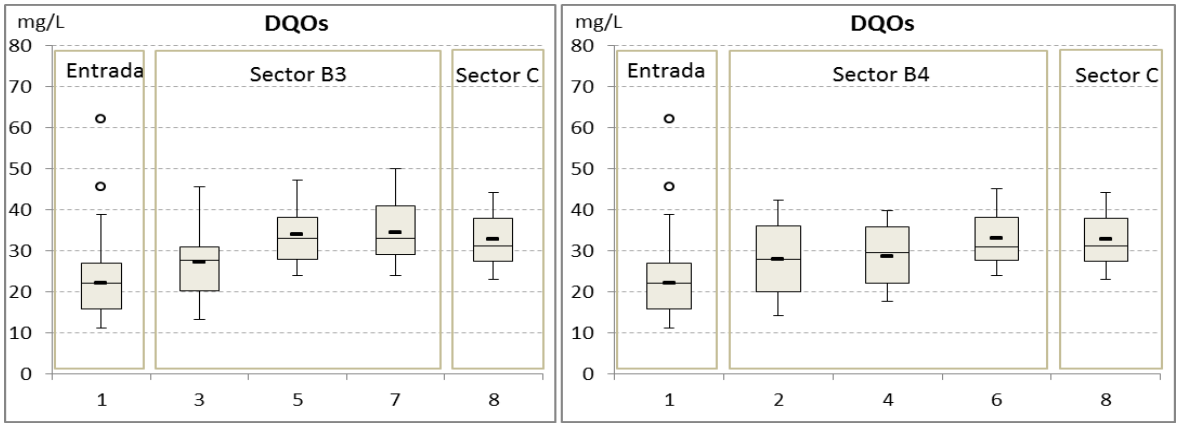


Figura 58. Variación espacial de la concentración de DQO_5 a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

Tabla 10. Valores medios de conductividad, DQO y DQO_5 en los puntos de muestreo en el HATLI.

Punto	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/L)	DQO_5 (mg/L)
1	3327	35.2	26.1
2	3061	35.5	28.4
3	3057	35.0	27.6
4	2867	41.9	28.3
5	2909	40.5	34.3
6	3051	42.8	33.2
7	2752	42.6	34.8
8	2994	42.9	33.0

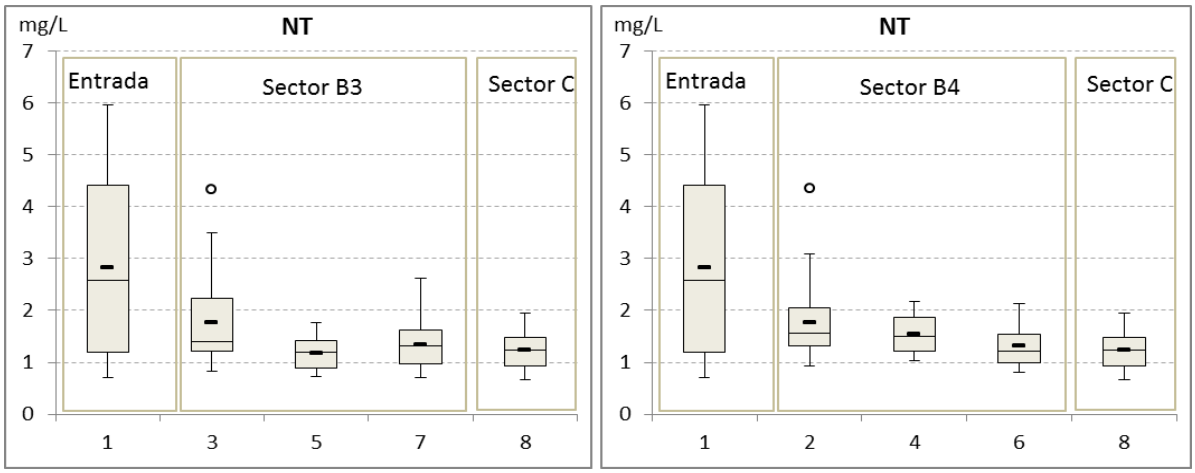


Figura 59. Variación espacial de la concentración de NT a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

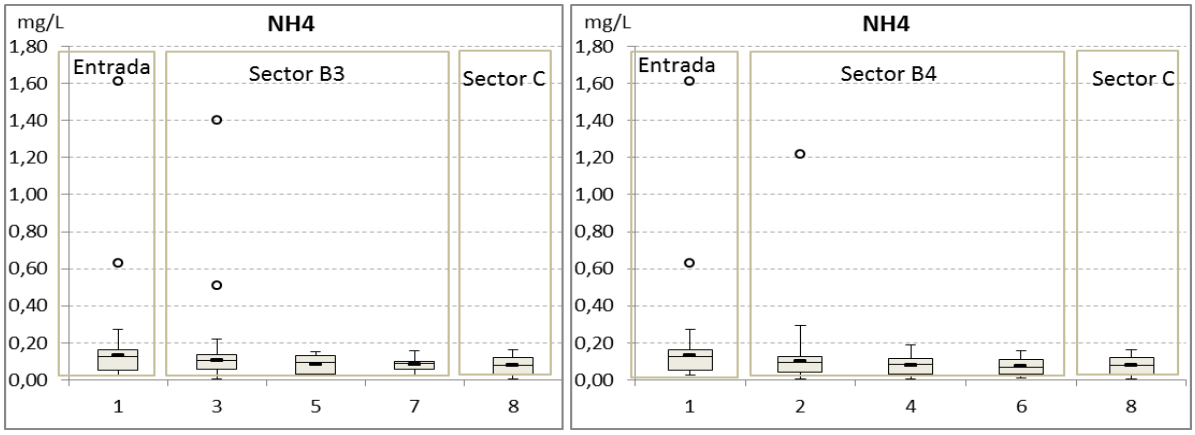


Figura 60. Variación espacial de la concentración de NH_4^+ a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

La concentración media del nitrógeno total se reduce en más de un 50% en el *Tancat de l´Illa*, pasando de concentraciones medias de 2.8 mg N/L a 1.2 mg N/L. La mayor parte de esta eliminación se produce en el *sector B*, y no se observan diferencias importantes entre la línea *B3* (P3,5,7) y la línea *B4* (P2,4,6). Las concentraciones de amonio y nitritos disminuyen progresivamente en el *sector B* y apenas varían en el *sector C*. Sin embargo, la concentración de nitratos disminuye en el *sector B* y también en el *C*.

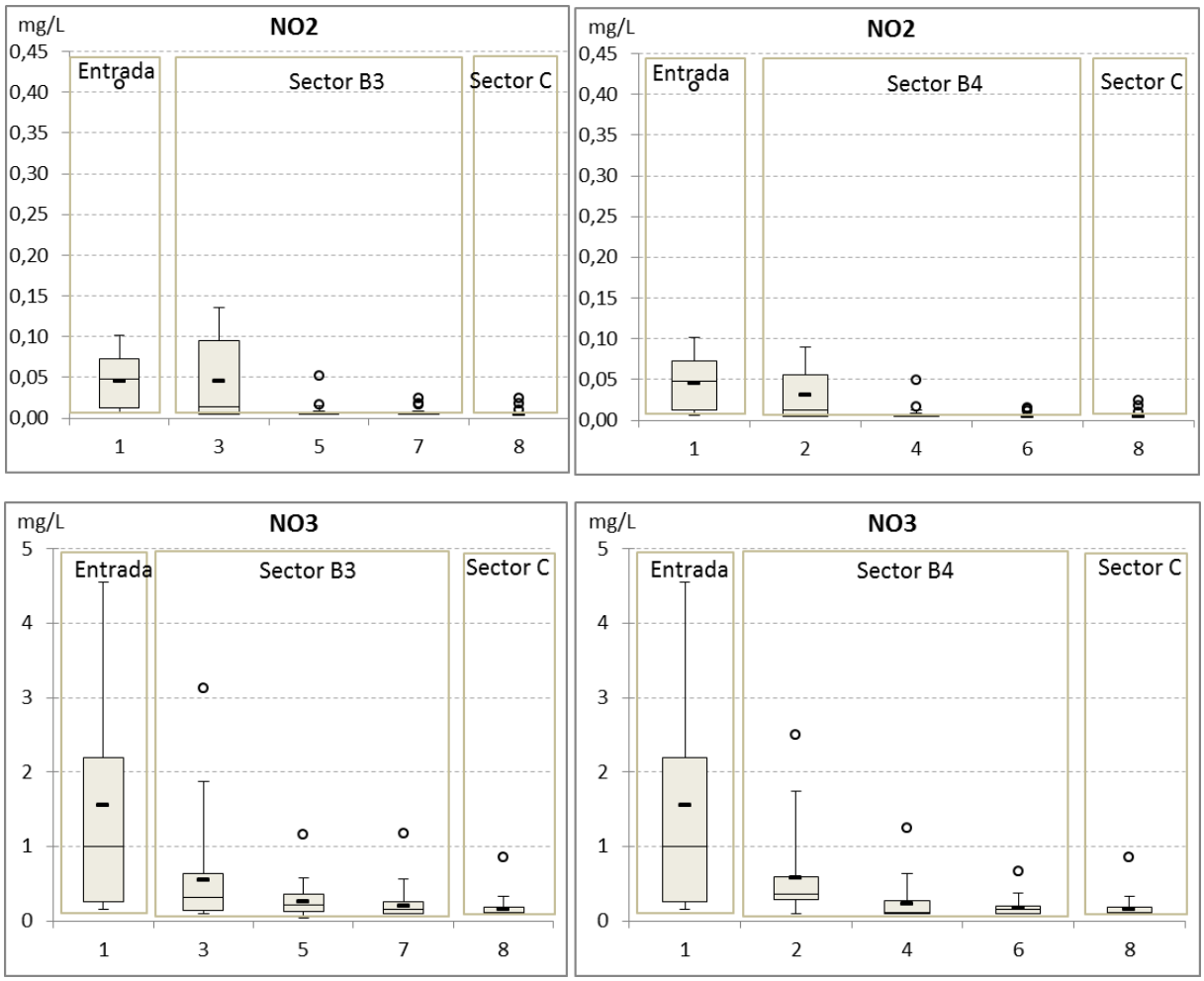


Figura 61. Variación espacial de la concentración de NO_2^- (arriba) y NO_3^- (abajo) a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

Tabla 11. Valores medios de concentración de NT, NH_4^+, NO_2^- y NO_3^- en los puntos de muestreo en el HATLI.

Punto	NT	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
	(mg N/L)	(mg N/L)	(mg N/L)	(mg N/L)
1	2.8	0.259	0.070	1.63
2	1.9	0.174	0.032	0.73
3	1.9	0.214	0.047	0.74
4	1.6	0.084	0.010	0.30
5	1.2	0.088	0.010	0.33
6	1.3	0.075	0.007	0.20
7	1.3	0.088	0.008	0.27
8	1.2	0.085	0.008	0.19

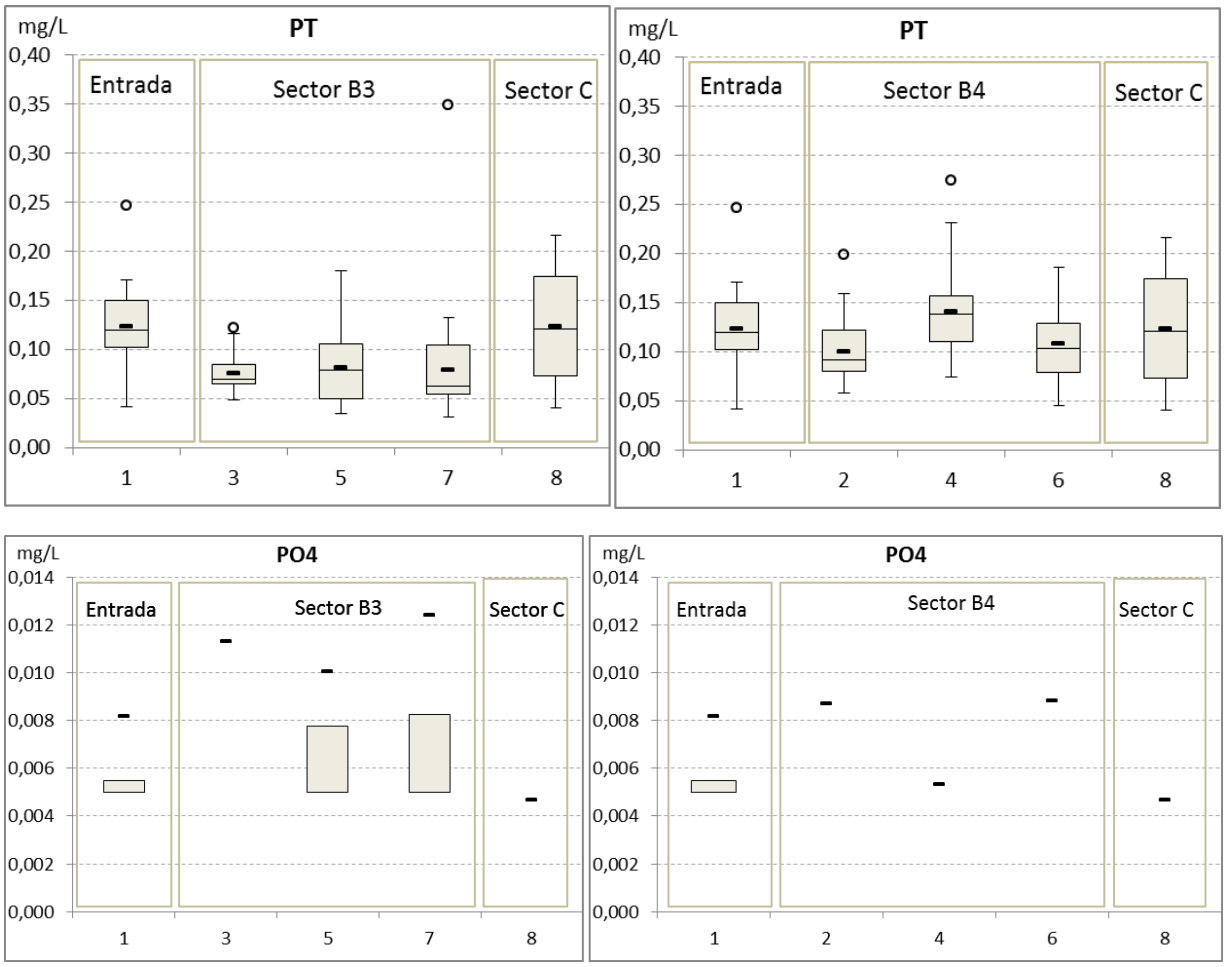


Figura 62. Variación espacial de la concentración de PT (arriba) y PO_4^{3-} (abajo) a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

Las concentraciones de fósforo total se reducen de 0.131 mg P/L a la entrada del humedal, hasta 0.123 mg P/L a la salida del *sector C*. Tanto al final de la línea *B3* (P7) como *B4* (P6) se alcanzan concentraciones de PT inferiores a las que luego se obtienen en la salida del *sector C* (P8). Este hecho puede asociarse a la resuspensión ejercida por los peces que hay en la laguna. Los fosfatos representan un porcentaje pequeño dentro del PT (5-10%) y no acusan variaciones significativas a lo largo del tratamiento en el humedal artificial.

La concentración de PT de entrada a HATLI es la menor de los tres casos estudiados, y este hecho no impide que los humedales ejerzan su función de reducir la concentración de nutrientes en el agua tratada.

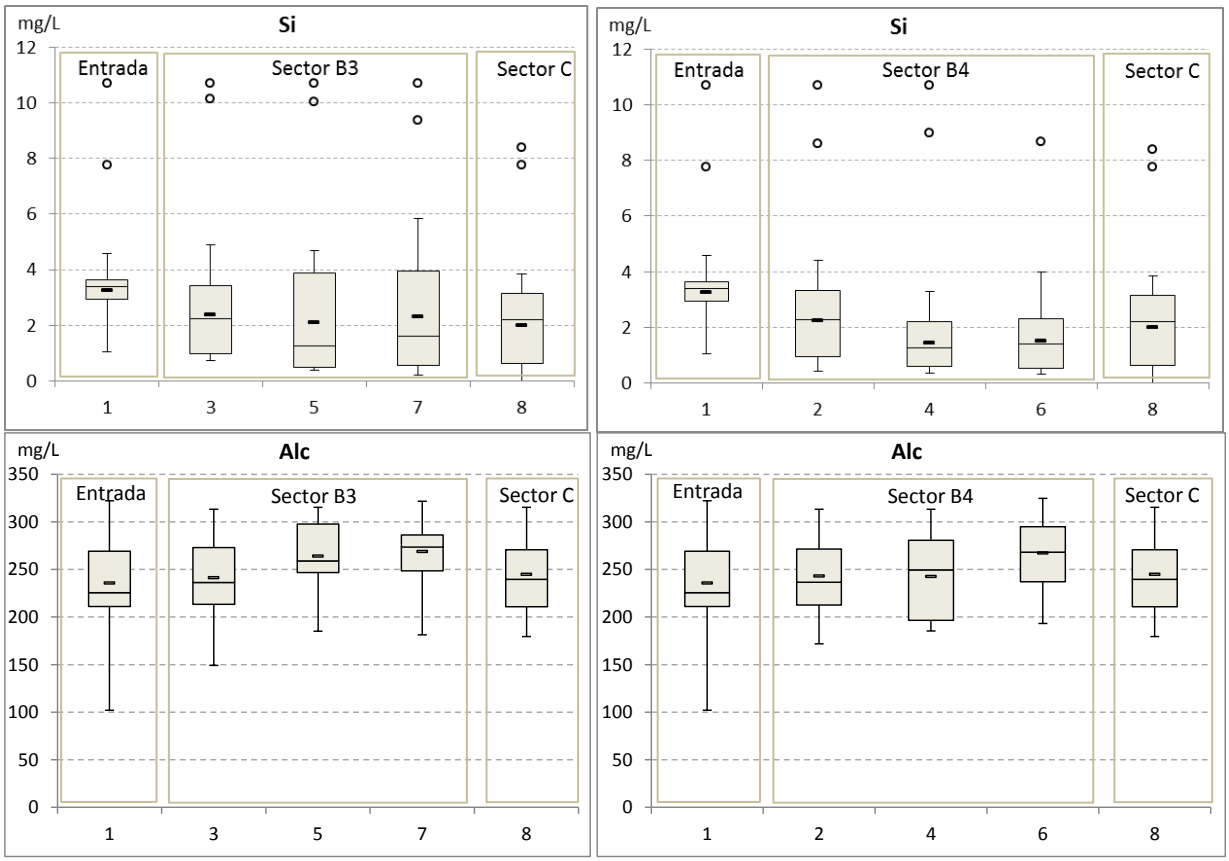


Figura 63. Variación espacial de la concentración de sílice (arriba) y alcalinidad (abajo) a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

La concentración de sílice disminuye a lo largo del humedal artificial, pasando de 3.99 mg/L a la entrada a 2.92 mg/L a la salida. En el *sector B4* se alcanzan concentraciones más bajas que en el *sector B3*, y ambas siguen reduciéndose en el *sector C*.

La alcalinidad aumenta de forma progresiva a lo largo de las líneas *B3* y *B4* y se reduce ligeramente en el *sector C* (P8). El descenso que se produce en el *sector C* es inferior al aumento que tiene lugar en el *sector B*, y en el global del HATLI la alcalinidad aumenta.

Tabla 12. Valores medios de concentración de PT, PO_4^{3-}, Si y alcalinidad en los puntos de muestreo en el HATLI.

Punto	PT		PO_4^{3-}		Si		Alc
	(mg P/L)		(mg P/L)		(mg Si/L)		(mg $CaCO_3$/L)
1	0.131		0.008		3.99		236
2	0.106		0.009		3.16		243
3	0.078		0.011		3.38		241
4	0.149		0.005		2.49		243
5	0.081		0.010		3.13		264
6	0.107		0.009		1.95		267
7	0.096		0.012		3.28		269
8	0.123		0.005		2.92		245

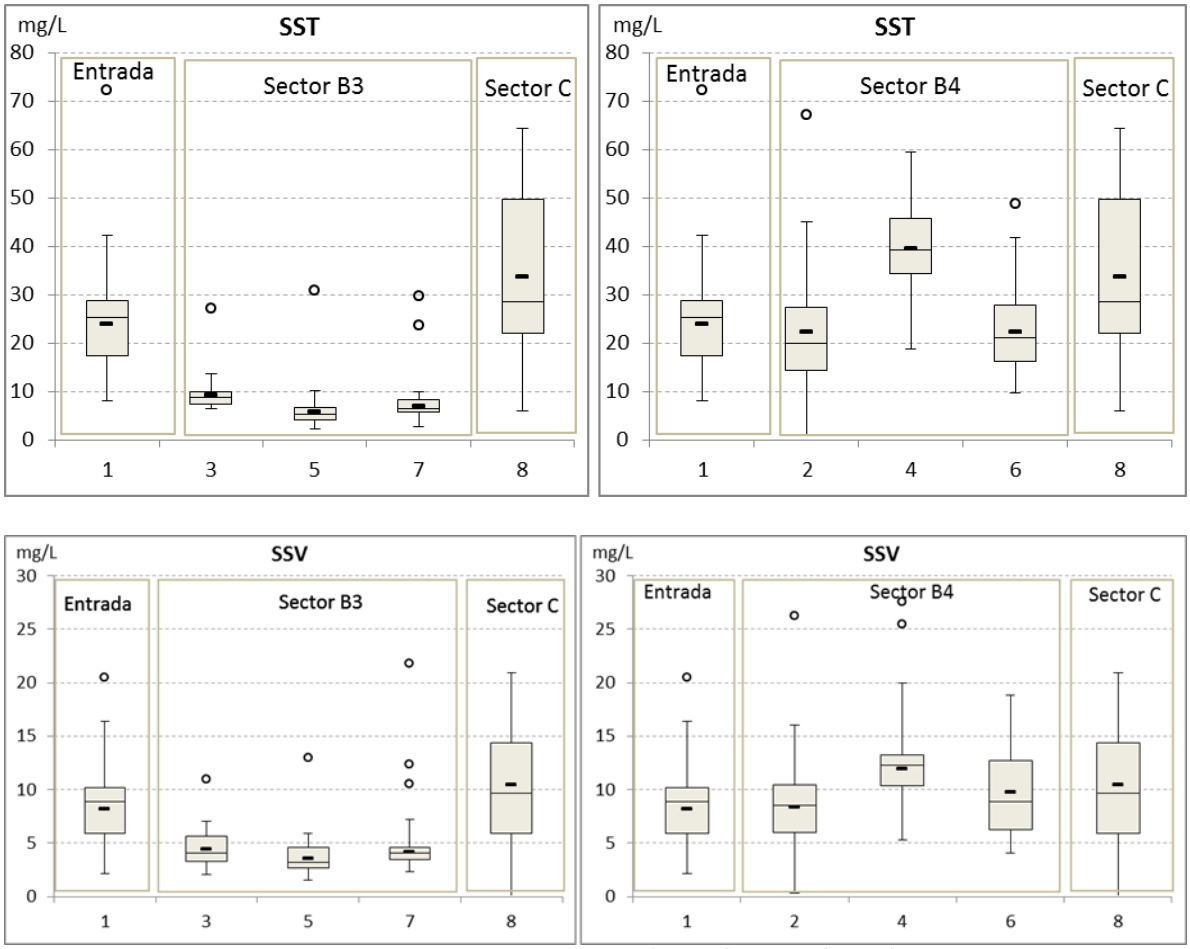


Figura 64. Variación espacial de la concentración de SS (arriba) y SSV (abajo) a lo largo de las líneas *B3* y *B4* del HATLI.

