



29 DE JULIO DE 2020

ESTUDIO DE LAS POSIBLES CAUSAS DEL AFLORAMIENTO EXCESIVO DE BIOMASSA VERDE EN EL VASO DE LA LAGUNA DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES, SEVILLA.

JULIÁN LEBRATO MARTÍNEZ. DIRECTOR GRUPO BIOTAR INGENIERÍA. RNM-
159 PAIDI. JUNTA DE ANDALUCÍA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR. C/ Virgen de África Nº7, Cp:41011. Sevilla.



ESTUDIO DE LAS POSIBLES CAUSAS DEL AFLORAMIENTO EXCESIVO DE BIOMASA VERDE EN EL VASO DE LA LAGUNA DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES, SEVILLA.

Tabla de contenido

1. ORDEN DE ENCARGO	5
2. CONSIDERACIONES INICIALES	5
2.1 PROCESOS DE EUTROFIZACIÓN EN LAS MASAS DE AGUA Y EVALUACIÓN.....	5
2.2 Nutrientes que eutrofizan las aguas.....	6
2.3 CALIDAD DE AGUAS SEGÚN APORTES DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA.....	8
2.3.1 MATERIA ORGÁNICA.	8
2.3.2 FÓSFORO.....	8
2.3.3 NITRÓGENO.	9
3. Parque de los Príncipes.	10
3.1 Evaluación teórica de la situación de la laguna:.....	10
4. Hipótesis.....	12
4.1 Hipótesis inicial.....	12
4.2 Dinámica de la <i>Sparganium angustifolium</i> en el estanque.....	13
5. Estrategia de trabajo.	14
6. Puntos de muestreo y determinaciones analíticas in situ y en laboratorio.....	15
6.1 Puntos de muestreo y mediciones in situ:.....	15
6.2 Determinaciones in situ.....	17
6.3 Determinaciones en laboratorio.	19
7. Resultados y discusión.	20
7.1 Resultados y discusión de las determinaciones in situ.	20
7.1 Resultados y discusión de las determinaciones analíticas en laboratorio.	25
7.2 Estudio de la evolución de la laguna y diseño de actuaciones correctoras.....	34
8. Conclusiones.	41
9. Propuestas de actuaciones.....	43
10. Anexos.	44
11. BIBLIOGRAFÍA.....	47



ESTUDIO DE LAS POSIBLES CAUSAS DEL AFLORAMIENTO EXCESIVO DE BIOMASA VERDE EN EL VASO DE LA LAGUNA DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES, SEVILLA.

1. ORDEN DE ENCARGO

Se redacta el presente Informe por encargo del Ayuntamiento de Sevilla. El carácter del informe es Técnico.

El informe se redacta por Julián Lebrato Martínez Licenciado en Ciencias Químicas, Doctor por la Universidad de Sevilla, Catedrático de Escuelas Universitarias y director del Grupo BIOTAR RNM-159, Plan Andaluz de investigación, Desarrollo e innovación, de la Junta de Andalucía, con más de 30 años de experiencia en tratamientos de aguas residuales.

Curriculum

vitae

https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=2324

2. CONSIDERACIONES INICIALES

Primero se van a definir aspectos necesarios en la definición y el estudio de los problemas suscitados en el presente informe.

2.1 PROCESOS DE EUTROFIZACIÓN EN LAS MASAS DE AGUA Y EVALUACIÓN.

La eutrofización es uno de los problemas ambientales más desafiantes que enfrentan los cuerpos de agua superficiales, en la actualidad (Smith and Schindler, 2009)(Li-kun et al., 2017).

Un río, un lago o un embalse, sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes.

Cuando la concentración de nutrientes aumenta en una cuenca, las algas, tanto sésiles (de fondo) como planctónicas (en la masa de agua), crecen en gran cantidad, por lo que el agua se enturbia. Las algas y otros organismos, al morir, se descomponen gracias a la actividad de las bacterias del medio, gastándose oxígeno. También se produce un cambio en la vegetación acuática. Debido a esta disminución de oxígeno, en esta cuenca no podrán vivir bien los peces que necesiten aguas ricas en oxígeno. En estas cuencas encontraremos principalmente barbos, percas y otros organismos de aguas poco ventiladas.

Las algas se desarrollan cuando encuentran condiciones favorables: temperatura, sol y nutrientes.

El desequilibrio del ecosistema y la alteración de la composición química del agua, convierten al medio acuático en inadecuado para los usos recreativos y de otro tipo, y se vuelve inaceptable para el consumo humano (Máster Ingeniería del Agua Universidad de Sevilla, 2012).