En el conjunto del humedal artificial se produce un aumento tanto de los SS como de los SSV. No obstante, su evolución dentro del *Tancat* no es homogénea. Los SS y SSV disminuyen en las tres celdas que componen la línea *B3*, presentando reducciones de concentración de hasta el 62%. Sin embargo, en la segunda celda del *sector B4* (P4) se produce un incremento muy importante de los SS y SSV, que logra reducirse en la tercera celda de esta línea (P6). El incremento de la concentración de SS en la laguna pueden deberse a los mismos motivos que se apuntaron en el caso del PT.

Tabla 13. Valores medios de concentración de SS y SSV en los puntos de muestreo en el HATLI.

Punto	SS	SSV
	(mg/L)	(mg/L)
1	27.01	8.95
2	25.08	9.49
3	10.27	4.85
4	39.62	13.78
5	7.20	4.15
6	23.92	9.75
7	10.38	6.16
8	33.64	11.13

Las gráficas temporales nos permiten visualizar la evolución de las variables de calidad de aguas a lo largo del año 2014.

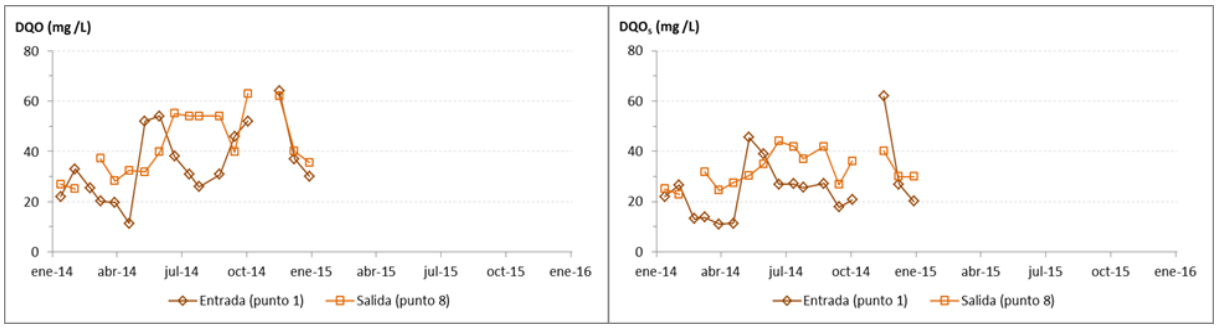


Figura 65. Evolución temporal de las concentraciones de DQO y DQO_S en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

La concentración de materia orgánica en el punto de l´Estany de la Plana de donde se capta el agua presenta oscilaciones a lo largo del año. Se observan picos de DQO (total y soluble) al final de la primavera y en otoño. La eliminación neta de materia orgánica se consigue de forma puntual durante varios momentos del año, sin establecerse un patrón claro de comportamiento. La concentración de DQO soluble de salida es mayor a la de entrada durante prácticamente todo el año.

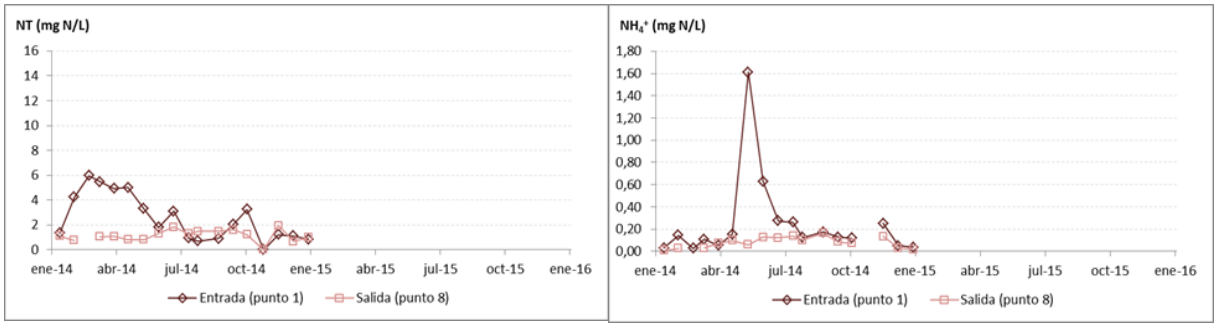


Figura 66. Evolución temporal de las concentraciones de NT y NH_4^+ en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

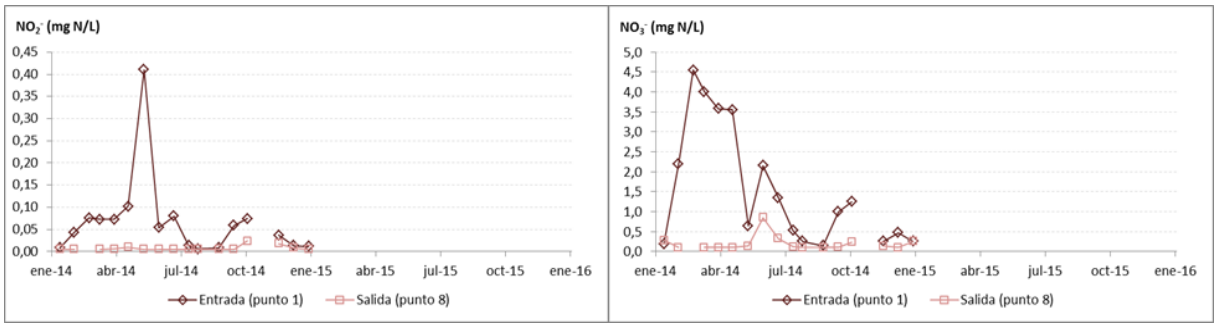


Figura 67. Evolución temporal de las concentraciones de NO_2^- y NO_3^- en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

La concentración de NT a la salida del humedal se mantiene bastante constante y cercana a 1.2 mg N/L, pese a que la concentración de entrada oscila y alcanza picos de hasta 6 mg N/L. Tal como sucede en el *Tancat de Milia*, el hecho de que cuando la concentración de entrada se aproxima a ese valor prácticamente no se produce reducción alguna, hace pensar que esa concentración sea un "valor base" del sistema. La eliminación de las distintas formas del nitrógeno analizadas se produce de forma constante a lo largo del año, laminando los picos de concentración de entrada, que en el caso de los nitratos alcanzan los 4.5 mg N/L.

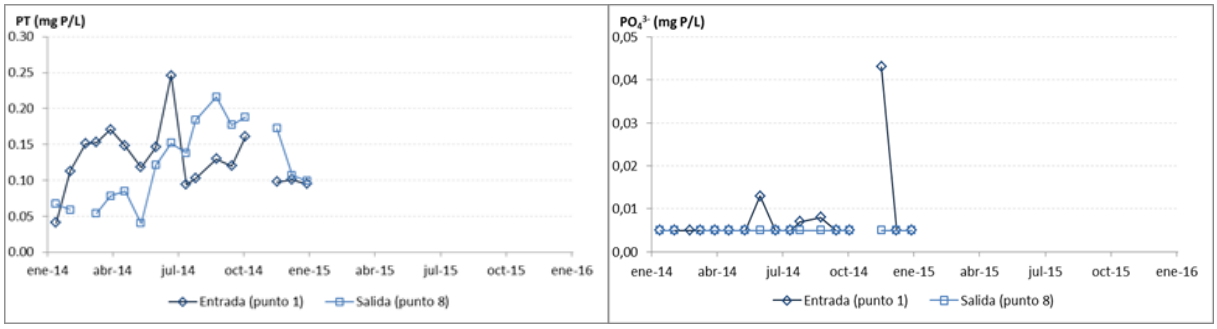


Figura 68. Evolución temporal de las concentraciones de PT y PO_4^{3-} en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

La concentración de fósforo total en la entrada no presenta un patrón temporal claro, observándose fluctuaciones importantes a lo largo del año. Las concentraciones de salida fueron inferiores a las de entrada hasta el mes de julio; a partir de este momento y hasta diciembre la concentración de salida supera la de entrada. En estos momentos ambas concentraciones presentan valores muy similares.

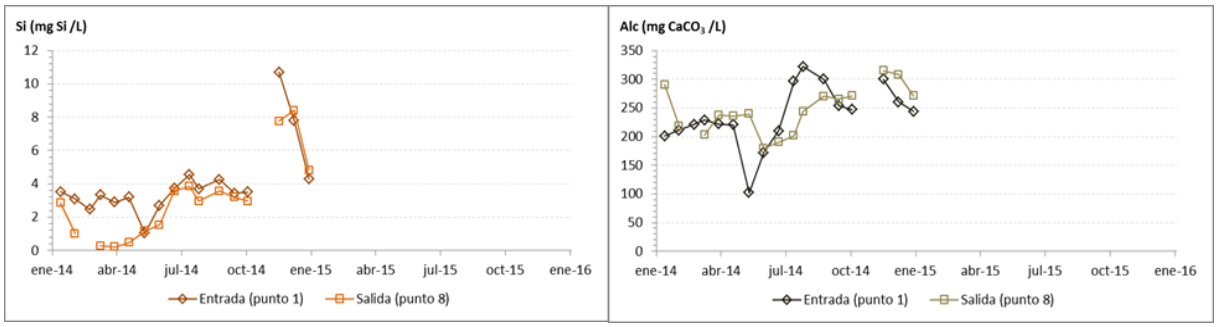


Figura 69. Evolución temporal de las concentraciones de sílice y alcalinidad en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

La concentración de sílice a la salida es inferior a la de entrada durante prácticamente todo el período. Se observa un incremento muy significativo en el muestreo de noviembre, reduciéndose de nuevo en los últimos muestreos del año.

La alcalinidad, tanto a la entrada como a la salida del sistema, presenta fluctuaciones a lo largo del año. Durante los meses de primavera e invierno la alcalinidad del agua aumenta ligeramente tras su paso por el humedal artificial, si bien en los meses de verano y principios de otoño sucede lo contrario.

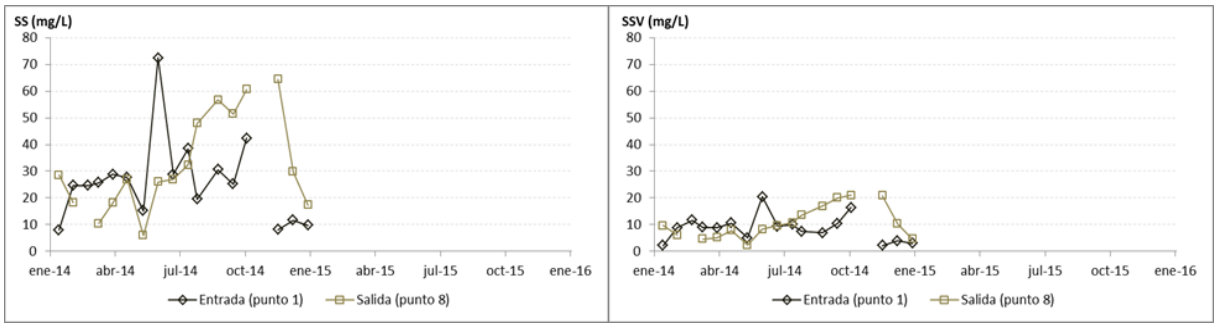


Figura 70. Evolución temporal de las concentraciones de SS y SSV en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

La concentración de sólidos suspendidos en el agua de entrada parece ser menor durante los meses de invierno y primavera, y mayor en verano y otoño, aunque esto es sólo una primera observación que habrá que contrastar durante el segundo año de monitorización.

Hasta el mes de julio, tanto en en caso de los SS como de los SSV, las concentraciones a la salida del humedal han sido menores que las del agua de entrada.

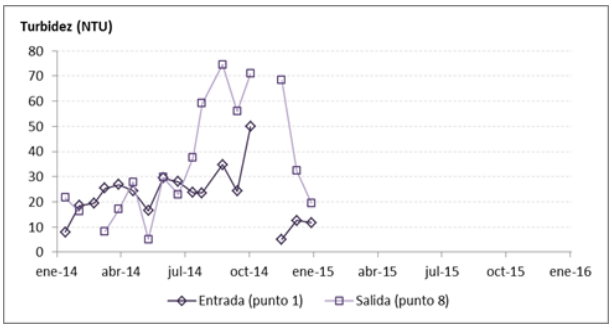


Figura 71. Evolución temporal de la turbidez en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

En el caso de la turbidez el patrón es el mismo que el observado para los SS: las concentraciones de salida son menores que las de entrada hasta el mes de julio, momento a partir del cual se producen valores punta que superan con creces los valores de turbidez en el agua de entrada.

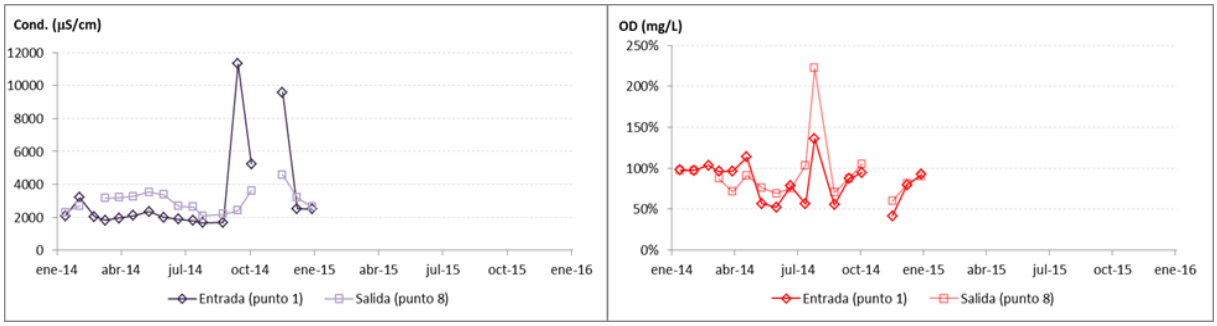


Figura 72. Evolución temporal de la conductividad y de la concentración de OD en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

Respecto a la conductividad, los valores tan altos observados durante los meses de septiembre y noviembre son debidos a las altas conductividades registradas en *l´Estany de la Plana*, tal como se ha comentado anteriormente. Al margen de estos dos valores, la conductividad de salida es superior a la de entrada, como ocurre en el HATP y en HATM.

Como se ha comentado, el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto está altamente influenciado por la actividad fotosintética que se produce en el agua. Durante los meses de verano dicha concentración de oxígeno es mayor en el agua de salida, alcanzándose porcentajes de sobresaturación muy por encima del 100%.

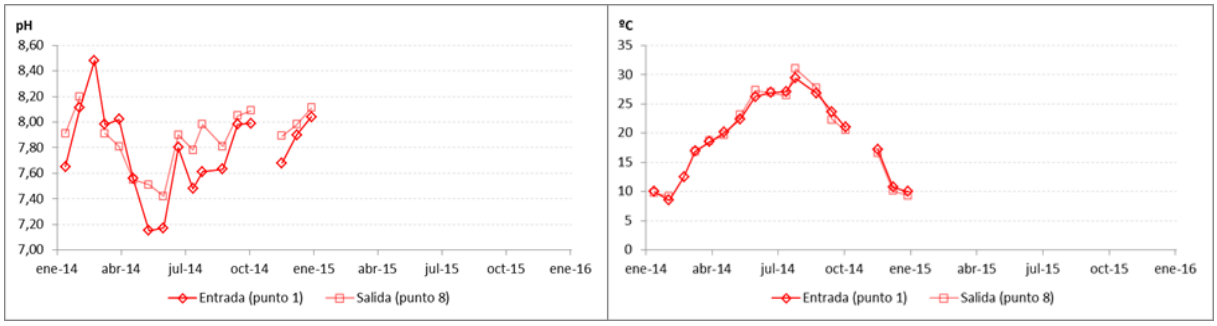


Figura 73. Evolución temporal de las concentraciones de pH y temperatura en el punto de entrada (P1) y de salida (P8) del HATLI.

El pH observado en el *Tancat* presenta valores que oscilan entre 7.0 y 8.5. Durante los primeros meses de funcionamiento, el pH del agua de salida fue inferior al del agua de entrada, y desde el mes de mayo se ha invertido esa tendencia.

Por último, se comprueba que el humedal no altera significativamente la temperatura de las aguas de l'Albufera, variando entre 8 y 31ºC.

3.2 Calidad de aguas. Rendimientos.

Los resultados de rendimientos se representan en las siguientes figuras mediante barras. Estos rendimientos corresponden al porcentaje de masa que se elimina (positivo) o genera (negativo) con respecto a la masa de entrada. En cada figura se muestran, en el extremo de cada barra, la masa (kg) que se ha eliminado o generado.

3.2.1 Rendimientos en el HATP

Los rendimientos del humedal artificial del *Tancat de la Pipa* se han calculado para el sector *fp* (puntos P3 y P6), para los subsectores *fp* y laguna de reserva (P3-P8) y para el global del sistema (P1+P2 y P15).

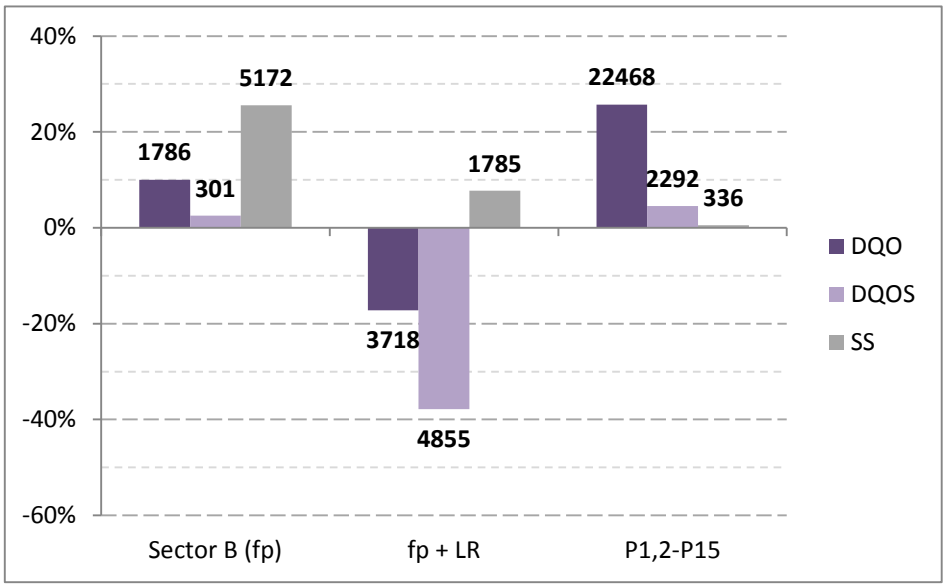


Figura 74. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de DQO, DQO_S y SS en el HATP.

Se puede observar en la figura anterior que el *sector B*, humedal artificial *fp*, ha eliminado materia orgánica, fundamentalmente particulada, mientras que el *sector C*, *laguna de reserva*, ha aportado DQO fundamentalmente en forma soluble. El resultado final de todos los espacios que conforman el *Tancat de la Pipa* (recordemos que dentro del proyecto LIFE se monitoriza una parte del *Tancat*) supone la eliminación de un 25% de la materia orgánica que le ha entrado durante el año 2014, de la cual aproximadamente un 90% es particulada. Cabe recordar que las "entradas" de materia orgánica suponen no sólo las entradas directas desde los puntos 1 y 2, sino también las entradas por deposición atmosférica seca y húmeda y las entradas de origen animal.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales, en el *sector B* se elimina cerca del 25% de los que entran, lo cual teniendo en cuenta la baja cobertura vegetal puede considerarse como un rendimiento mínimo. No obstante, sucede lo mismo que con la DQO en el *sector C* y se incrementan los SS en la laguna. El resultado final para todo el *Tancat* es que los SS se eliminan muy poco.

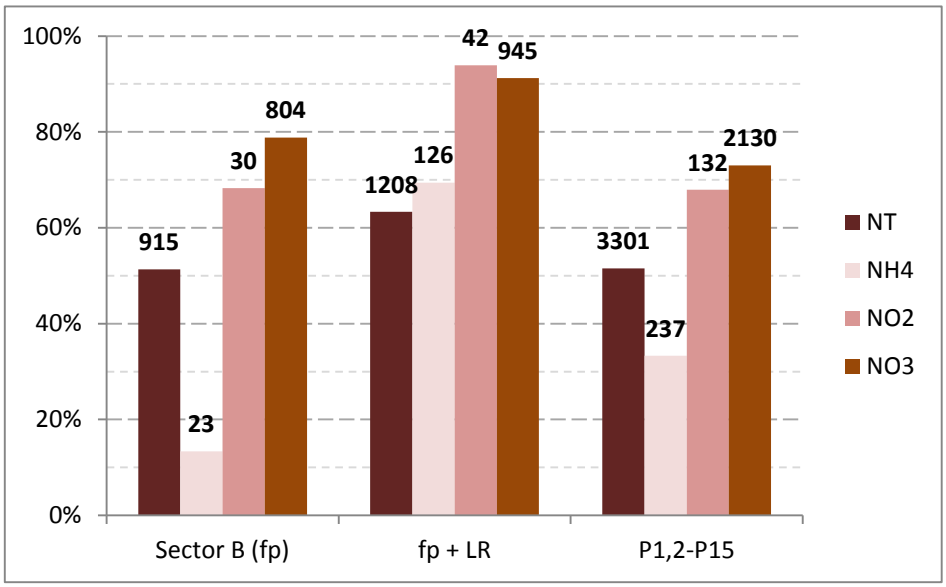


Figura 75. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de NT, NH_4^+, NO_2^- y NO_3^- en el HATP.

El nitrógeno total sí que es eliminado de forma bastante eficiente tanto en el *sector B* como en el C y, por ende, en el conjunto del humedal. Si en el *sector fp* el porcentaje de eliminación es ligeramente superior al 50%, este porcentaje aumenta al 62% cuando se analiza conjuntamente *sector B* y *sector C*. En su conjunto, en el humedal artificial se reduce un 50% del nitrógeno total que entra, siendo superior al 70% el rendimiento para los nitratos eliminados.

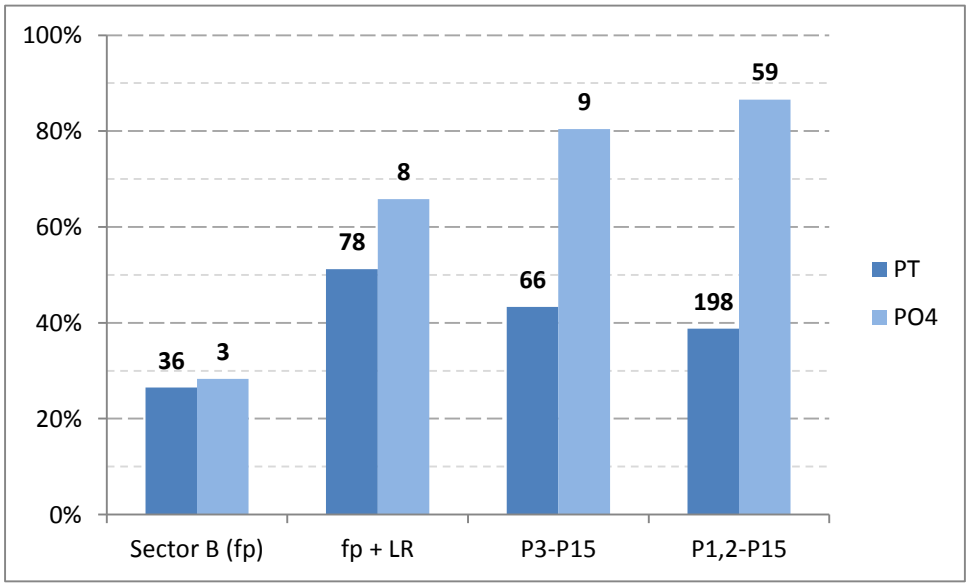


Figura 76. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de PT y PO_4^{3-} en el HATP.

El rendimiento en la eliminación de fósforo total en el *sector B* es ligeramente superior al 20% pero este porcentaje aumenta al 50% cuando se añade el efecto del *sector C*. En el conjunto del humedal el resultado obtenido es de una reducción del 40%.

3.2.2 Rendimientos en el HATM

Los rendimientos del humedal artificial del *Tancat de Milia* se han calculado para el *sector A* (entre los puntos P1 y P2,P3,P4), para el *sector BE* (P4-P6) y para el global del sistema (P1 y P8).

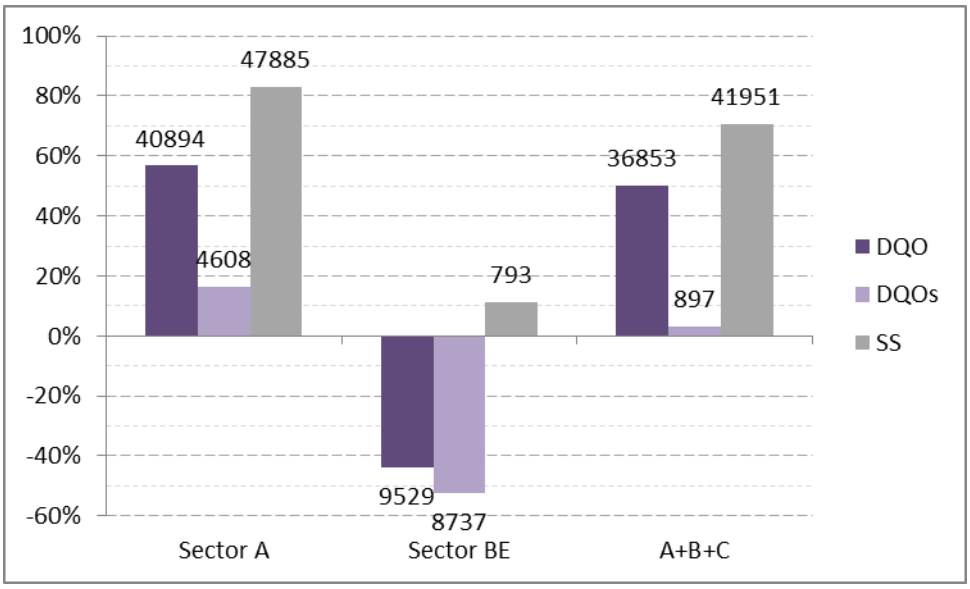


Figura 77. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de DQO, DQO_S y SS en el HATM.

El humedal artificial del *Tancat de Milia* ha eliminado, en su conjunto, un 50% de la materia orgánica que le entra durante 2014. Como se puede ver en el gráfico, esta eliminación es fundamentalmente debida a la presencia del *sector A* ya que el *sector BE* genera materia orgánica, fundamentalmente soluble (restos vegetales, detritos...).

Igualmente exitoso es el resultado con respecto a los sólidos suspendidos, con un porcentaje de eliminación global del 70%. Al igual que con respecto a la DQO gran parte del mérito corresponde a la eficiencia del *sector A*, superior al 80%.

Estos resultados ponen de manifiesto el interés de disponer de un sector subsuperficial siempre que sea posible.

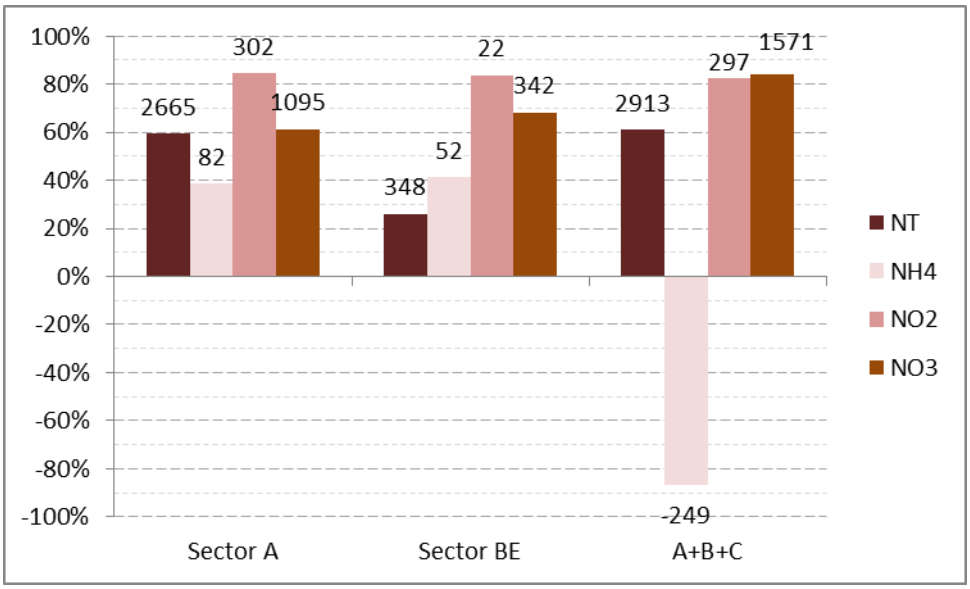


Figura 78. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de NT, NH_4^+, NO_2^- y NO_3^- en el HATM.

El nitrógeno total se elimina eficientemente en el *sector A*, con un rendimiento del 60%. En el *sector B* también se reduce el nitrógeno, fundamentalmente en forma de nitratos. En este *Tancat* el *sector C* prácticamente no contribuye a la eliminación de NT debido a la importante generación de nitrógeno amoniacal. En el balance global, el HATM reduce un 60% la masa de nitrógeno total que entra pero incrementa el nitrógeno amoniacal.

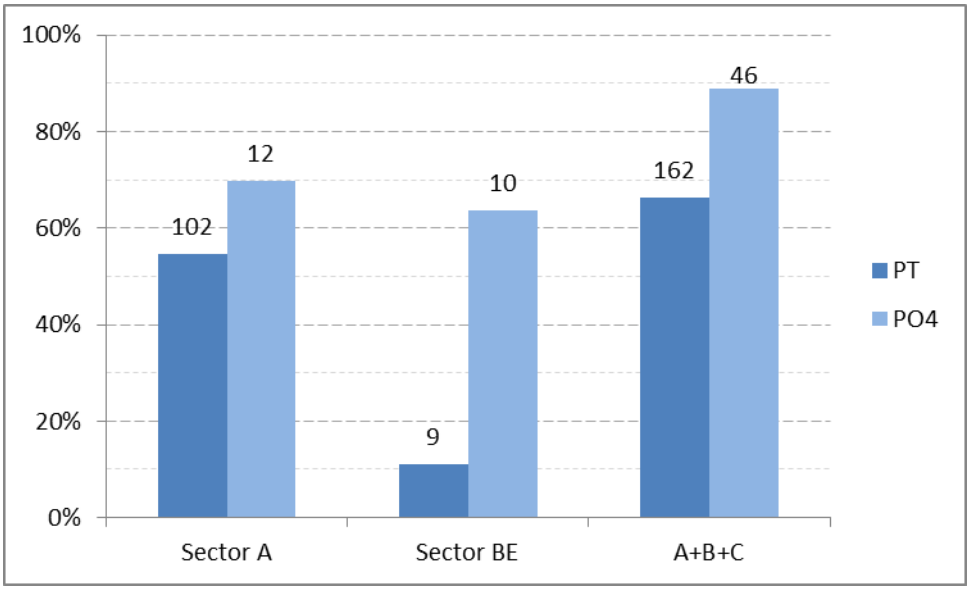


Figura 79. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de PT y PO_4^{3-} en el HATM.

Como ya se podía intuir a partir de los resultados mostrados sobre las concentraciones de fósforo total, el *sector A* es muy eficiente en la eliminación de PT. El rendimiento en este sector es del

54% aproximadamente, mientras que se puede observar que en el *sector tipo B* es muy bajo. Como también sucede en el *Tancat de la Pipa* el *sector C* contribuye de forma muy notable a la reducción de fósforo, alcanzándose para el conjunto del *Tancat* un rendimiento del 65%.

3.2.3 Rendimientos en el HATLI

Los rendimientos del humedal artificial del *Tancat de l´Illa* se han calculado para la suma del *sector A* y *subsector B3* (entre los puntos P1 y P7), para la suma del *sector A* y *subsector B4* (P1-P6) y para el global del sistema (P1 y P8).

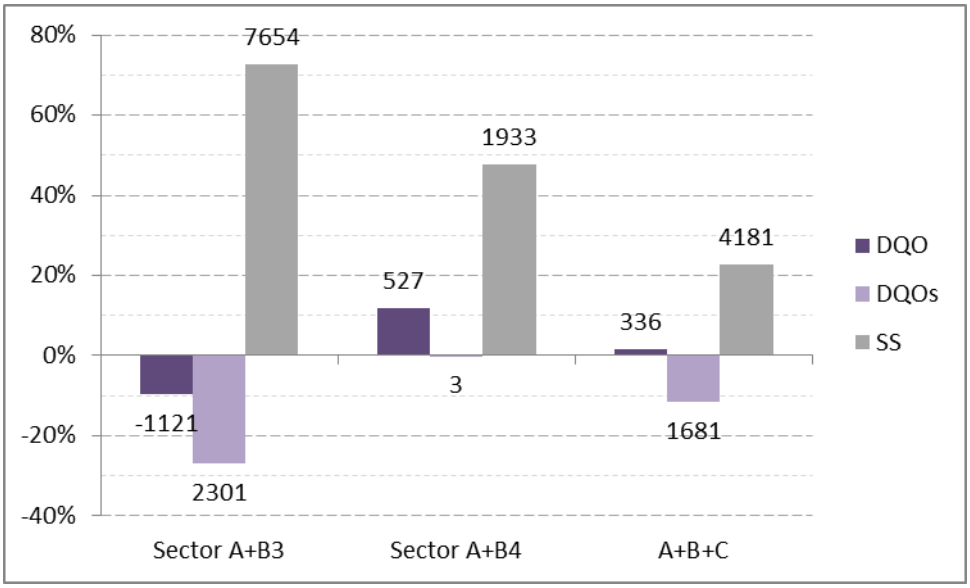


Figura 80. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de DQO, DQO_s y SS en el HATLI.

El humedal artificial del *Tancat* de L'*Illa* no elimina materia orgánica de forma significativa. De hecho produce mucha materia orgánica soluble. Esta producción de materia orgánica está asociada a la madurez y a la alta densidad de la vegetación. Ello se nota mucho en el *subsector B3*, mucho más vegetado y maduro que *B4*.

La eliminación de sólidos suspendidos sin embargo es excelente, con más de un 70% de eliminación en *B3*. La eliminación en *B4* es más baja por tener una vegetación más joven y menos densa, que favorece la resuspensión y la presencia de aves. La eliminación global es ligeramente superior al 20% la cual, aunque no es comparable a HATM sí es superior al otro humedal estudiado homologable, HATP.

A partir de estos resultados de SS se concluye una diferencia interesante con respecto al *Tancat de la Pipa*. Ambos humedales tan solo tienen *sectores B* y *C*, pero el HATLI elimina al menos un 20% de los SS, mientras que HATP prácticamente no elimina nada. Una diferencia clave está en el calado y la vegetación de cada *sector B*: mientras que el calado de *B3* y *B4* de HATLI es superior a 40 cm y está media o densamente vegetado, el calado de *fp* es de 17 cm y está escasamente vegetado. Esto muestra que un humedal artificial de flujo superficial densamente vegetado puede

tener unos rendimientos similares a los de uno de flujo subsuperficial, pero si la vegetación no está bien desarrollada o tiene poco calado los resultados caen mucho.

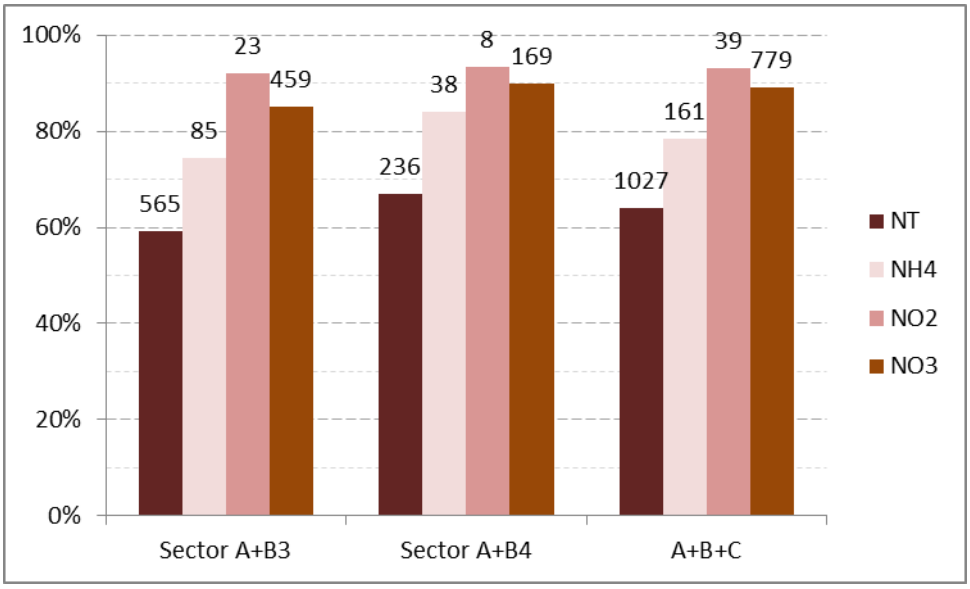


Figura 81. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de NT, NH_4^+, NO_2^- y NO_3^- en el HATLI.

La reducción de NT y de sus diversas formas inorgánicas es muy similar en ambos *sectores B*, muy próximo al 60-70% que es el mejor de todos los *Tancats*.

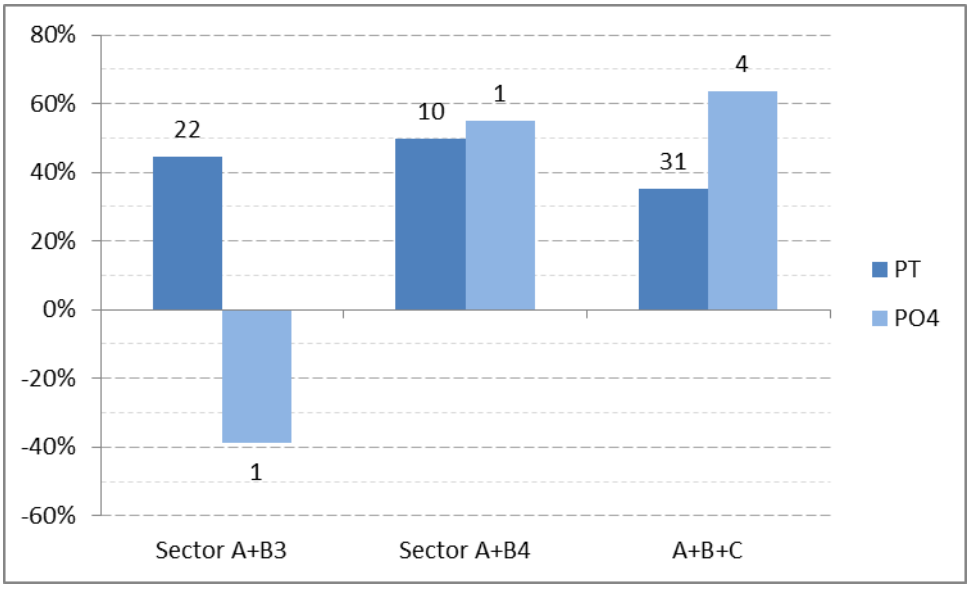


Figura 82. Rendimientos de eliminación y masa eliminada/generada de PT 7 PO_4^{3-} en el HATLI.

La reducción de fósforo total es muy similar en los dos *sectores tipo B* estudiados en este *Tancat*, entre un 40 y un 50%. En este caso el *sector C* tiene un comportamiento bastante neutro ya que no se observa ni aporte ni reducción de PT en él. En el balance global el porcentaje de reducción de fósforo es del 35%.

3.3 Deposición atmosférica

Tal como se ha descrito en el apartado 2.4, el cálculo de los rendimientos de cada sistema incluye la carga de entrada al sistema a través de la deposición. Para ello, se requieren el caudal de entrada por precipitación y la concentración de cada parámetro físico-químico, en dicha corriente de entrada.

En las siguientes tablas (Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16) se muestran las cargas de entrada a través de la deposición, en cada humedal artificial, y que se han empleado para el cálculo de la carga total.

En el HATP se han recogido 7 muestras de deposición atmosférica. El promedio de precipitación registrado es el más bajo de los tres *Tancats*, y en general, las cargas superficiales ($mg/m^2 \cdot d$) asociadas son también las más bajas.

Tabla 14. Caracterización de la deposición atmosférica recogida durante los episodios de lluvia en el HATP.

Muestreo	V (l)	Precipitación (l/m^2)	DQO (mg/m^2d)	NT (mg/m^2d)	NH_4^+ (mg/m^2d)	NO_2^- (mg/m^2d)	NO_3^- (mg/m^2d)	PT (mg/m^2d)	PO_4^{3-} (mg/m^2d)	SS (mg/m^2d)
03/02/2014	0.197	2.0	17.96	0.38	0.07	0.00	0.13	0.01	0.00	1.68
13/02/2014	0.160	1.7	16.63	0.75	0.14	0.00	0.28	0.04	0.01	11.14
31/03/2014	0.400	4.2	6.51	0.63	0.10	0.00	0.11	0.05	0.01	4.74
02/06/2014	0.990	10.3	50.14	1.15	0.01	0.00	0.05	0.17	0.00	36.24
17/11/2014	1.200	12.5	27.32	2.26	0.74	0.00	0.37	0.20	0.10	58.00
09/12/2014	3.380	35.1	23.95	1.92	0.38	0.00	0.65	0.10	0.12	22.04
29/12/2014	3.00	31.2	18.09	2.49	0.29	0.00	0.94	0.14	0.01	22.24
PROMEDIO	1.332	13.8	22.94	1.37	0.25	0.00	0.36	0.10	0.04	22.30

Las 7 muestras de deposición atmosférica recogidas en el HATM representan el mayor volumen de lluvia registrado. Las cargas superficiales son intermedias, a excepción de los SS que presenta la carga superficial más baja.

Tabla 15. Caracterización de la deposición atmosférica recogida durante los episodios de lluvia en el HATM.

Muestreo	V (l)	Precipitación (l/m^2)	DQO (mg/m^2d)	NT (mg/m^2d)	NH_4^+ (mg/m^2d)	NO_2^- (mg/m^2d)	NO_3^- (mg/m^2d)	PT (mg/m^2d)	PO_4^{3-} (mg/m^2d)	SS (mg/m^2d)
30/01/2014	0.850	8.8	22.09	1.54	0.55	0.00	0.40	0.06	0.00	10.85
12/03/2014	0.750	7.8	6.84	1.19	0.41	0.00	0.38	0.06	0.03	9.62
02/04/2014	2.360	24.5	15.54	2.82	0.99	0.00	0.62	0.06	0.01	7.71
14/05/2014	0.650	6.8	8.04	0.71	0.19	0.00	0.02	0.05	0.00	8.01
25/06/2014	0.220	2.3	-	-	-	0.00	0.36	0.28	0.16	8.02
15/10/2014	6.000	62.4	-	3.81	1.08	0.00	0.93	0.20	0.04	10.44
11/12/2014	4.050	42.1	21.42	2.81	1.32	0.00	0.52	0.64	0.52	8.04
PROMEDIO	2.126	22.1	14.79	2.14	0.76	0.00	0.46	0.19	0.11	8.96

En el HATLI se han analizado 8 muestras de deposición. La carga superficial promedio para cada parámetro físico-químico es la mayor de las registradas en los tres *Tancats*.

Tabla 16. Caracterización de la deposición atmosférica recogida durante los episodios de lluvia en el HATlI.