2.2 Nutrientes que eutrofizan las aguas

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos, los nitratos y otras formas de nitrógeno (Lowery, 1998)(Gurkan et al., 2006). El fósforo incide mas en la eutrofización en sistemas acuáticos de agua dulce, mientras que el nitrógeno tiene efectos mas acusados en sistemas marinos.

En los últimos 20 ó 30 años las concentraciones de estos compuestos en sistemas acuáticos casi se han duplicado. En el caso del nitrógeno, una elevada proporción, alrededor del 30% llega a través de la contaminación atmosférica. El nitrógeno es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través de suelo o salir al aire por evaporación del amoniaco o por su desnitrificación. El fósforo es absorbido con más facilidad por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión, en suspensión o disueltos por las aguas de escorrentías superficiales.

Los jabones y detergentes han sido a lo largo de muchos años uno de los principales causantes de este problema.



Ilustración 1. Fuentes de contaminación por nitrógeno.

Una de las principales fuentes de contaminación por nitrógeno es la escorrentía procedente de tierras agrícolas, la mayoría del fósforo proviene de hogares, de la industria y de uso agrario en fertilizantes.

Cuando el nitrato es desplazado desde las tierras agrícolas, la contaminación afecta primero a las aguas subterráneas someras y después a las profundas de los acuíferos vulnerables. Esto supone un problema, porque una parte del suministro de aguas de consumo se obtiene de pozos profundos. Donde el agua se obtiene de acuíferos poco profundos y de alta concentración de nitrógeno, habitual en el abastecimiento de

particulares o de pequeñas comunidades, la población puede encontrarse en situación de riesgo.

Desde 1980, la concentración de nitrato ha permanecido más o menos constante en los principales ríos de la Unión Europea. No hay evidencia de que el descenso del consumo de fertilizantes nitrogenados en las tierras agrícolas haya disminuido la presencia de este elemento en las aguas. El fósforo, por el contrario, ha sufrido una disminución en los principales ríos europeos, a causa de la mejora del tratamiento de las aguas residuales y la reducción del contenido en fósforo de los detergentes domésticos.

1. a) Eutrofización natural: Es un proceso que se va produciendo lentamente de manera natural en todos los sistemas acuáticos del mundo, porque todos van recibiendo nutrientes.
2. b) Eutrofización de origen antropogénico: Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo muchas veces en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son:
 - Los vertidos urbanos que llevan detergentes y desechos orgánicos.
 - Los vertidos ganaderos y agrícolas que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfato y nitratos.

Para conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada, se suele medir el contenido en clorofila de algas en la columna de agua, este valor se combina con otros parámetros como el contenido de fósforo y nitrógeno y el valor de penetración de la luz (Máster Ingeniería del Agua Universidad de Sevilla, 2012).

El 'estado trófico' del cuerpo de agua se usa como una descripción del cuerpo de agua para este propósito. Para comprender el estado nutricional de un cuerpo de agua, se usan normalmente los términos oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico. Oligotrófico es el estado de baja concentración de nutrientes y no productivo en términos de vida de animales y plantas acuáticas. Estos lagos tienen muy poca producción de algas y son aptos para beber. El mesotrófico es un nivel intermedio de nutrientes, bastante productivo en términos de vida de animales y plantas acuáticas y muestra el inicio de signos de problemas de calidad del agua. Eutrófico es el estado donde el cuerpo de agua es rico en concentración de nutrientes, muy productivo en términos de vida de animales y plantas acuáticas y muestra signos crecientes de problemas de calidad del agua. Debido al aumento de la carga de algas, el agua se vuelve menos transparente. Hipertrófico es el estado donde prevalecen las concentraciones excesivas de nutrientes, y el crecimiento de las plantas puede estar determinado por factores físicos.

2.3 CALIDAD DE AGUAS SEGÚN APORTES DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA.

2.3.1 MATERIA ORGÁNICA.

La materia orgánica se mide de diversas formas, las dos que se utilizan en este informe son:

Demanda química de oxígeno (DQO): Concentración másica de oxígeno equivalente a la cantidad de dicromato consumida por la materia disuelta y en suspensión, cuando una muestra de agua se trata con este oxidante en condiciones definidas (77004:2002., n.d.).

Demanda bioquímica de oxígeno después de n días (DBOn): Concentración másica de oxígeno disuelto consumida, en condiciones definidas, por la oxidación bioquímica de las materias orgánicas y/o inorgánicas en el agua. n es el período de incubación que es igual a 5 o a 7 (UNE-EN 1899-1:1998).

La medida indirecta de la cantidad de materia orgánica existente en una masa de agua, a efectos de su calidad, es el oxígeno disuelto en el agua, medido en % o en mg/L.