Muestreo	V (l)	Precipitación (l/m^2)	DQO (mg/m^2d)	NT (mg/m^2d)	NH_4^+ (mg/m^2d)	NO_2^- (mg/m^2d)	NO_3^- (mg/m^2d)	PT (mg/m^2d)	PO_4^{3-} (mg/m^2d)	SS (mg/m^2d)
12/02/2014	0.400	4.2	10.39	0.49	0.09	0.00	0.23	0.05	0.01	11.54
20/03/2014	0.900	9.4	7.61	0.97	0.27	0.00	0.42	0.02	0.00	4.32
09/04/2014	0.680	7.1	17.85	1.51	0.27	0.00	0.63	0.09	0.00	20.46
21/05/2014	0.260	2.7	19.75	0.46	0.01	0.00	0.03	0.08	0.00	16.09
24/09/2014	0.950	9.9	26.33	6.21	1.72	0.00	2.14	0.63	0.28	79.18
13/10/2014	3.800	39.5	28.48	6.65	4.14	0.00	1.39	0.56	0.32	29.31
26/11/2014	1.050	10.9	-	1.73	-	-	-	0.12	-	9.92
17/12/2014	6.500	67.6	83.65	5.76	1.61	0.00	1.06	0.92	0.33	84.82
PROMEDIO	1.818	18.9	27.72	2.97	1.16	0.00	0.84	0.31	0.13	31.95

De los tres *Tancats*, es en el HATLI donde el aporte por deposición atmosférica, tanto en términos absolutos como relativos, presenta una mayor incidencia sobre el total de la carga de entrada. Este aporte supone entre un 4.9% de la carga total de DQO de entrada y un 11.7% de la carga de PT.

3.4 Sedimentos

Los datos obtenidos se adjuntan mediante las fichas de laboratorio y se analizan a continuación en las siguientes figuras. Con el objetivo de visualizar bien las diferencias entre HA, profundidad del sedimento y temporales, las figuras se estructuran de la siguiente manera. Para cada parámetro se presenta una figura que contiene 4 gráficos: en la parte superior los correspondientes a la capa más superficial (0-5 cm) y en la inferior los de la capa profunda (5-20 cm). A la izquierda se muestran los resultados de la primera campaña (Feb-2014) y a la derecha los de la segunda (Jul-2014). Dentro de cada gráfico aparecen en el eje horizontal los 3 puntos de la línea monitorizada en cada HA y cada serie de datos corresponde a un HA (Pipa, Milia e Illa), tal y como se indica en la leyenda.

En primer lugar se muestran los resultados de humedad (Figura 83). En general, se observa una mayor humedad en la capa más superficial, especialmente en la primera campaña. Entre HA, el HATLI es el que menor humedad del sedimento presenta, lo que indica un suelo más compacto. De hecho, en HATLI no se podía penetrar hasta los 20 cm de profundidad, tal y como se comenta en la descripción del muestreo.

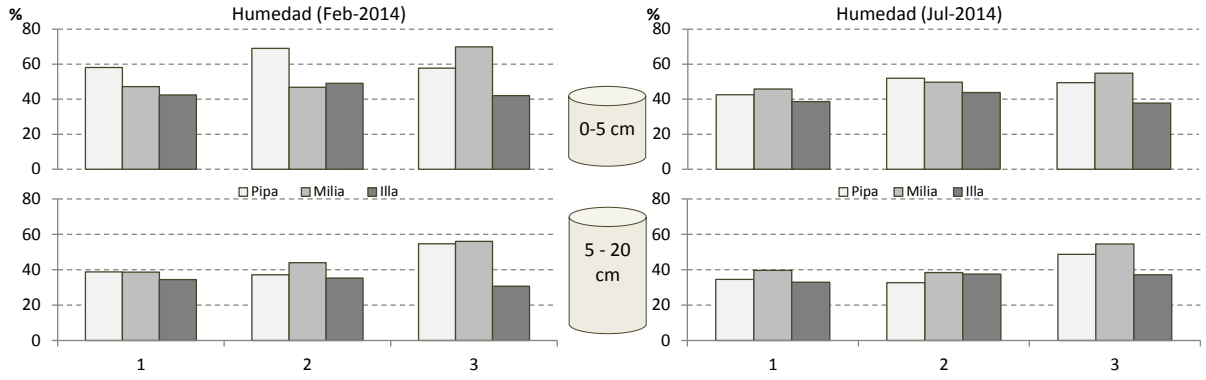


Figura 83. Humedad del sedimento (%, en peso húmedo).

Los resultados de materia orgánica (Figura 84) indican un contenido orgánico del sedimento que puede clasificarse como alto, siendo similar al del sedimento del lago de la Albufera (4.6-6.9%, según datos de Hernández-Crespo, 2013). Una observación importante es que el contenido de materia orgánica de la capa superficial, no es significativamente superior al de la capa profunda, por lo que no se ha producido un incremento muy importante tras su uso como sistema de tratamiento. No se observan diferencias importantes entre puntos de muestreo y HA, salvo por el resultado de la capa superficial del sector C de HATM (laguna, punto 3) en la primera campaña, que fue sensiblemente superior al resto. Sin embargo, dicho resultado no se repitió en la segunda campaña. En relación con esto cabe mencionar que en la segunda campaña se tomó la muestra más cerca de la orilla, ya que al avanzar hacia el interior de la laguna el hundimiento en el sedimento impedía caminar al personal, y la diferencia puede estar asociada a este hecho.

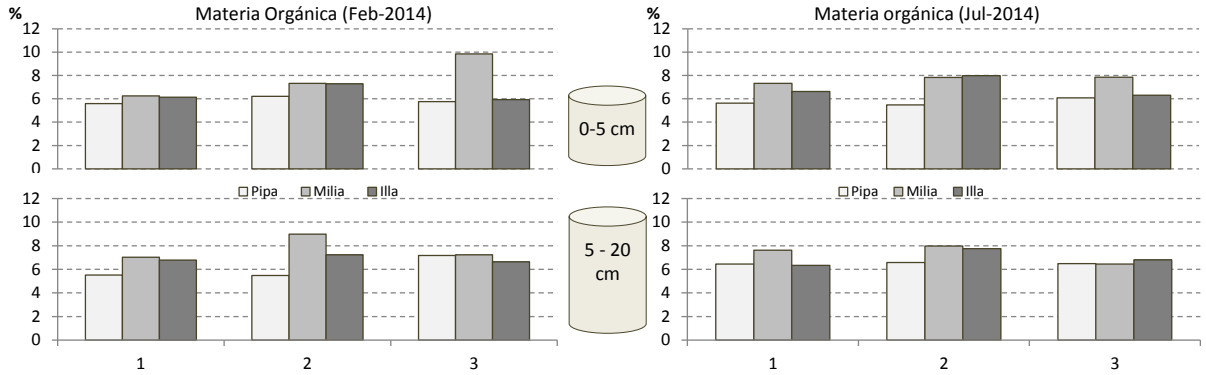


Figura 84. Materia orgánica del sedimento, medida como pérdida por calcinación (%, en peso seco).

El contenido de carbono orgánico puede considerarse elevado según la clasificación propuesta por Juárez et al. (2006) (%<1.74 Bajo; %:1.74-2.32 Medio; %>2.32 Alto).

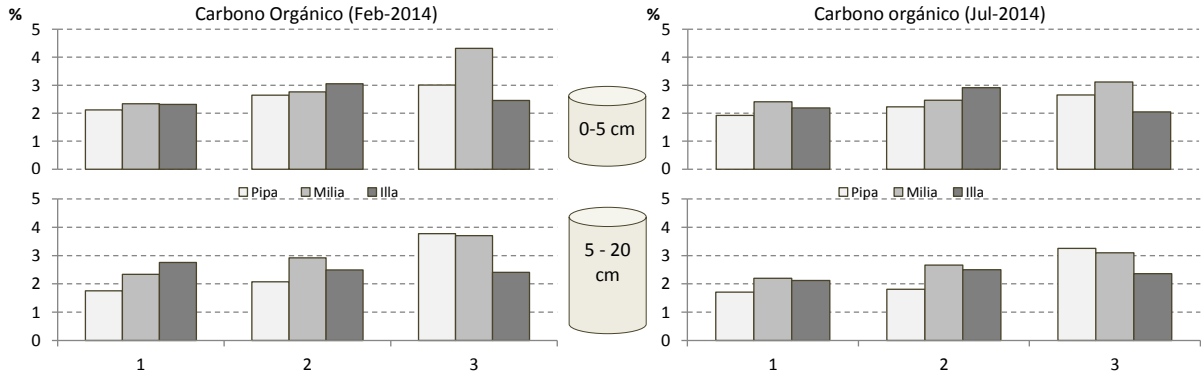


Figura 85. Carbono orgánico del sedimento (%, en peso seco).

Al igual que para la materia orgánica, el contenido de NKT (Figura 86), que incluye el nitrógeno total del sedimento (orgánico, amoniacal y nítrico), puede considerarse muy alto de acuerdo con la diagnosis de potencial nutritivo de Juárez et al. (<900 Bajo; 900-1330 Medio; >1330 Alto). En este caso sí que se puede apreciar que la concentración de NKT es ligeramente superior en la capa superficial. Destaca nuevamente el NKT medido en la primera campaña en el punto 3 (capa superficial) de HATM (la laguna), que fue visiblemente superior al resto y podría explicar el incremento de amonio en el agua que se produce en este sector. Este mayor contenido de NKT, aunque ya no se ve reflejado en la segunda campaña, puede estar relacionado con el aporte procedente de las aves, al ser la laguna un hábitat favorable en el que se encuentra gran cantidad de aves.

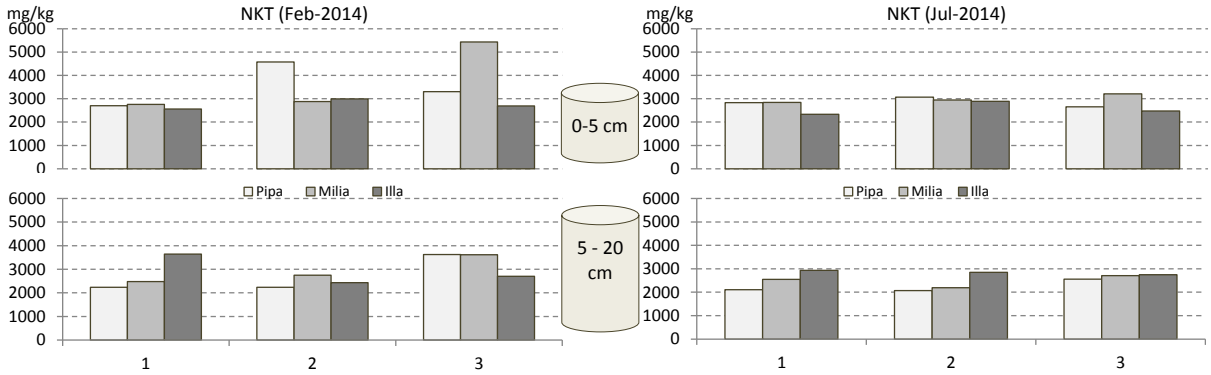


Figura 86. NKT del sedimento (mg/kg, en peso seco).

En la Figura 87 se muestran los resultados de nitrógeno nítrico, el cual presentó concentraciones muy bajas en todos los puntos muestreados, según baremo de Juárez et al. (Bajo <50; Medio 50-100; Alto >100 mg N/kg). Este hecho está relacionado con las características del sedimento, en el cual, al encontrarse permanentemente inundado, se generan condiciones anóxicas dando lugar al proceso de desnitrificación. De hecho, el N-nítrico representa menos de un 1% del NKT. En la segunda campaña se observa una ligera disminución del N-nítrico en los HA de Pipa y Milia, posiblemente relacionado con unas condiciones más reductoras en verano; mientras que en l'Illa se ob-

serva un aumento, que puede estar asociado a una mayor liberación de oxígeno desde la rizosfera, ya que este HA tiene una mayor densidad de vegetación.

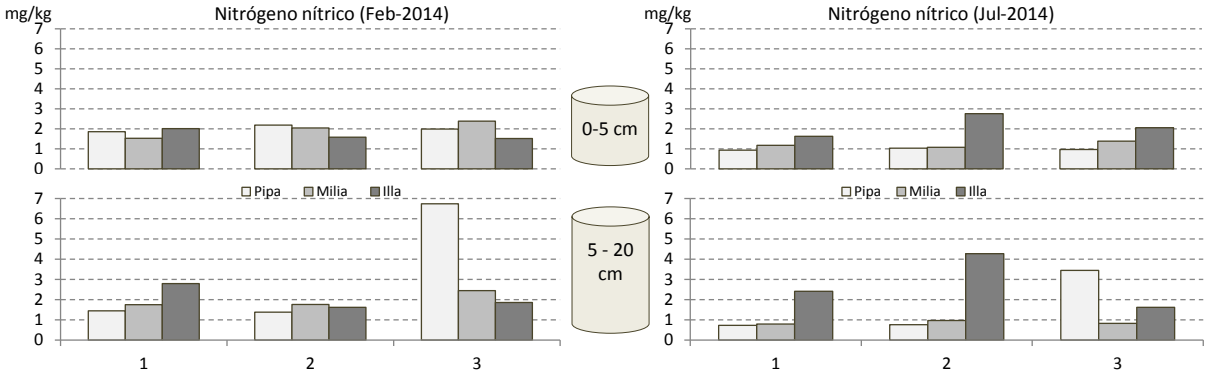


Figura 87. Nitrógeno nítrico del sedimento (mg/kg, en peso seco).

El fósforo soluble e inorgánico se presenta en la Figura 88. En este caso, se observa una diferencia significativa entre los HA, siendo el HATP el que mayor contenido de fósforo soluble presenta, especialmente en los puntos 1 y 2 correspondientes al sector fp (fp1 y fp3 respectivamente). No existen diferencias muy importantes entre las capas superficial y profunda. Respecto a la variación temporal, se observa un ligero aumento en la segunda campaña. El diagnóstico de capacidad nutritiva (Juárez et al., 2006), es de nivel medio para en los puntos 1 y 2 de HATP (65 – 109 mg P/kg), y bajo para el resto de puntos (< 65 mg P/kg), no alcanzándose una categoría alta (>109 mg P/kg) en ningún punto. La diferencia observada entre HA puede estar relacionada con la fase de construcción, ya que en HATM y HATLI se retiró una capa de suelo más profunda que en HATP, alcanzándose una capa con menor contenido de fósforo soluble.

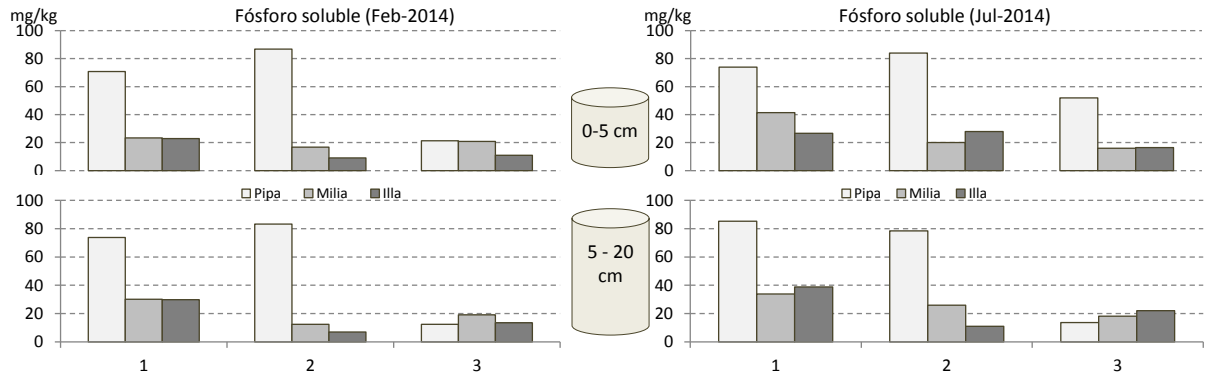


Figura 88. Fósforo soluble del sedimento (mg/kg, en peso seco).

La conductividad eléctrica específica del sedimento indica el grado de salinidad del mismo (Figura 89). Los sedimentos extraídos en los distintos HA presentan una CE que puede clasificarse como alta, clasificándose como suelo salino en general (CE 0.65-1.15 mS/cm; Juárez et al., 2006) y muy salino (>1.15 mS/cm) el extraído de la laguna de reserva del HATP (Punto 3 de HATP). Estos valo-

res altos de salinidad del suelo están relacionados con el origen marino de los mismos, en los que podemos encontrar abundantes restos de conchas marinas.

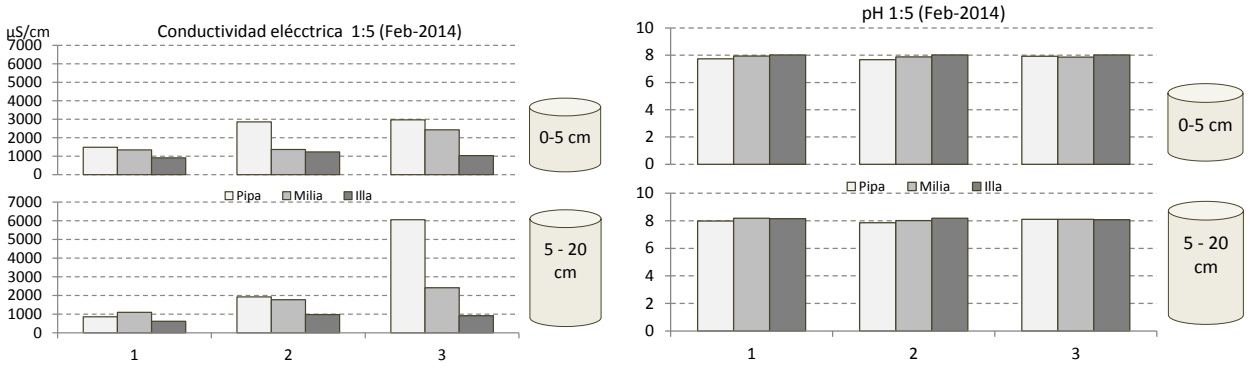


Figura 89. Conductividad eléctrica y pH del sedimento (en extracto con agua desionizada 1:5).

El pH de los sedimentos extraídos está en torno a 8, siendo muy similares todos ellos, por lo que se trata de sedimentos básicos.

Por último, el análisis de la fracción de finos refleja que se trata de un suelo arcilloso-limoso, con un alto porcentaje de finos, en torno al 90% en HATP y HATM y ligeramente inferior (85%) en HATL. No se observan diferencias muy importantes éntrelos distintos puntos, profundidades y HA.

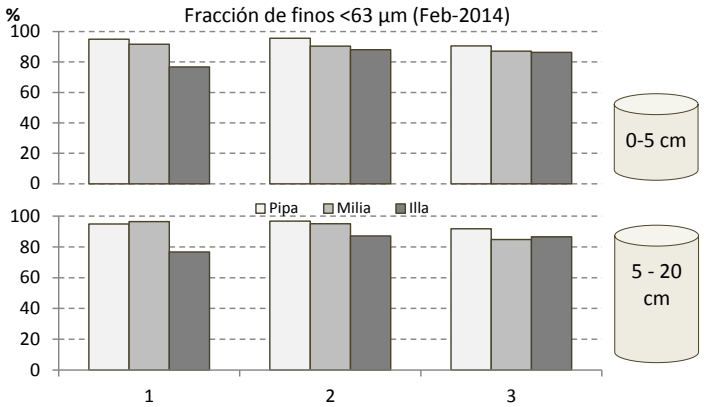


Figura 90. Fracción de finas (%, en peso seco).

3.5 Macroinvertebrados

3.5.1 Listado taxonómico

En este proceso se obtuvieron un total de 144 taxa que se distribuyen en 5 filos, 12 clases, 1 subclase, 24 órdenes, 39 familias, 10 subfamilias, 18 géneros, 2 agrupaciones de especies y 18 especies (las fotos de algunos de los ejemplares encontrados se encuentran en el Anexo 1). A la hora de realizar el listado taxonómico del presente estudio se ha tomado como referencia la informa-

ción científico-taxonómica procedente 2 distintas fuentes: el listado de especies de Catalogue of Life (Roskov et al., 2014) y el de Fauna Europaea (de Jong, 2013). Se aporta a continuación el nombre actualizado para cada taxa recolectado. Entre paréntesis, y en rojo, el nombre del Tancat (PIPA, MILIA o ILLA) en donde se han encontrado.