2.3.2 FÓSFORO

Las formas del fosfato surgen de una diversidad de fuentes. Cantidades pequeñas de algunos fosfatos condensados se añaden a algunos suministros de agua durante el tratamiento, y se pueden añadir cantidades mayores de los mismos compuestos cuando el agua se utiliza para lavar ropa u otras limpiezas, ya que son los componentes principales de muchos preparados comerciales para la limpieza. Los fosfatos se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas de calderas. Los ortofosfatos aplicados como fertilizantes a la tierra cultivada agrícola o residencial son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias y, en menor proporción, con la nieve derretida. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos. Son aportados al alcantarillado por los residuos corporales y de alimentos y también se pueden formar a partir de los ortofosfatos durante los procesos de tratamiento biológico o por recibir la carga biológica del agua.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y pueden ser el nutriente limitador de la productividad primaria de un cuerpo en el agua. En los casos en los que constituye el nutriente limitador del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenados agrícolas o ciertos residuos industriales a ese agua puede estimular el crecimiento de micro y microorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades molestas.

Los fosfatos pueden aparecer también en los sedimentos de fondos y en cienos biológicos, tanto en formas inorgánicas precipitadas como incorporados a compuestos orgánicos.

2.3.3 NITRÓGENO.

El amonio (NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-) son las formas iónicas (reactivas) más comunes de nitrógeno inorgánico disuelto en los ecosistemas acuáticos (Howarth, 1988). Estos iones pueden estar presentes de forma natural como resultado de la deposición atmosférica, escorrentía de aguas superficiales y subterráneas, disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, fijación de N_2 por parte de ciertos procariotas (cianobacterias con heterocistos, en particular) y degradación biológica de la materia orgánica (Howarth, 1988). El amonio tiende a oxidarse a nitrato en un proceso de dos pasos ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$) por bacterias aerobioquimiotróficas (Nitrosomonas y Nitrobacter, principalmente) (Sharma and Ahlert, 1977).

El proceso de nitrificación puede ocurrir incluso si los niveles de oxígeno disuelto disminuyen a un valor tan bajo como $1.0 \text{ mg O}_2 / \text{L}$. NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- puede sin embargo ser retirado del agua por macrófitos, algas y bacterias que les asimilan como fuentes de nitrógeno.

Las bacterias anaeróbicas facultativas, por ejemplo, Achromobacter, Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, pueden utilizar nitrito y nitrato como receptores finales de electrones, lo que resulta en la formación final de N_2O y N_2 .

Además de las fuentes naturales, el nitrógeno inorgánico puede ingresar a los ecosistemas acuáticos a través de fuentes puntuales y no puntuales derivadas de actividades humanas.

Un aumento en la disponibilidad ambiental de nitrógeno inorgánico, generalmente aumenta la producción de vida aumentando la abundancia de los productores primarios. Sin embargo, niveles de nitrógeno inorgánico en exceso que no puedan ser asimilados por el funcionamiento de los sistemas ecológicos (es decir, los ecosistemas saturados de N) pueden causar efectos adversos en los organismos menos tolerantes.

Centrándonos en el amoniaco se ve que es muy tóxico para los animales acuáticos, particularmente para los peces, mientras que el amonio no es tóxico o es apreciablemente menos tóxico. La toxicidad del amoniaco para los peces se explica porque, como gas que es, entra por las branquias de manera similar al oxígeno disuelto que respiran, por contra el amonio es una especie química disuelta en el agua y no tiene forma de entrar por las branquias y así no tiene toxicidad para su sistema respiratorio.

Varios factores ambientales pueden afectar a la mayor o menor toxicidad del amoniaco para los peces, los factores más importantes son pH, temperatura, que regulan el equilibrio químico de ambas especies químicas en disolución. La susceptibilidad de los peces puede disminuir debido a la aclimatación a mayores niveles ambientales de amoniaco.

Para proteger a los organismos acuáticos a la exposición de nitrógeno amoniacal, se están estableciendo en todo el mundo directrices y criterios basados en amoniaco o Nitrógeno Amoniacal en lugar de amonio. (Constable et al., 2003).

3. Parque de los Príncipes.

El Parque de los Príncipes está situado en la provincia de Sevilla, España (37°22'26.0''N 6°00'21.2''W) en el barrio de Los Remedios y queda delimitado por la Avenida Blas Infante, Calle Santa Fe, Calle Virgen de la Oliva y Calle Alfredo Kraus.

Este parque lleva dotando de una zona verde al barrio sevillano desde el 23 de Abril de 1973, fechas de su apertura oficial. Su ejecución fue dirigida por Luis Recasens, José Lupiáñez y José Elías.