Phylum CNIDARIA
- Clase HYDROZOA
  - Orden ANTHOATHECATA
    - Familia Hydridae
      - *Hydra* sp. (MILIA e ILLA)
- Clase TURBELLARIA
  - Microturbellaria gr. (PIPA, MILIA e ILLA)

Phylum NEMATODA
- Nematoda spp. (PIPA, MILIA e ILLA)

Phylum MOLLUSCA
- Clase GASTROPODA
  - Orden BASOMMATOPHORA
    - Familia Planorbidae
      - *Ferrissia clessiniana* (Jickeli, 1882) (PIPA, MILIA e ILLA)
    - Familia Physidae
      - *Haitia acuta* (Draparnaud, 1805) (PIPA, MILIA e ILLA)
    - Familia Lymnaeidae
      - *Galba truncatula* (O. F. Müller, 1774) (MILIA)
  - Orden STYLOMMATOPHORA
    - Familia Succeinidae
      - *Oxyloma elegans* (Risso, 1826) (MILIA)

Phylum ANELLIDA
- Clase BRANCHIOBDELLEA
  - Orden RHYNCHOBDELLIDA
    - Familia Glossiphoniidae
      - *Helobdella stagnalis* (Linnaeus, 1758) (ILLA)
- Clase OLIGOCHAETA
  - Orden OPISTHOPORA
    - Familia Lumbricidae (MILIA)
  - Orden TUBIFICIDA
    - Familia Enchytraeidae (PIPA)
    - Familia Tubificidae (PIPA, MILIA e ILLA)
      - *Branchiura sowerbyi* (Beddard, 1892) (ILLA)
    - Familia Naididae (PIPA, MILIA e ILLA)
      - *Chaetogaster* sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
      - *Dero digitata* (Mueller, 1773) (PIPA, MILIA e ILLA)
      - *Pristina* sp. (MILIA e ILLA)

Phylum ARTHROPODA
- Clase ARACHNIDA
  - Orden ACARIDIDA (PIPA)
- Clase BRANCHIOPODA
  - Orden CLADOCERA

Familia Daphniidae
Ceriodaphnia sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Daphnia sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Simocephalus sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Familia Moinidae (MILIA e ILLA)
Familia Ilyocryptidae (PIPA, MILIA e ILLA)
Familia Bosminidae (PIPA e ILLA)
Familia Eurycercidae (PIPA, MILIA e ILLA)
Orden DIPLOSTRACA
Familia Macrothricidae
Macrothrix sp. (MILIA e ILLA)
Clase OSTRACODA (PIPA, MILIA e ILLA)
Clase MAXILLOPODA
Subclase COPEPODA
Orden CALANOIDA (ILLA)
Orden HARPACTICOIDA (PIPA, MILIA e ILLA)
Orden CYCLOPOIDA (PIPA, MILIA e ILLA)
Clase MALACOSTRACA
Orden DECAPODA
Familia Cambaridae
Prochambarus clarkii (Girard, 1852) (PIPA, MILIA e ILLA)
Orden AMPHIPODA
Familia Talitridae
Orchestia stephenseni (Cecchini, 1928) (MILIA)
Clase COLLEMBOLA
Orden PODUROMORPHA (ILLA)
Orden ENTOBRYOMORPHA (MILIA e ILLA)
Orden SYMPHIPLEONA
Familia Sminthuridae (MILIA e ILLA)
Clase INSECTA
Orden ODONATA
Familia Coenagrionidae (PIPA, MILIA e ILLA)
Familia Aeschnidae (ILLA)
Aeshna cf. *mixta* (Latreille, 1805) (MILIA e ILLA)
Orden EPHEMEROPTERA
Familia Baetidae (ILLA)
Baetis sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Baetis pavidus (Grandi, 1949) (ILLA)
Cloeon sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Cloeon dipterum (Linnaeus, 1761) (MILIA e ILLA)
Cloeon simile (Eaton, 1870) (ILLA)
Orden HEMIPTERA
Familia Mesoveliidae
Mesovelia vittigera (Horvath, 1895) (MILIA)
Familia Notonectidae
Anisops sardeus (Herrich-Schaeffer, 1849) (MILIA)
Familia Corixidae

Subfamilia Corixinae (PIPA, MILIA e ILLA)
Subfamilia Micronectinae (PIPA, MILIA e ILLA)
Micronecta scholtzi (Fieber, 1860) (PIPA, MILIA e ILLA)
Orden COLEOPTERA
Familia Noteridae
Noterus sp. (MILIA)
Familia Dytiscidae (PIPA)
Subfamilia Hydroporinae (PIPA)
Hydroglyphus geminus (Fabricius, 1792) (PIPA y MILIA)
Subfamilia Colymbetinae
Ilybius sp. (PIPA y MILIA)
Subfamilia Dytiscinae (MILIA)
Hydaticus sp. (MILIA)
Familia Hydrophilidae
Helochares sp. (PIPA y MILIA)
Enochrus sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Orden DIPTERA
Familia Tipulidae (MILIA)
Familia Limoniidae (PIPA)
Tribu Limoniini (MILIA)
Tribu Eriopterini (MILIA e ILLA)
Familia Psychodidae (PIPA y MILIA)
Familia Culiculidae
Culex sp. (MILIA)
Familia Ceratopogonidae (PIPA e ILLA)
Subfamilia Dasyheleinae (MILIA)
Subfamilia Ceratopogoninae (PIPA, MILIA e ILLA)
Familia Chironomidae
Subfamilia Tanypodinae (PIPA, MILIA e ILLA)
Subfamilia Orthocladiinae (PIPA, MILIA e ILLA)
Subfamilia Chironominae (PIPA, MILIA e ILLA)
Chironomus plumosus gr. (PIPA, MILIA e ILLA)
Familia Rhagionidae
Chrysopilus sp. (MILIA)
Familia Sciomyzidae (ILLA)
Familia Ephydridae (MILIA)
Hydrellia sp. (PIPA, MILIA e ILLA)
Orden TRICHOPTERA
Familia Ecnomidae
Ecnomus tenellus (Rambur, 1842) (ILLA)
Orden LEPIDOPTERA
Familia Crambidae
Acentria sp. (ILLA)

Al margen de los organismos vivos citados en el apartado anterior, cabe informar de la presencia de conchas vacías de diferentes moluscos que podrían considerarse como "presentes pero no capturados" o "desaparecidos" del entorno. Además, en el proceso de triado se han encontrado y

separado varias puestas de oligoquetos y se anotó la presencia de un elevado número de foraminíferos. Todos estos no se han incluido en el listado faunístico al no ser considerados como pertenecientes a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

3.5.2 Análisis de la comunidad de macroinvertebrados.

Una vez realizado el trabajo taxonómico y de identificación de los ejemplares, se ha procedido a la elaboración de los datos de cara al análisis y estudio de la comunidad de macroinvertebrados en los 3 humedales artificiales. Todo ello ha contemplado dos factores: el espacio (los sectores (puntos de muestreo) dentro de cada sistema) y el tiempo (las estaciones). A continuación se presenta un total de 24 gráficas, 8 para cada humedal. Los resultados obtenidos se han ido separando entre muestras bentónicas (TANCATOXb, representado por el conjunto en abundancia de los taxones encontrados en las 3 réplicas, separado por grupos) y epibentónicas (TANCATOXc) del mismo HA.

En detalle, para cada sistema se presentan gráficos para las muestras bentónicas y epibentónicas de cada estación y a continuación se analiza la variación estacional, agrupando todas las muestras (bentónicas antes y epibentónicas despues) en función de la época del año a comparar. Cabe destacar que el enfoque de interpretación de los resultados se centra en el análisis de la distribución en riqueza de los grupos encontrados. Con todo ello, una comunidad más diversificada denotará un mayor equilibrio a nivel ecológico. Por lo contrario, la dominancia de un único grupo (o de unos pocos) en abundancia se valorará de forma negativa, ya que la falta de equilibrio al respecto afecta a la estabilidad del sistema.

a) Tancat de la Pipa

INVIERNO

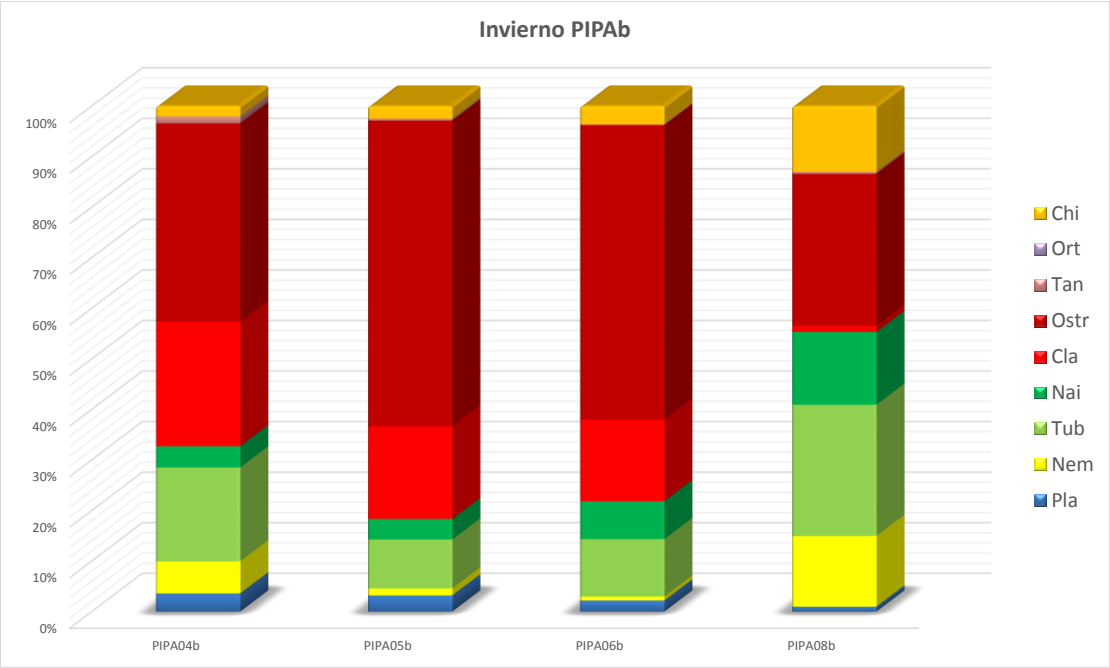


Figura 91. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de la Pipa en invierno.

Los cambios en la comunidad de macroinvertebrados revelan una tendencia al incremento en dominio en abundancia de ostrácodos (sobre todo) y cladóceros conforme pasamos del punto PIPA04 a los puntos PIPA05 y PIPA06. No obstante, es en el punto PIPA08 en donde encontramos la mejor distribución en riqueza de todos los demás sectores (Figura 91).

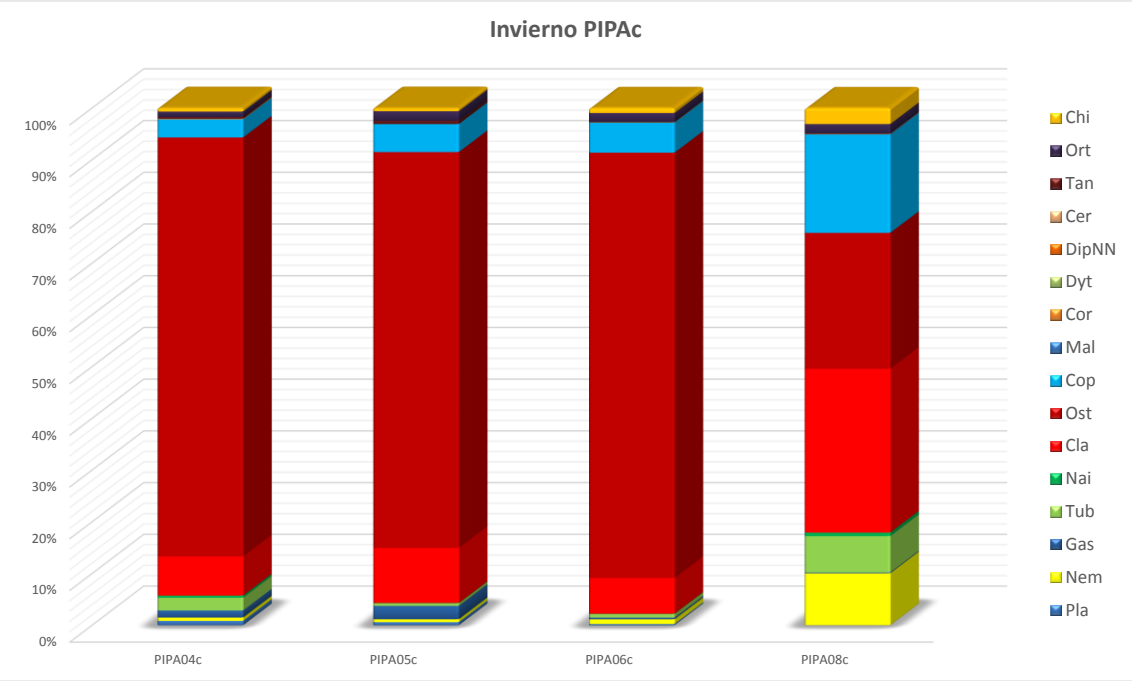


Figura 92. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de la Pipa en invierno.

El análisis de las muestras epibentónicas conforme la dirección del flujo de biodepuración manifiesta una notable mejora del sistema en el último punto de muestreo (PIPA08) (Figura 92).

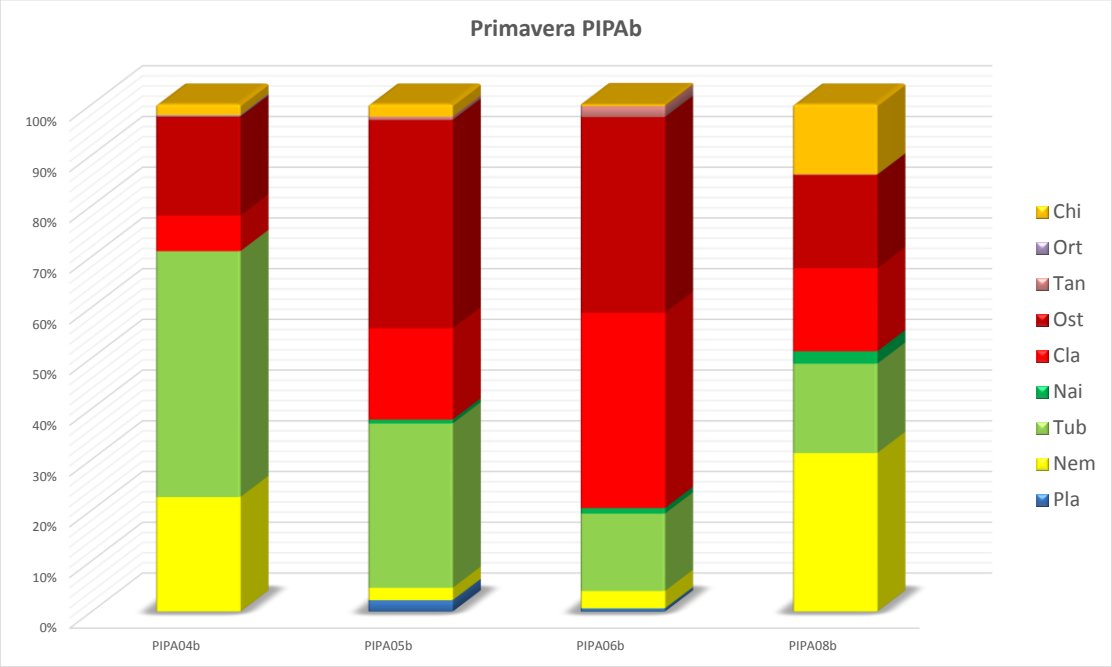


Figura 93. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de la Pipa en primavera.

Conforme pasamos del punto PIPA04 hasta el punto PIPA06 se observa cada vez más un dominio en abundancia de los grupos de ostrácodos y cladóceros (y consecuente empeoramiento de la repartición en abundancia de los demás grupos) (Figura 93). No obstante, un resultado a destacar es la mejor repartición en riqueza dentro de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados para el punto PIPA08.

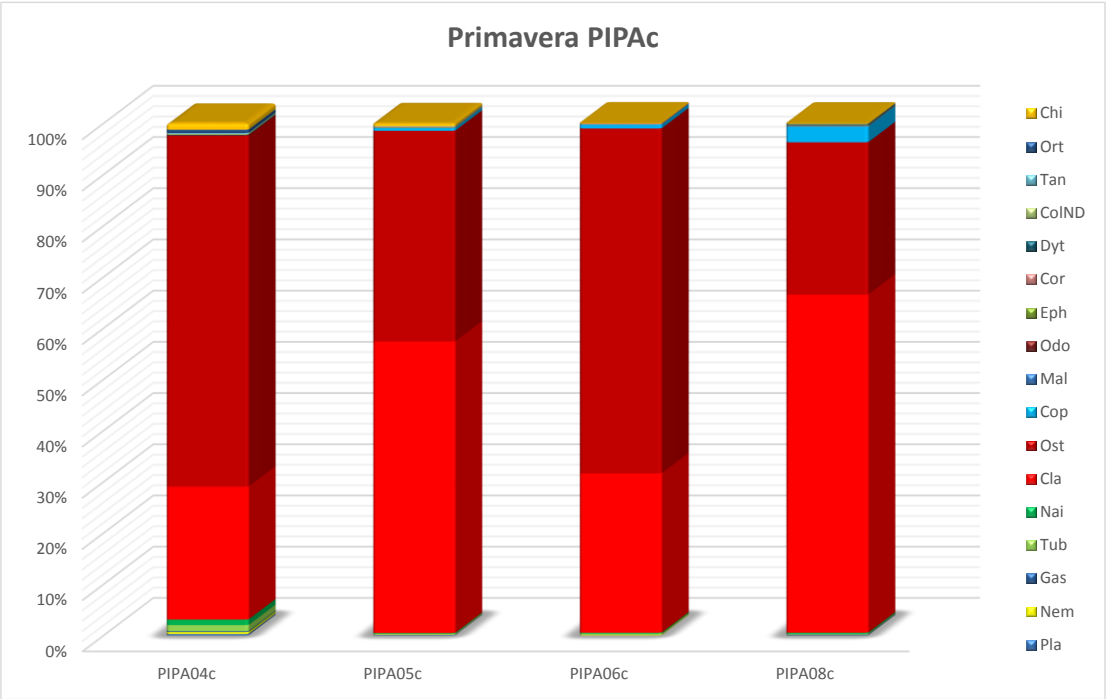


Figura 94. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de la Pipa en primavera.

Se observa una clara dominancia de ostrácodos y cladóceros frente a los demás grupos. Conforme nos acercamos a la salida del agua del humedal artificial no es posible identificar un patrón marcado de mejora de repartición de la riqueza de la comunidad de los macroinvertebrados (Figura 94).

VERANO

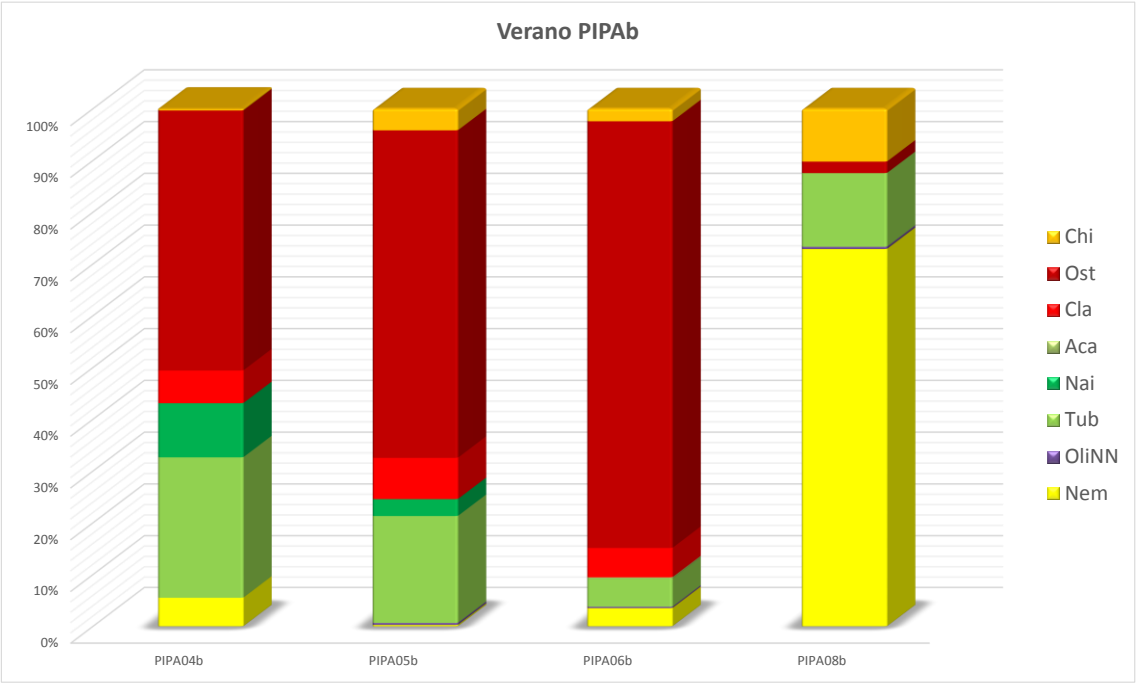


Figura 95. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de la Pipa en verano.

A una clara dominancia del grupo de ostrácodos conforme pasamos del punto PIPA04 al punto PIPA06, se acompaña una brusca inversión de tendencia en la laguna (PIPA08), en donde los nematodos son los mayormente abundantes y con diferencia (Figura 95). Con todo ello, el análisis conjunto revela una mejor repartición en abundancia en el primer sector (PIPA04).

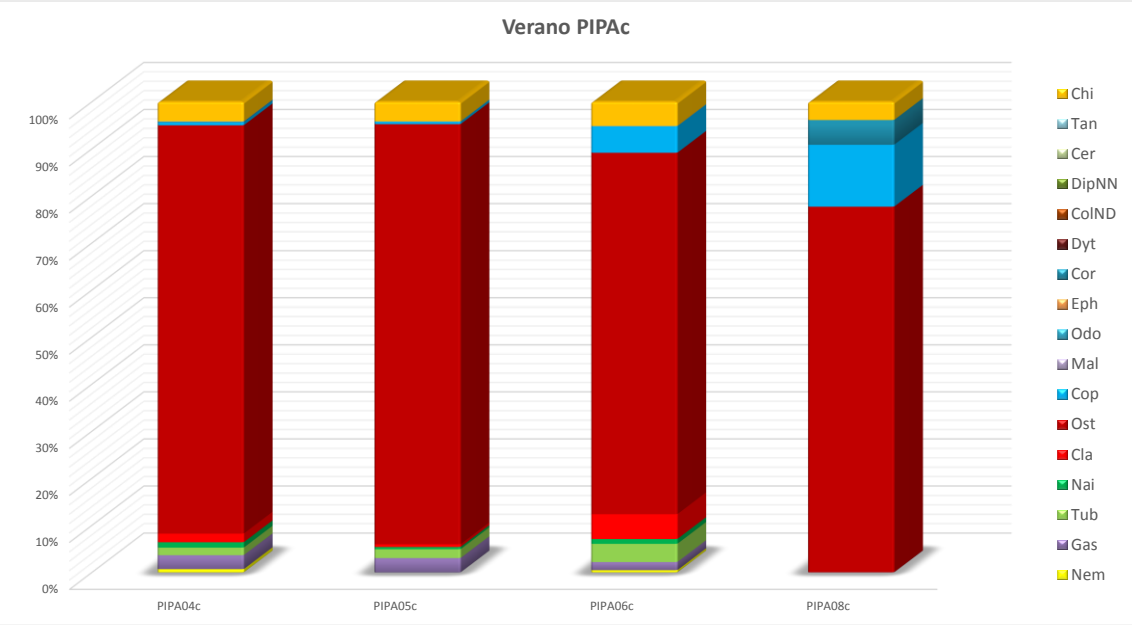


Figura 96. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de la Pipa en verano.

Una vez más destacar la manifiesta dominancia de los ostrácodos a lo largo de los 4 puntos de muestreo epibentónico. El estudio global conforme el flujo de depuración denota una pérdida de diversidad acompañada de una leve mejora en la distribución de la abundancia (Figura 96).