El parque tiene una extensión de 108.000 m², y esta dotado de suelo con cobertura vegetal, caminos áridos, asfaltados y rías. Entre sus dotaciones también existe centro cívico, varios bares, espacios con elementos de ocio para niños y un estanque con una isla artificial que dispone el agua de riego y un puente que lo cruza en su parte más estrecha. La Sección de Medios Propios del Servicio Municipal de Parques y jardines es la encargada del mantenimiento del parque y del estanque.

El estanque cuenta con un perímetro exterior de 339,75 m y con una isla que tiene otro perímetro exterior de 110,65 m. Tiene también una superficie de 3698 m² y una altura de lámina de agua de 1,50 m.

Lo cual, hace que al multiplicar la superficie de agua por la altura a la que está la lámina de la misma, nos dé unos 4437,6 m³.



Ilustración 2. Imagen del estanque. Google Earth.

3.1 Evaluación teórica de la situación de la laguna:

Revisión histórica

El estanque ha tenido problemas de exceso de algas, en diferentes épocas en las que se ha optado por la solución de vaciado / llenado posterior. Las dos últimas ocasiones han sido en 2017 y en febrero 2020. Pero la eclosión actual de macrófitas es novedosa en la gestión del mismo.

En 2017 se realizó un primer intento de naturalización del estanque con la instalación de escolleras de piedra para soporte de plantas de ribera en algunas zonas del mismo, estas plantas se introdujeron con su maceta de vivero incluida y no se introdujeron otro tipo de plantas también necesarias para una buena naturalización, salvo las plantas de fondo que fueron rápidamente comidas por las aves del estanque.

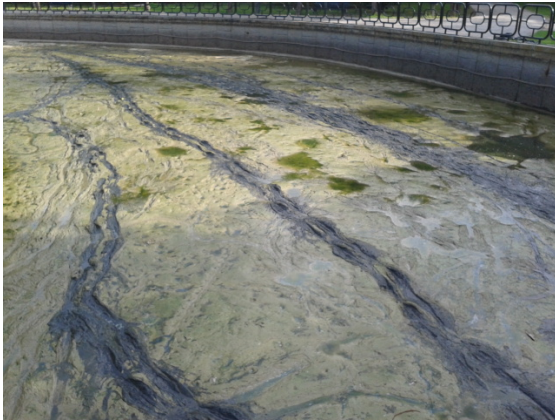


Ilustración 3. Imágenes vaciado del estanque en 2017.

Junio: 2020: Eclosión descontrolada actual de *Sparganium angustifolium* en el estanque del Parque de los Remedios, junio – julio 2020.

Se verifica que esta eclosión es de macrófitas mas que de algas, y se identifica que la planta dominante es la *Sparganium angustifolium*, con floración en julio, agosto y septiembre, *Sparganium angustifolium*.

Se detallan las diferentes fases observadas desde el avistamiento de los primeros ejemplares de la planta:

- 1.- Colonización del fondo por las plantas. No se visualiza desde la superficie, Junio 2020.
- 2.- Eclosión de plantas flotantes. Visualización 19 junio 2020.
- 3.- Plantas fondo mas flotantes avanzando en toda la superficie de la laguna. Visualización 1 de julio 2020.
- 4.- Plantas de fondo, mas flotantes mas algas superficiales sobre flotantes. Visualización 8 de julio 2020.
- 5.- Plantas de fondo mas flotantes mas algas superficiales sobre flotantes mas nuevas plantas sobre flotantes. Visualización 11 de julio 2020.
- 6.- Detención del crecimiento de las plantas flotantes en superficie, Visualización 20 julio 2020.
Que empieza dos días después de limitar drásticamente la alimentación de los animales en la masa acuática, 17 julio 2020.
- 7.- Comienzo del abatimiento y muerte de plantas mas algas soportadas. Visualización 24 julio 2020.

En este estado se encuentra la laguna en el momento de la toma de decisión para retirar todos los flotantes existentes en el estanque. 24 julio 2020.

Los días 27, 28 y 29 de julio se procede a esta retirada de flotantes por Turbepal para evitar que la masa de agua del estanque evolucione hasta los pasos 8, 9 y 10, para evitar que ocurra el colapso y pudrición del agua del estanque.

Las fases siguientes no han llegado a ocurrir hasta el momento de la finalización del presente informe y las actuaciones realizadas y por realizar inciden en que no puedan ocurrir en ningún caso.

8.- Abatimiento y fondeo de todas las plantas mas algas muertas.

9.- Anaerobiosis ligada a la muerte y sedimentación de las plantas mas algas de la superficie.