VARIACIÓN ESTACIONAL

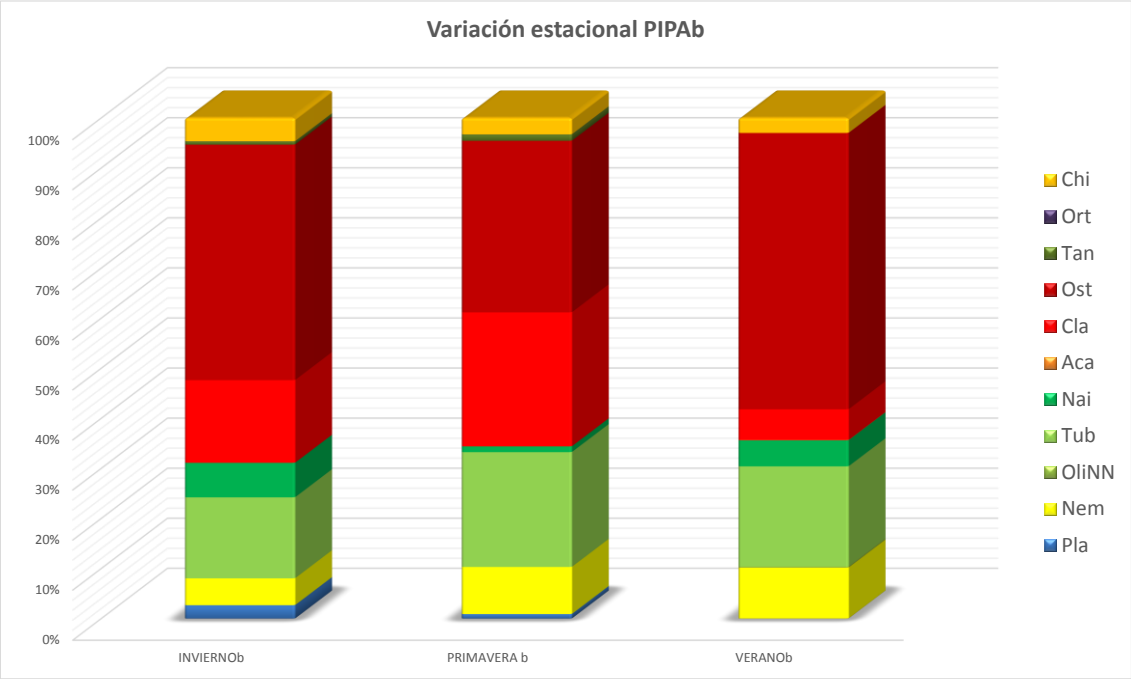


Figura 97. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Tancat de la Pipa para cada estación del ciclo anual (invierno, primavera y verano).

La variación estacional para las muestras epibentónicas no sigue un patrón marcado (Figura 97). Subrayar la importante dominancia de ostrácodos y cladóceros frente a los demás, en todas las estaciones. Las leves diferencias en abundancia para algunos grupos a lo largo del año, no hacen que se pueda identificar una clara tendencia.

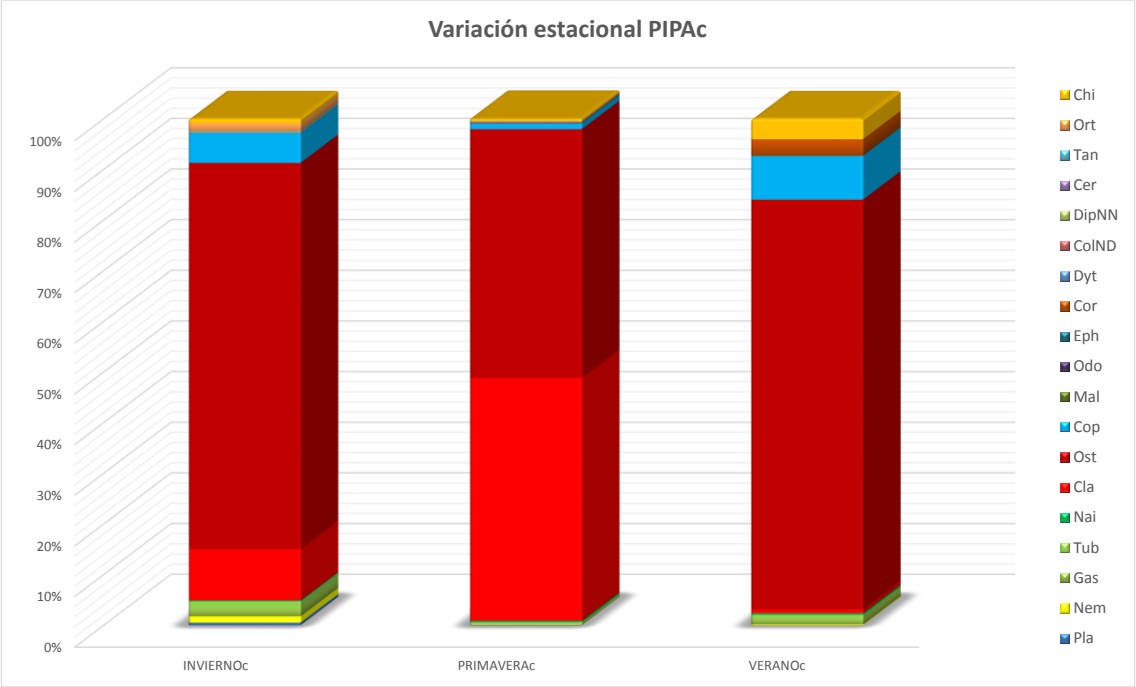


Figura 98. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos del Tancat de la Pipa para cada estación del ciclo anual (invierno, primavera y verano).

Existe un manifiesto dominio de ostrácodos y cladócero a lo largo de las 3 estaciones estudiadas. No obstante, es en la estación primaveral en donde los dos grupos citados están presentes en proporciones parecidas, mientras que en invierno y verano los ostrácodos ocupan el primer puesto en abundancia, y con diferencia (Figura 98).

b) Tancat de Milia

INVIERNO

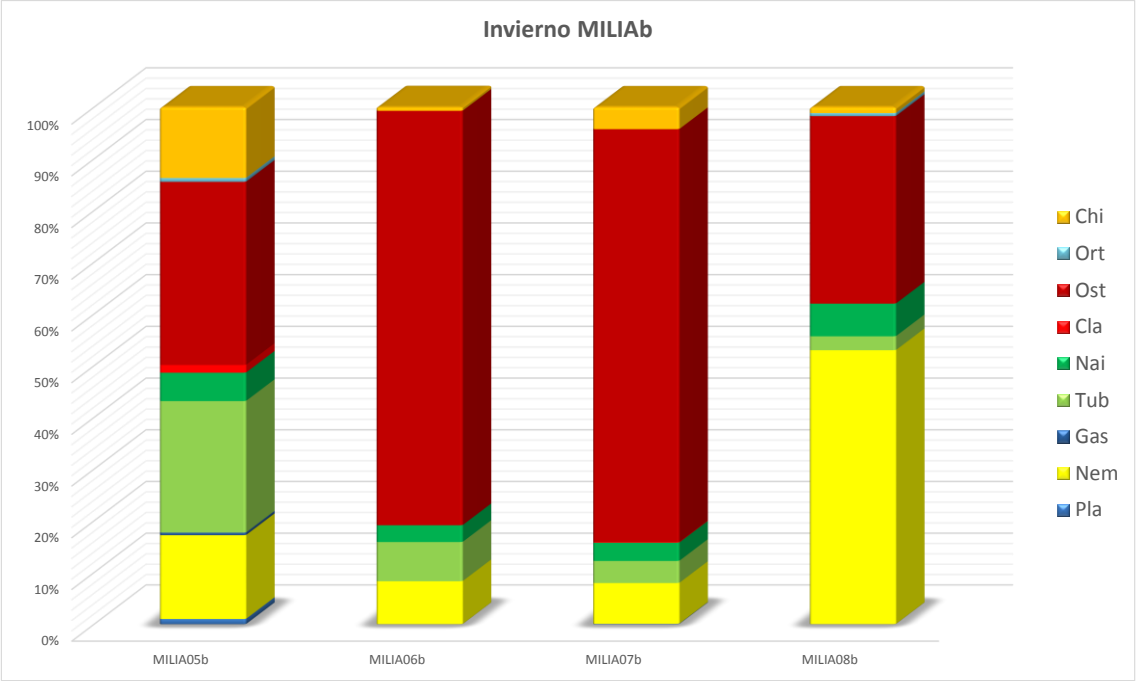


Figura 99. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de Milia en invierno.

La marcada dominancia del grupo de los ostrácodos en los puntos MILIA06 y MILIA07 se contrapone a la notable repartición de los grupos en el punto MILIA05 (Figura 99).Por otro lado, el punto MILIA08 presenta características intermedias entre las dos distribuciones citadas (MILIA06 y MILIA07, respecto a MILIA 05), ya que nematodos y ostrácodos representan los dos grupos más abundantes.

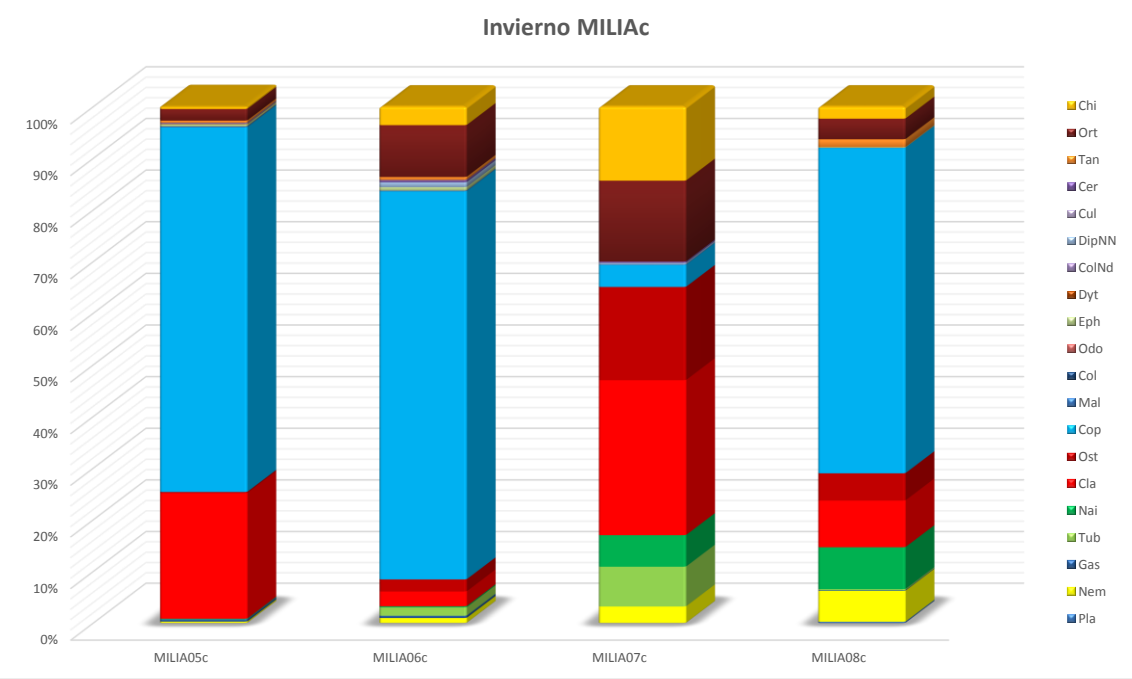


Figura 100. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de Milia en invierno.

Por lo que se refiere a las muestras epibentónicas, en invierno se observa una marcada dominancia del grupo de los copépodos para los puntos MILIA05, Milia06 y MILIA08 (Figura 100). Por lo contrario en el punto MILIA07 tanto la distribución de la riqueza como de abundancia para los grupos encontrados es muy relevante.

PRIMAVERA

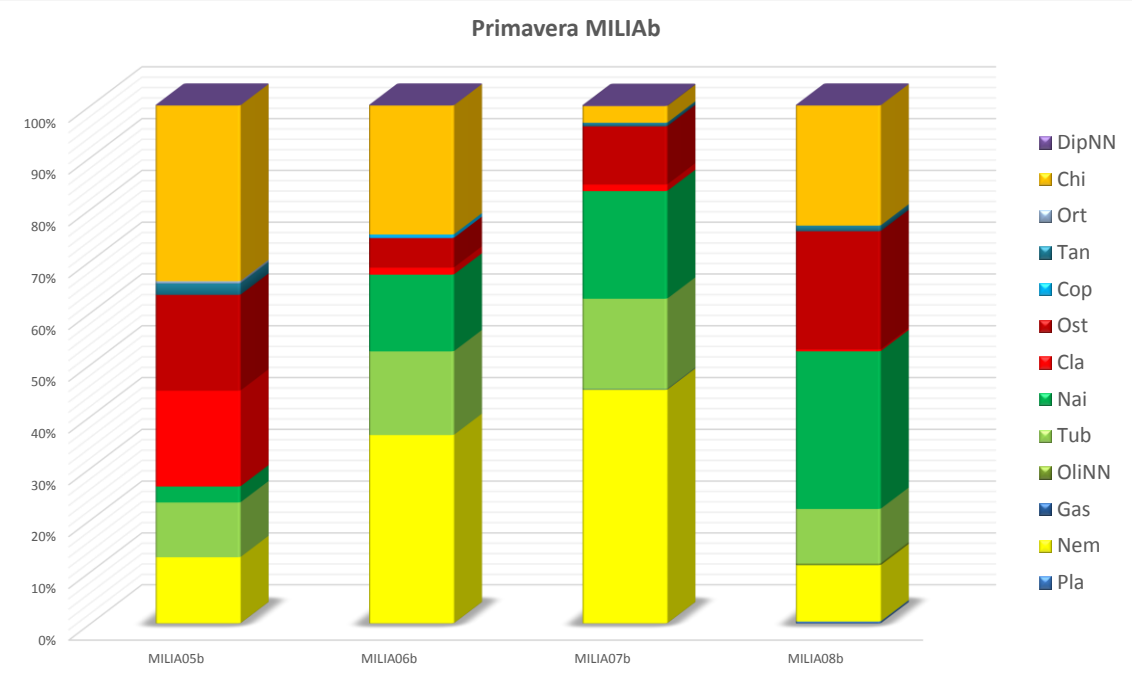


Figura 101. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de Milia en primavera.

No se observa un patrón definido a lo largo del análisis de los 4 puntos de muestreo. En la totalidad de ellos la distribución de los grupos, no obstante sufra variaciones sector tras sector, está bastante repartida (Figura 101).

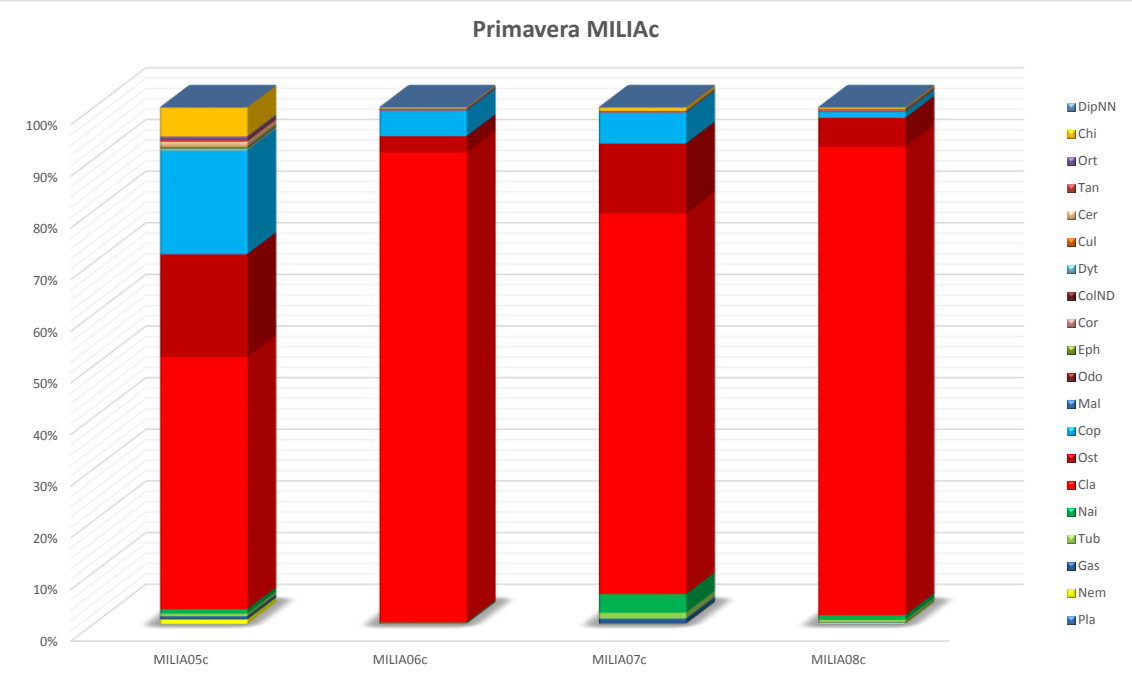


Figura 102. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de Milia en primavera.

Los cladóceros revelan una manifiesta y creciente dominancia en abundancia, marcadamente acentuada a partir del punto MILIA05, este último caracterizado por la mejor distribución en riqueza de todos los puntos muestreados (Figura 102).

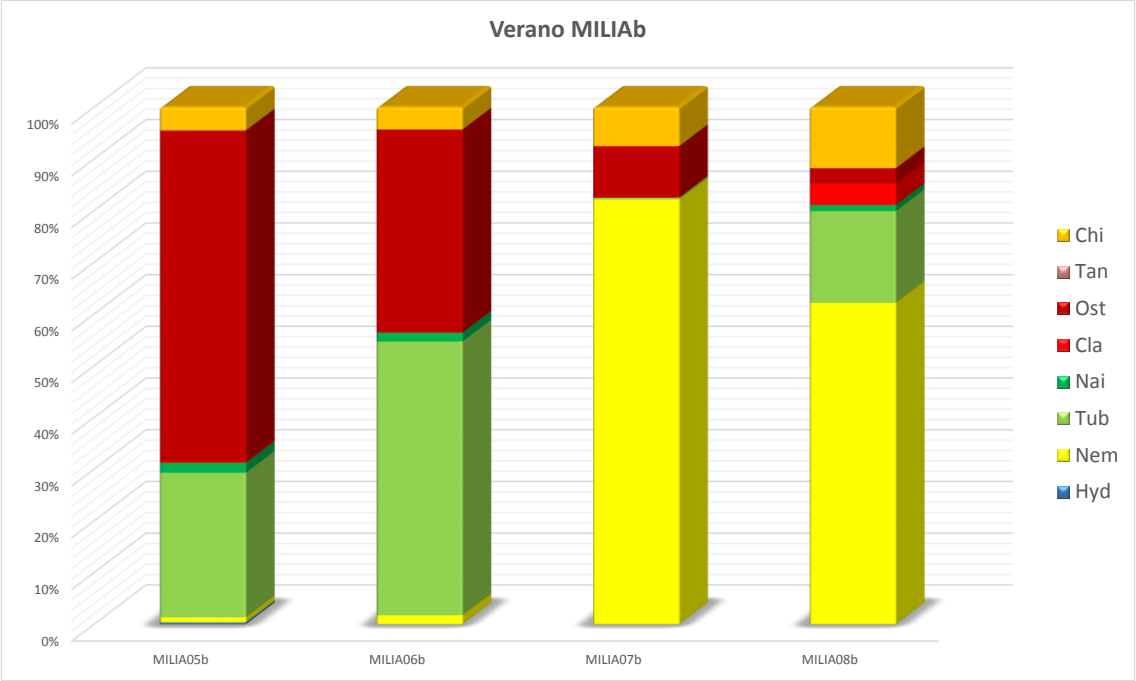


Figura 103. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de Milia en verano.

En el caso del muestreo estival para las muestras bentónicas, se manifiestan dos patrones marcadamente distintos: por un lado los sectores anteriores a la entrada en la laguna (MILIA05 y MILIA06) presentan una comunidad dominada por cladóceros y tubifícidos. En la laguna, son los nematodos los que acaparan la mayor abundancia relativa, de forma más sutil en el punto MILIA08 (Figura 103).

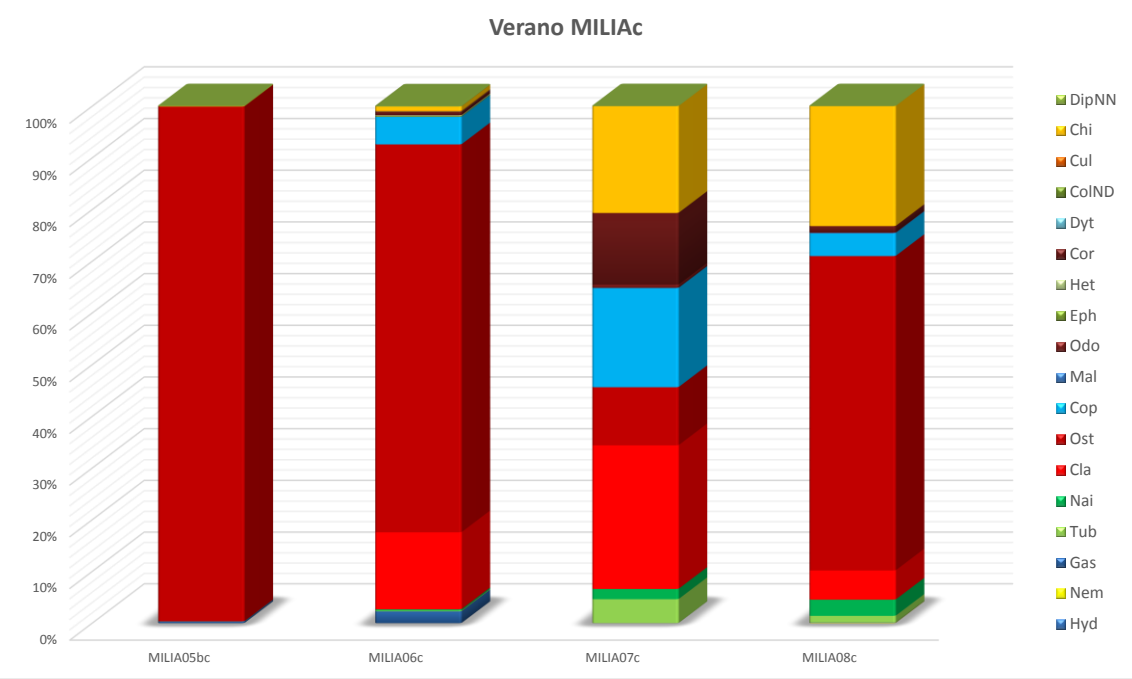


Figura 104. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de Milia en verano.

La laguna (puntos MILIA07 y MILIA08) se caracteriza por una mejor repartición de los grupos, revelando una comunidad más estructurada sobre todo por lo que se refiere al punto MILIA07. Por lo contrario, la dominancia de los ostrácodos en los dos sectores previos (MILIA05 y MILIA06) es el único patrón a destacar (Figura 104).

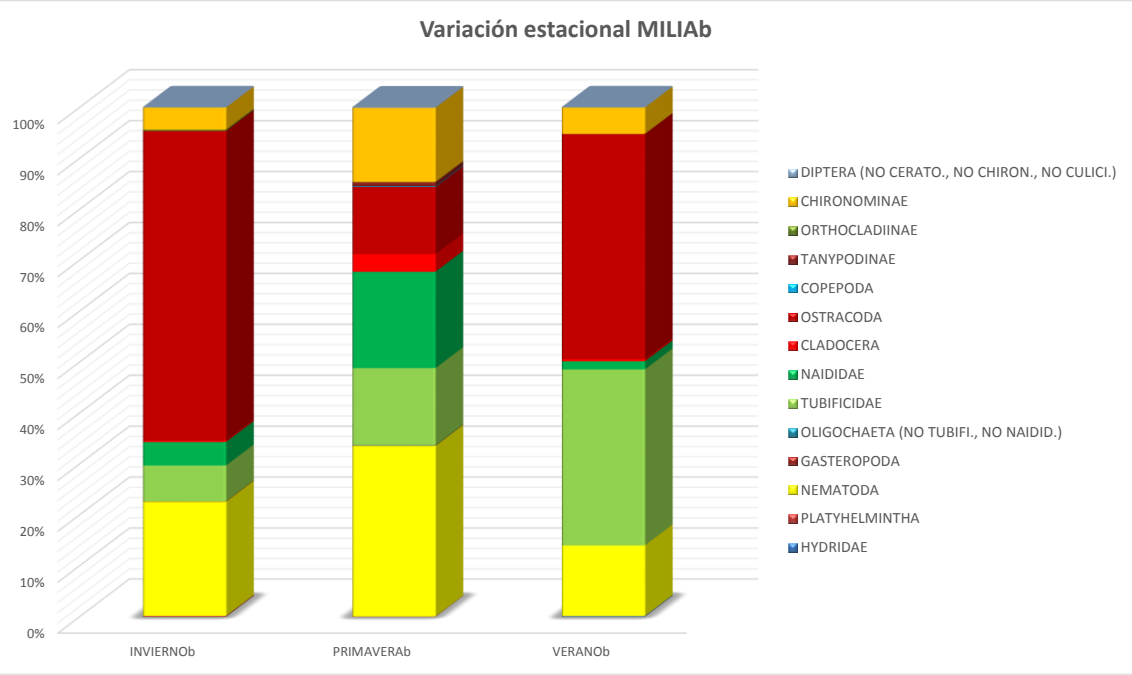


Figura 105. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Tancat de Milia para cada estación del ciclo anual (invierno, primavera y verano).

La estación primaveral es sin duda la que mayor riqueza alberga (PRIMAVERAb) (Figura 105). En esa estación no existe una clara dominancia de ningún grupo, destacando una repartición muy equilibrada. Por lo contrario, la estación invernal, dominada por ostrácodos, y la estival, dominada por tubifícidos y ostrácodos, presenta un mayor desequilibrio.

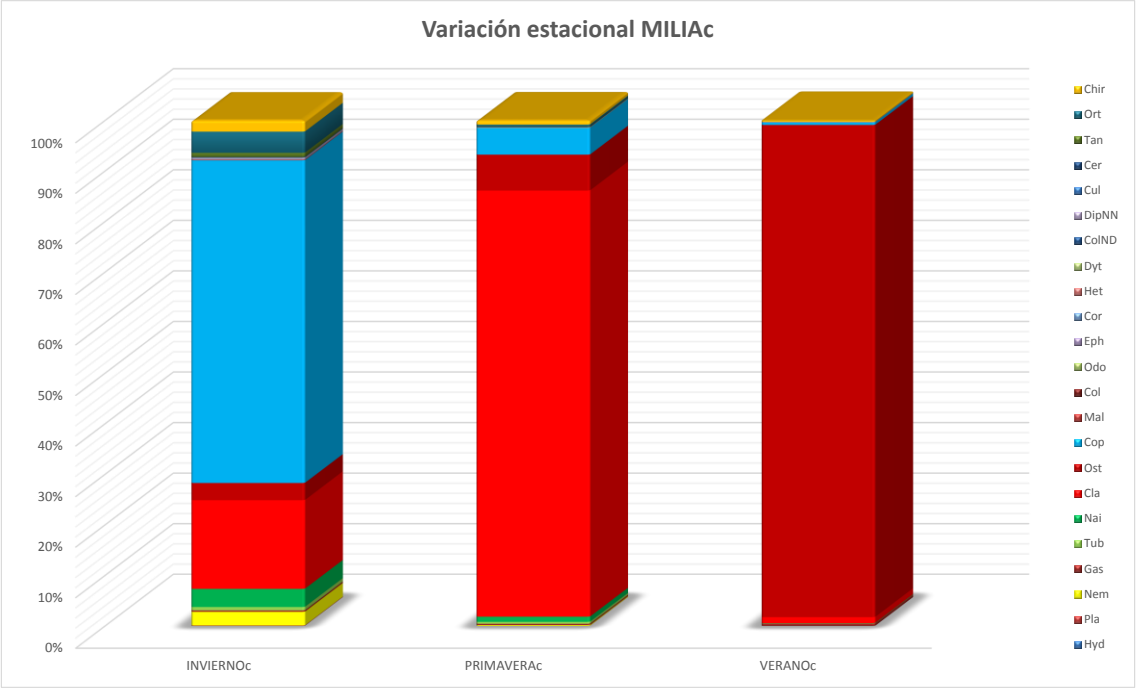


Figura 106. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos del Tancat de Milia para cada estación del ciclo anual (invierno, primavera y verano).

Se observa una casi absoluta dominancia de los ostrácodos en la estación estival. Por lo contrario, en la estación primaveral son los cladóceros los mayoritariamente abundantes. En invierno, no obstante la repartición de la riqueza sea mejor, los copépodos albergan una notable abundancia (Figura 106).

c) Tancat de l'Illa

INVIERNO

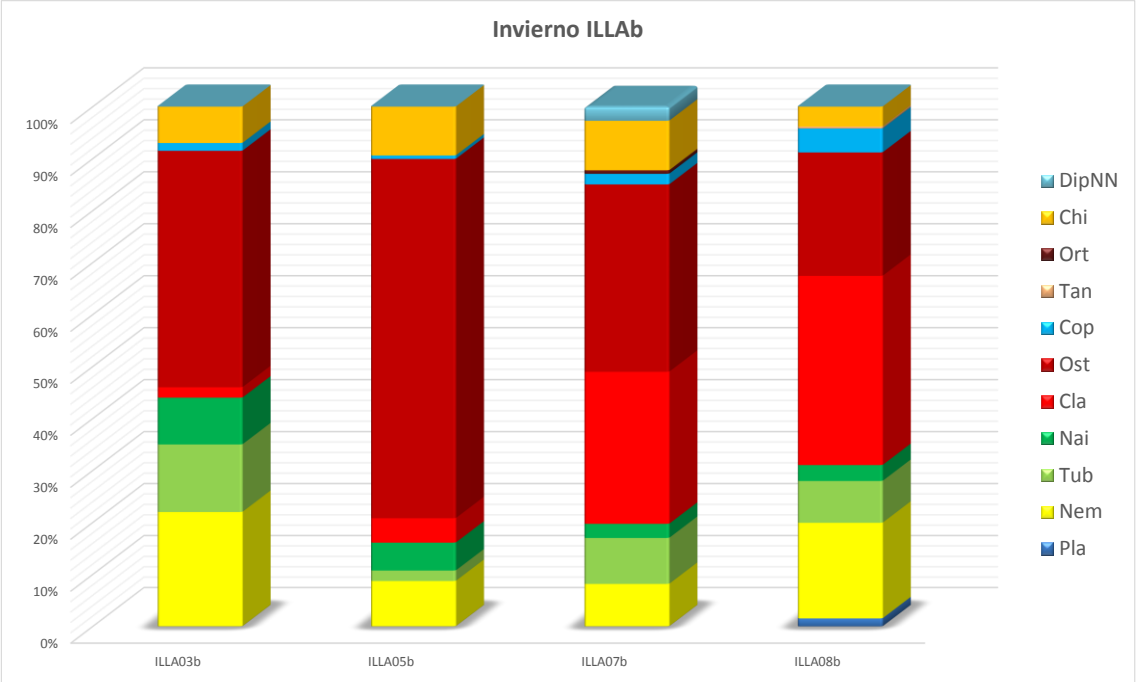


Figura 107. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de l'Illa en invierno.

Los dos últimos sectores antes de la salida del agua del humedal artificial (puntos ILLA07 e ILLA08) (Figura 107) son los que albergan las comunidades mejor repartidas en abundancia de los respectivos grupos. Destacar un leve empeoramiento en el punto de muestreo anterior a los dos citados (ILLA05), en donde existe una clara dominancia del grupo de los ostrácodos.

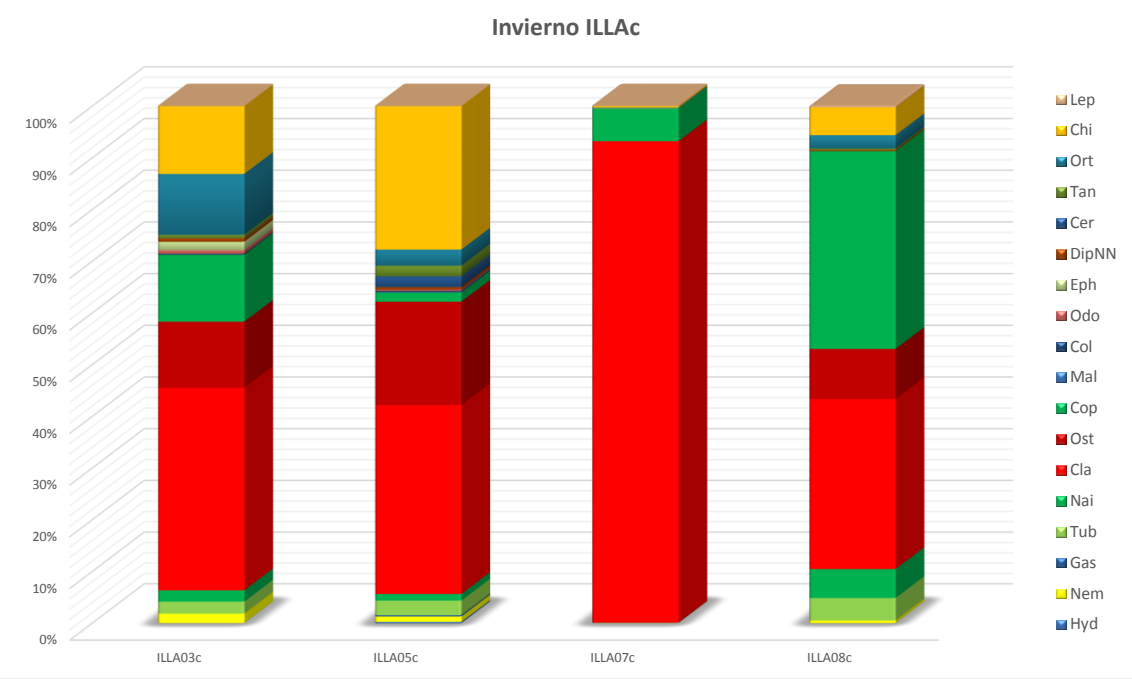


Figura 108. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de l'Illa en invierno.

Analizando las muestras conforme el flujo de biodepuración, los dos primero puntos (ILLA03 e ILLA05) (Figura 108) son los que presentan la mayor riqueza de todo el sistema. Ese patrón es bruscamente interrumpido en el punto siguiente (ILLA07), en donde los cladóceros acaparan la mayor abundancia de forma evidente. Por último, el sistema parece recuperar un mayor equilibrio en repartición de la riqueza en la laguna (ILLA08).

PRIMAVERA

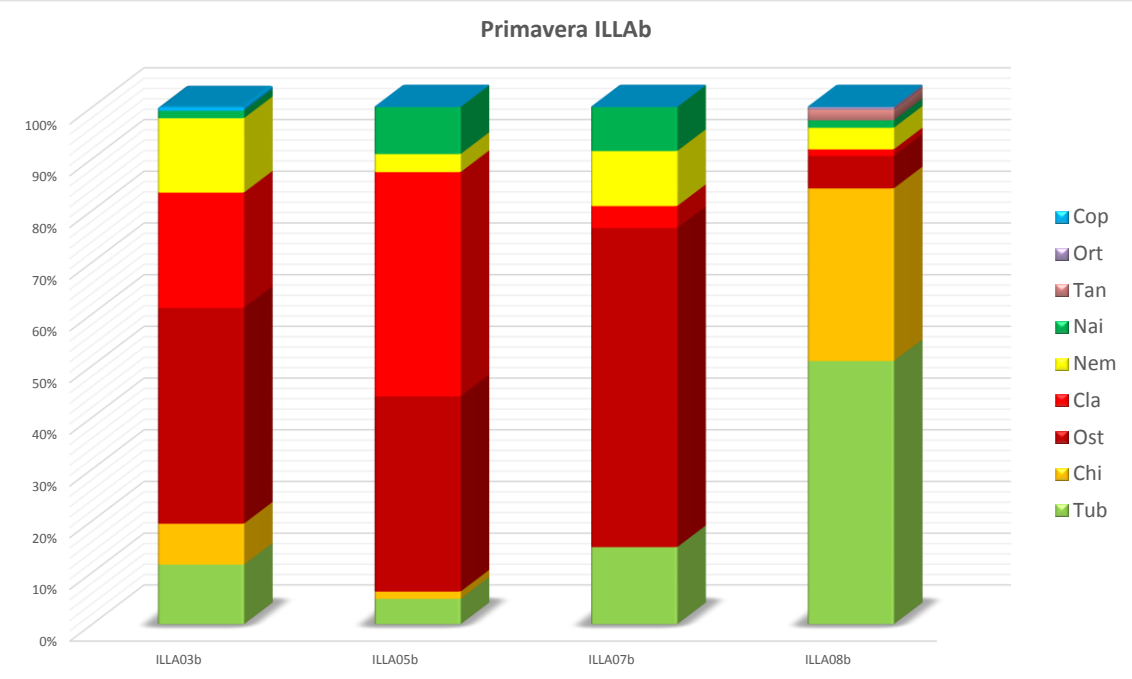


Figura 109. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de l'Illa en primavera.

El análisis secuencial de los puntos de muestreo revela un paulatino empeoramiento en la repartición de la riqueza de la comunidad de macroinvertebrados (Figura 109). Una discreta complejidad del primer sector (punto ILLA08) deja sitio a una absoluta dominancia de quironómidos y tubifícidos en la laguna (punto ILLA08).

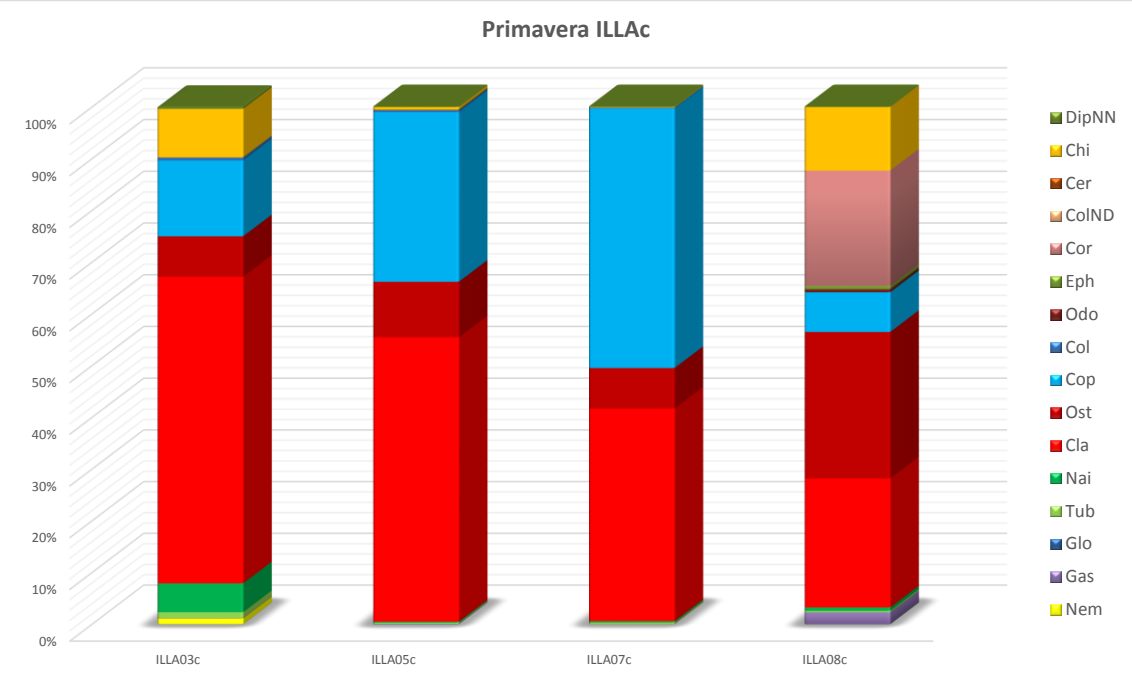


Figura 110. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de l'Illa en primavera.

Se observa un patrón completamente opuesto al analizado en el caso anterior. La laguna (ILLA08) es la que alberga la mayor riqueza. Destacar el empeoramiento de la comunidad de macroinvertebrados en los dos puntos de muestreo centrales (ILLA05 e ILLA07) (Figura 110).

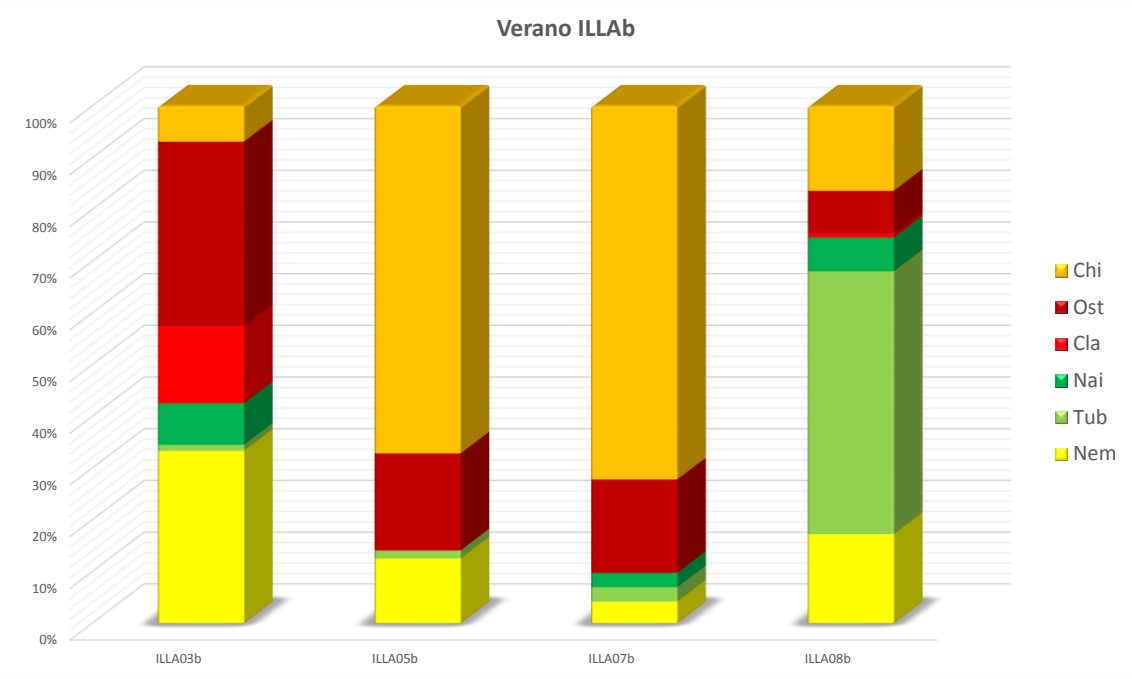


Figura 111. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los sectores del Tancat de l'Illa en verano.

Una vez más los dos sectores centrales del humedal artificial (puntos ILLA05 e ILLA07) son los que presentan una peor repartición de la riqueza, destacando en ambos un claro dominio de los quironómidos (Figura 111). Por otro lado es en los puntos de entrada y salida del agua (puntos de muestreo ILLA03 e ILLA08) en donde encontramos un mayor equilibrio entre grupos.

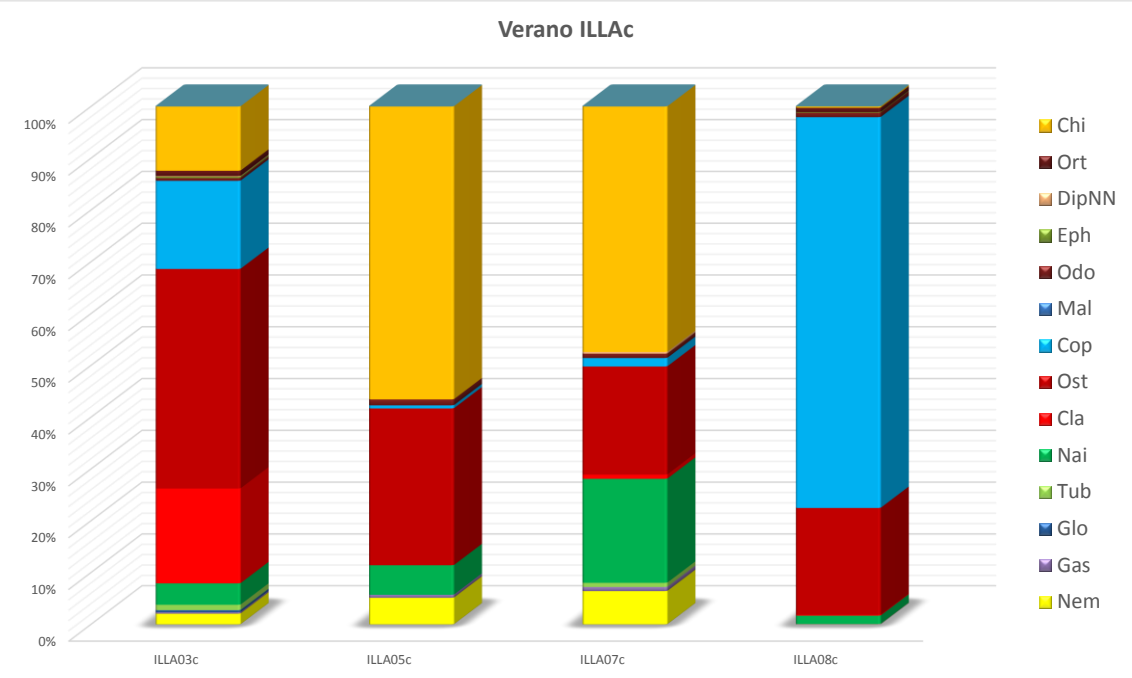


Figura 112. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos en los sectores del Tancat de l'Illa en verano.

Conforme el flujo de biodepuración, para las muestras epibentónicas de la estación estival se detecta un paulatino empeoramiento de la repartición entre grupos de la comunidad de macroinvertebrados (Figura 112). Destacar que el punto con peor equilibrio al respecto el correspondiente a la laguna (ILLA08).

VARIACIÓN ESTACIONAL

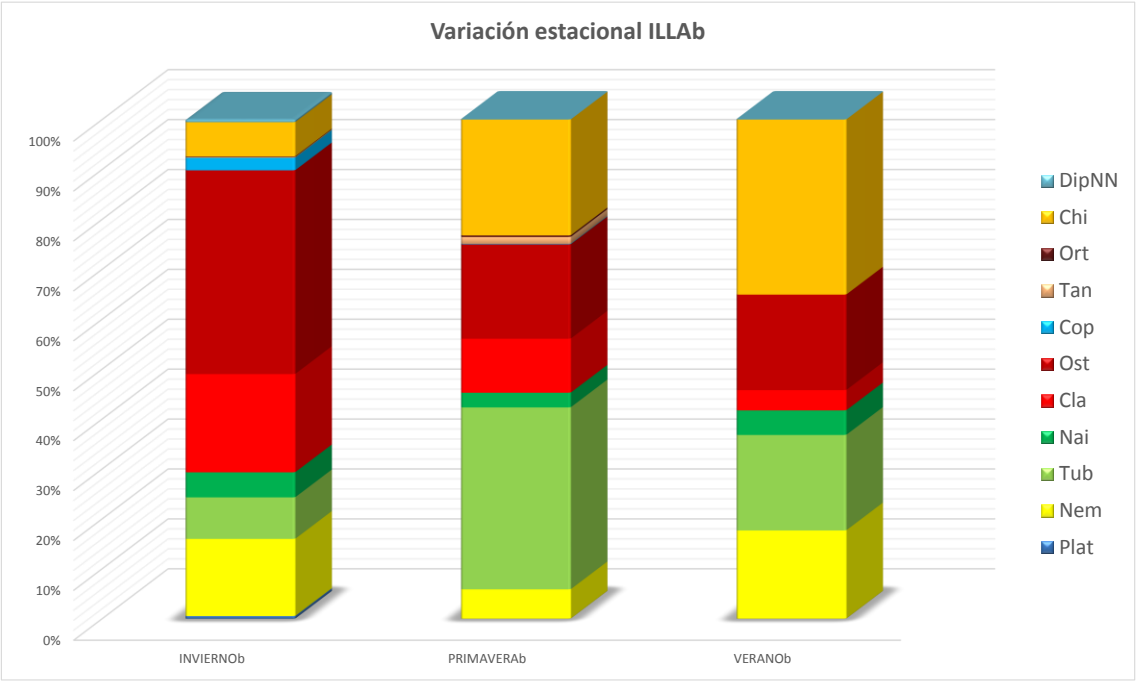


Figura 113. Composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Tancat de l'Illa para cada estación del ciclo anual (invierno, primavera y verano).

Las diferencias en repartición en abundancia de los grupos (Figura 113), no se detectan marcadas diferencias entre las 3 estaciones objeto de estudio para las muestras bentónicas.

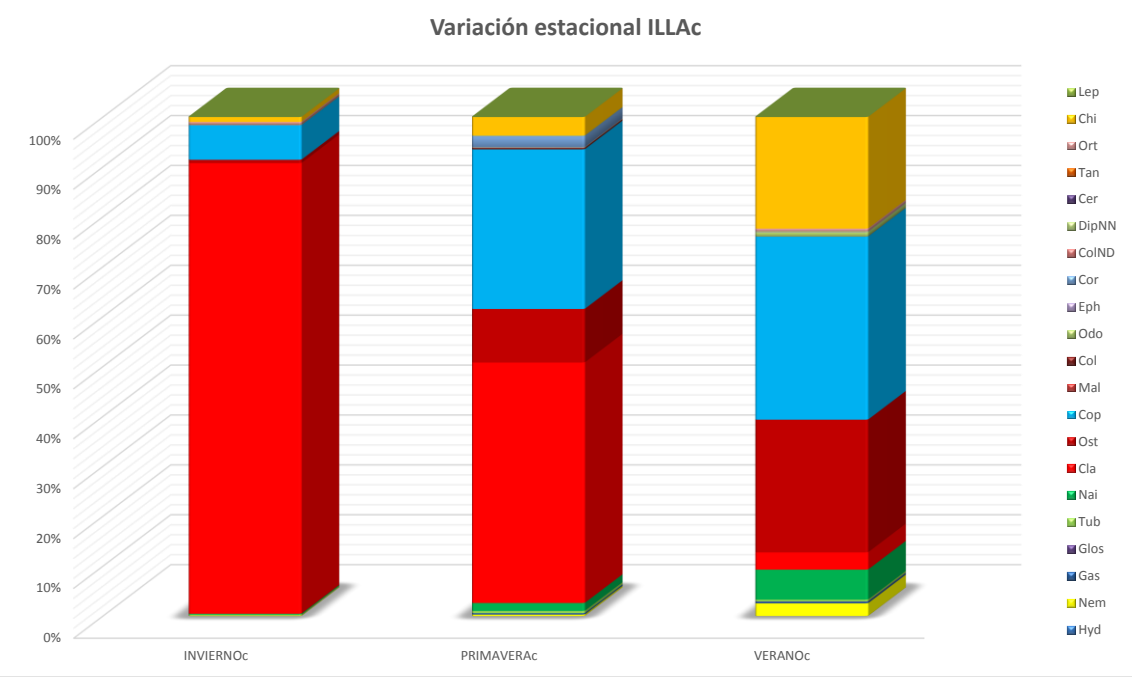


Figura 114. Composición de la comunidad de macroinvertebrados epibentónicos del Tancat de l'Illa para cada estación del ciclo anual (invierno, primavera y verano).

Al contrario que para las muestras bentónicas, en el caso de las muestras de red (epibentónicas), existe una marcada diferencia de repartición de los grupos según pasamos de una estación a otra (Figura 114). En invierno encontramos una clara dominancia del grupo de los cladóceros, difuminada en la siguiente estación primaveral. Por último, subrayar que es en verano en donde la mejor repartición de la riqueza caracteriza el sistema.

4. Resumen y Conclusiones

4.1 Calidad de aguas.

La comparación entre los resultados obtenidos en los tres humedales muestra diferencias que están relacionadas con la estructura y funcionamiento hidráulico de cada uno de ellos. Hay que recordar que sobre este segundo aspecto se decidió que los sectores de flujo superficial operaran con las mismas cargas hidráulicas pero con distintos calados, lo cual daba lugar a distintos tiempos de residencia.

En la siguiente tabla se muestra un resumen del funcionamiento de los principales sectores de cada *Tancat*.

Tabla 17. Tabla resumen del funcionamiento hidráulico y cargas de entrada en cada sistema.

	Carga hidráulica media diaria (m^3/m^2 d)	Calado (m)	Tiempo de residencia (d)	Carga de DQO media diaria ($mg/m^2 \cdot d$)	Carga de NT media diaria ($mg/m^2 \cdot d$)	Carga de PT media diaria ($mg/m^2 \cdot d$)	Carga de SS media diaria ($mg/m^2 \cdot d$)
Tancat de la Pipa							
Sector B (fp)	0.080	0.16	2.3	3221.86	330.41	25.35	3709.69
Sector C (LR)	0.014(*)	0.25	17.9(*)	751.75	28.63	4.21	472.84
Global	0.020(*)	0.21(*)	12.3(*)	498.16	51.09	3.92	573.59
Tancat de Milia							
Sector A	0.080	0.41	3.0	5492.53	342.42	14.24	4391.96
Sector BE	0.043	0.33	8.0	1243.17	76.55	4.36	401.49
Sector C	0.025(*)	0.36	14.8(*)	1387.31	50.83	5.64	960.17
Global	0.011(*)	0.36-0.41	25.8(*)	1163.37	72.53	3.02	930.25
Tancat de l´Illa							
Sector B3	(**)	(**)	(**)	1186.31	95.88	5.04	1061.38
Sector B4	(**)	(**)	(**)	456.90	36.39	2.07	418.21
Sector C	(**)	(**)	(**)	2207.81	71.02	5.94	858.16
Global	(**)	(**)	(**)	541.50	43.59	2.34	487.52

(*) Valores estimados. (**) Valores pendientes de cálculo.

En los comentarios que a continuación se desarrollan, cuando se mencione al *sector A* (humedal artificial de flujo subsuperficial) se referirá exclusivamente al que hay en el Humedal Artificial del *Tancat de Milia*, ya que el *sector A* del *Tancat* de L'*Illa* es inoperativo por su pequeño tamaño.

La primera conclusión interesante es que el *sector A*, es la única tipología de humedal que puede eliminar sólidos en suspensión de forma significativa. El tiempo de residencia estimado en este *sector A* es de unos tres días, tiempo en el que se producen los procesos de sedimentación, intercepción, etc. que reducen el material particulado. Esta gran eficiencia se extiende hacia todas las componentes particuladas de las variables de calidad del agua pero especialmente sobre la materia orgánica particulada.

Comparando los *sectores A* y *B*, resulta claro que en el *sector A* el flujo subsuperficial evita todas las interacciones entre el agua y diversos factores ambientales que sí se dan cuando el flujo es superficial y que pueden dificultar la sedimentación neta de las partículas.

Cuando se trata de sustancias disueltas, la ventaja del *sector A* en su eliminación ya no es tan clara, pero tampoco produce un empeoramiento la calidad. Por ejemplo, la eliminación de materia orgánica soluble (DQO_S) es muy baja en el *sector A* pero, al menos, en este sector no se produce el incremento debido a la descomposición de la biomasa vegetal, que tiende a incrementar la DQO_S. Este incremento se ve muy claramente en los *sectores B* del *Tancat* de L'*Illa* que claramente exportan materia orgánica hacia el *sector C* y también en los propios *sectores B* del *Tancat de Milia*. En un humedal subsuperficial, la materia vegetal en descomposición tiene más dificultad en llegar a la zona de circulación del agua que en uno superficial. Esto no significa que a medio y largo plazo no se pueda observar ese empeoramiento en el *sector A*, pero en un año de operación no se ha producido y sería interesante, aunque en los plazos de este proyecto LIFE seguramente no se va a poder observar, cuándo se empieza a producir este efecto.

Es más, es esperable que dicho empeoramiento de la calidad del agua a la salida del *sector A* también se produzca en un futuro con respecto al fósforo. Hasta el momento, se ha observado que el fósforo total se reduce mucho y además que los fosfatos de entrada y salida son muy bajos. Por ello y por lo comentado sobre la facilidad de eliminación del material particulado en este sector, el fósforo que se está quedando retenido es fósforo orgánico particulado e inorgánico adsorbido. El fósforo orgánico particulado es bioquímicamente mineralizado finalmente a fósforo inorgánico disuelto, que puede ser exportado fuera del *sector A* si la capacidad de adsorción del sustrato se sobrepasa. La consecuencia de este proceso todavía no se observa ya que el fósforo orgánico retenido aún es bajo, pero conforme este aumente con el tiempo, el proceso de mineralización jugará un mayor papel y de ahí la importancia que tiene el carrizo plantado en la extracción de ese nutriente.

El funcionamiento de un sector *B* respecto a la eliminación de materia orgánica depende del tipo de agua y del tratamiento previo que haya tenido. Así, en el caso del HATP, donde el agua de l´Albufera entra directamente al sector *B*, se produce una eliminación de DQO (aunque pequeña). Sin embargo, en el HATM, antes de entrar al sector *B* el agua es tratada en el sector *A*, donde se reduce la concentración de DQO particulada, y por lo tanto el sector *B* no es capaz de eliminar materia orgánica.

Otra conclusión muy interesante es que la eliminación de nitrógeno en forma de nitratos, principal componente del nitrógeno inorgánico, se reduce eficientemente tanto en humedales subsuperficiales como superficiales pero más en estos segundos. Aunque el intercambio de oxígeno con la atmósfera es más intenso en los humedales de flujo superficial y se podría pensar por ello que están mejor oxigenados que los subsuperficiales, la demanda de oxígeno de unos sedimentos cada vez más cargados de materia orgánica reduce el oxígeno disponible. Por otro lado, las aguas no están completamente exentas de fitoplancton, cuya respiración en las horas nocturnas también contribuye a la reducción de oxígeno. Es decir, que de forma natural las condiciones que propician la desnitrificación de los nitratos se dan con mayor facilidad en los humedales de flujo superficial.

La observación de las concentraciones de nitrógeno amoniacal también permite diferenciar la respuesta de los humedales artificiales, tanto por comportamiento de los sectores como de los

propios Humedales Artificiales. El *sector B* de HATP es bastante neutro con respecto a esta variable, el de HATM lo genera, mientras que el de HATLI lo reduce. Por su parte, los *sectores C* de HATP y HATM aumentan el nitrógeno amoniacal mientras que el de HATLI no lo hace. Es especialmente llamativo el incremento que se produce en el *sector C* de HATM, en donde la concentración se multiplica por tres con respecto a la de la entrada y la concentración por evaporación no explica dicho incremento. Sin duda las interacciones con los seres vivos que emplean las lagunas y las zonas no vegetadas de los *sectores B* como hábitat pueden explicar gran parte de ese incremento. Al contrario, la mayor densidad de vegetación en los *sectores B* de HATLI impide grandes densidades de aves y su *sector C* nunca ha estado tan densamente poblado como los de HATP y HATM. Esta interacción seres vivos-agua implica que el *Tancat de Milia* sea un productor neto de nitrógeno amoniacal que exporta a l'Albufera, que el balance sea prácticamente neutro en el *Tancat de la Pipa* y que el *Tancat* de L'*Illa* sea el único de los tres que reduce.

La ausencia de estas interacciones entre seres vivos y agua que se da en el *sector A* facilita la reducción de nitrógeno amoniacal, aunque en porcentajes pequeños ya que tan solo es de un 30% aproximadamente.

Con respecto a los rendimientos obtenidos, en la siguiente tabla se muestran conjuntamente los resultados de los tres humedales con el fin de que puedan ser comparados.

Tabla 18. Tabla resumen de los rendimientos obtenidos en cada humedal artificial.

	Tancat de la Pipa		*Tancat de Milia*		*Tancat* de L'*Illa*	
	Sectores B+C	Global *Tancat*	*Sector A*	Global *Tancat*	*Sectores B+C*	Global *Tancat*
DQO	10	25	57	50	1	1
SS	30	1	82	70	22	22
NT	52	52	59	61	63	63
PT	25	39	54	65	34	34

Se puede comprobar que el Humedal Artificial del *Tancat de Milia* es, y con gran diferencia, el más eficiente de los tres en la eliminación de DQO, SS y PT. Sin duda, la presencia de un *sector A* bien dimensionado es el factor que marca la diferencia.

Es también muy interesante observar que la presencia de un *sector A* no es tan determinante cuando se trata de nitrógeno total ya que en todos ellos el rendimiento está dentro del intervalo 50-65% independientemente de su configuración. De hecho, los resultados mejores de todas las formas de nitrógeno corresponden al *Tancat* de L'*Illa*, cuyos sectores útiles son el *B* y el *C*.

Otro aspecto de interés para la comparación entre los *Tancat*s es el relacionado con el pH y la alcalinidad. De mayor a menor la alcalinidad en los puntos 8 respectivos sigue el orden: HATLI, HATM, HATP y ello se refleja en valores de pH mayores y más variables en este último *Tancat*.

Los cambios en la concentración de oxígeno que se producen los humedales artificiales también muestran pautas interesantes. Todos los sectores tipo *A* y tipo *B* reducen la concentración de oxígeno disuelto, mientras que los sectores *C* la incrementan.

4.2 Sedimentos.

Los sedimentos de los HA presentan elevados contenidos de materia orgánica y nitrógeno total, no observándose un incremento significativo en la capa superficial asociado al uso como sistema de tratamiento. La concentración de nitrógeno nítrico es muy baja, debido a las condiciones reductoras del medio por la permanente inundación y el contenido de materia orgánica. El fósforo soluble en el sector B (fp) del HATP es significativamente superior al resto de puntos de muestreo; no obstante, las concentraciones medidas en dicho sector pueden clasificarse como moderadas. La salinidad de los sedimentos es alta en todos los HA, especialmente en el sector C del HATP. El pH es básico, situándose en torno a 8 en todas las muestras extraídas. En cuanto a la granulometría, se trata de material arcilloso, con un porcentaje de finos en torno al 80% o superior (HATP 90%).

4.3 Macroinvertebrados.

Aunque de manera preliminar, debido al momento en que se encuentra el estudio, podemos destacar algunos aspectos en cuanto a la fauna de macroinvertebrados acuáticos de los humedales artificiales. Los 3 humedales artificiales presentan unos cambios en la composición de comunidad de macroinvertebrados en las diferentes épocas del año. Dicha pauta es consistente con el ciclo estacional de la fauna. El análisis pormenorizado de esos cambios permite detectar mejoras en la calidad ecológica de los sistemas en sus diferentes sectores en todos los humedales. Así el efecto biodepurador de los humedales artificiales queda reflejado en los cambios en la comunidad acuática de forma discreta. Existen patrones diferentes según consideremos el bentos o el epibentos. Por otro lado, el estudio conjunto de ambos es de fundamental importancia para entender el estado actual y potencial de cada uno los 3 sistemas. No obstante, se considera necesario profundizar en el estudio de los factores que marcan las tendencias encontradas.

- Tancat de la Pipa

El análisis de la comunidad para el Tancat de la Pipa muestra pautas interesantes en la fauna de macroinvertebrados. Las muestras bentónicas, como de esperar, albergan una menor riqueza de grupos taxonómicos respecto a las epibentónicas. No obstante, en el estudio detallado de estación por estación, es en el bentos en donde se detectan los mayores cambios de la comunidad de invertebrados. Conforme la dirección del flujo depurador, es en invierno y primavera cuando se detecta una mayor diversidad de taxones en la comunidad bentónica. Por lo que se refiere a las muestras epibentónicas, únicamente en Invierno es donde observamos una tendencia parecida. Por último, el estudio de la variación estacional revela un mejor reparto de la riqueza de taxones a lo largo del año para la comunidad del bentos.

- Tancat de Milia

A diferencia de los demás sistemas, el Tancat de Milia es el único humedal artificial que presenta 2 puntos de muestreo en la laguna (MILIA07 y MILIA08). Esta caracterización del muestreo ha de ser tenida en cuenta a la hora de analizar los resultados obtenidos. Es este humedal también se registra una mayor riqueza específica para las muestras epibentónicas. A diferencia del Tancat de

la Pipa, en este humedal es justamente en las muestras epibentónicas donde se detectan los cambios más significativos. Tanto en invierno como en verano, se observa un mayor equilibrio en la comunidad en el primer punto de entrada a la laguna (MILIA07), mantenido parcialmente en el siguiente punto (MILIA08). Por último, destacar que para las muestras bentónicas la estación primaveral es sin duda la que más riqueza alberga, mientras que para las muestras epibentónicas lo es el invierno.

- Tancat de l'Illa

El Tancat de l'Illa es el humedal donde se detectan más variaciones comunidad de macroinvertebrados conforme avanzamos en el proceso de depuración de agua. Tanto para las muestras bentónicas como para las muestras epibentónicas (una vez más las que mayor cantidad de grupos poseen), la estación invernal presenta una comunidad mayormente equilibrada en el último punto de muestreo (ILLA08). Esa tendencia se confirma en primavera para las muestras epibentónicas y en verano para las bentónicas. Destacar un marcado empeoramiento de la repartición de la riqueza en el tercer punto de muestreo (ILLA07), tendencia encontrada alternadamente en invierno, primavera y verano tanto en bentos como en columna de agua.

5. Referencias.

ALBA-TERCEDOR, J., P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, M. ÁLVAREZ, J. AVILÉS, N. BONADA, J. CASAS, A. MELLADO, M. ORTEGA, I. PARDO, N. PRAT, M. RIERADEVALL, S. ROBLES, C. E. SÁINZ CANTERO, A. SÁNCHEZ-ORTEGA, M. L. SUÁREZ, M. TORO, M. R. VIDALABARCA, S. VIVAS & C. ZAMORA-MUÑOZ. 2004. Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (=BMWP'). *Limnetica*, 21: 175-185.

BRINKHURST, R.O & B.G., M. JAMIESON. 1971. *The Aquatic Oligochaeta of the World*. Oliver & Boyd, Edimburgo. 860 pp.

D.O.C.E. 2000. *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. D.O.C.E. L 327 de 22.12.00. 69 pp.

DE JONG, Y.S.D.M. (ed.). 2013. Fauna Europaea version 2.6. Web Service available online at http://www.faunaeur.org [default citation; compulsory when customised support is given].

Hernández-Crespo C., 2013. Evaluación del contenidos de sulfuros ácidos volátiles y metales extraídos simultáneamente en los sedimentos de l'Albufera de Valencia. Modelación matemática de procesos biogeoquímicos en el perfil del sedimento.

Juárez Sanz M., Sánchez Sánchez A., Jordá Guijarro J.D., Sánchez Andreu J.J. Diagnóstico del potencial nutritivo del suelo. Publicaciones Universidad de Alicante, 2006.

KOTOV, A. A., & F. D. FERRARI. 2010. The taxonomic research of Jules Richard on Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) and his collection at the National Museum of Natural History, USA. *Zootaxa*, 2551: 37-64.

OSCOZ, J., D. GALICIA, & R. MIRANDA. 2011. *Identification guide of freshwater macroinvertebrates of Spain*. Springer.

ROSKOV, Y., T. KUNZE, T. ORRELL, L. ABUCAY, A. CULHAM, N. BAILLY, P. KIRK, T. BOURGOIN, R. E. DEWALT, W. DECOCK & A. DE WEVER A. 2014. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 22nd August 2014. Digital resource at www.catalogueoflife.org/col. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.

RUEDA, J., R. HERNÁNDEZ & C. LÓPEZ. 2005. Evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir del modo de nutrición (IMN) de sus macroinvertebrados. Una adaptación para la educación secundaria. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (19): 103-114.

TACHET, H., M. BOURNAUD & P. RICHOUX. 1987. *Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (Systématique élémentaire et aperçu écologique)*. CNRS Éditions. Paris.

TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNEAUD & P. USSEGLIO-POLATERA. 2000. *Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie*. CNRS Ed. Paris.

Anejo 1. Concentraciones medidas en los puntos extraordinarios (HATP: P9, P10, P11; HATM: P9, P10, P11, P12; HATLI: P9, P10, P11).

En documento aparte.

Anejo 2. Documentación fotográfica de los trabajos de seguimiento de la calidad del agua.

En documento aparte.

Anejo 3. Fichas de laboratorio. Calidad de aguas y sedimentos.