10.- Putrefacción total del estanque.

Estado de la laguna 10 julio 2020 en la visita a la laguna con la Dirección de Parques y jardines del Ayuntamiento de Sevilla.



Ilustración 4. Imágenes del día 10 de julio de 2020

Conforme pasa el tiempo en el que se realiza este informe se va avanzando en el deterioro de la situación de acuerdo a las fases explicadas anteriormente, con las primeras actuaciones desarrolladas en este trabajo se ha logrado detener el deterioro de la situación en el punto 7, comienzo del abatimiento de plantas y algas soportadas muertas y se han recogido el exceso de flotantes existentes en superficie.

4. Hipótesis.

4.1 Hipótesis inicial

La eclosión de las plantas acuáticas, que aparecen en este caso antes que las algas usuales en episodios anteriores, puede estar ligada a la aparición novedosa de semillas o plantines en la laguna, que han podido ser introducidos por el vaciado de acuarios o introducción de peces de acuario que las contengan, ya que son algunas de las plantas que se utilizan para tal fin porque filtran bien el agua y la transparentan.

Obviamente también pueden ser introducidas por las aves que llegan a la laguna procedentes de diversos entornos donde estén presentes, como los lagos de Sierra Nevada

o de los Pirineos, aunque hay que decir que en estos dos lugares son especies en extinción en sus lagos y lagunas.

4.2 Dinámica de la *Sparganium angustifolium* en el estanque.

El crecimiento subsiguiente de cualquier especie vegetal, una vez instalada en un entorno, depende mayoritariamente de los nutrientes a los que pueda tener acceso en el mismo. El acceso a N, nitrógeno, y P, fósforo, para las plantas en el medio acuático viene dado por los aportes externos al sistema y su biodisponibilidad por su comportamiento químico. En general las plantas y organismos vivos necesitan una proporción 100 partes de Carbono x entre 5 y 10 partes de Nitrógeno x por 1 parte de Fósforo.

Al ser un sistema cerrado los aportes de C, N, y P deben ser introducidos en la laguna por el agua de entrada, alimentación para los animales que llega a la laguna, filtraciones de tierra fértil o del subsuelo por filtraciones o introducciones desafortunadas.

En el caso del P en la laguna existe precipitado como fosfato en sus fondos anaerobios, esta claro que debe disolverse en parte para mejorar su biodisponibilidad a la biomasa verde.

Esta demostrado que el P se disuelve mas fácilmente en el medio acuoso cuando hay ciclos de secado y posterior mojado, esto es importante en este caso de estudio cuando ocurren sucesos como el vaciado / llenado de la laguna de forma próxima en el tiempo.

Por otro lado, el N debe ser introducido en el sistema como ya se ha dicho, pero debe considerarse que en determinadas situaciones puedan existir en la laguna microorganismos como las cianofíceas que pueden capturar el N de la atmosfera. Por ello el crecimiento de biomasa verde, plantas mas algas, tiene el factor limitante en la disponibilidad de fósforo, P, en el medio.

Pero la introducción de N y P en la laguna va acompañada mayoritariamente de C en forma de materia orgánica (en la misma proporción, 100 C / 5 – 10 N / 1 P).

Esta materia orgánica se degrada en el medio acuático por bacterias aerobias mientras existe oxígeno en el medio, conforme se va consumiendo materia orgánica van consumiendo dicho oxígeno y por tanto anaerobizando la masa de agua y así empiezan a trabajar las bacterias anaerobias que dan lugar a metano, ácido sulfhídrico, aminas y otros componentes que dan lugar a la pudrición del agua y a un olor insoportable que delata el problema.

Cuando se llega a este punto de pudrición del sistema ya solo queda la solución de vaciar el estanque y volver a llenarlo, lo que constituye el fracaso total del sistema con unas duras consecuencias: ecológicas para las poblaciones existentes, económicas por sus costes y sociales por el gran carisma de los vecinos al parque y a su estanque.

El oxígeno existente en el medio se mide de dos maneras:

- Oxígeno disuelto: que mide puntualmente la cantidad de oxígeno existente en cada momento, pero debe considerarse que el este es muy poco soluble en agua y además se volatiliza mas fácilmente con el aumento de temperatura y la pérdida es mayor todavía. Debe considerarse que el oxígeno que la biomasa verde (algas mas plantas) solo puede

producirlo en periodos de luz, o sea de día, lo cual limita su nivel en horas nocturnas y puede haber problemas puntuales.

- Potencial redox, este parámetro mide la capacidad de almacenamiento químico de oxígeno del sistema (como si fuera el oxígeno de una bombona de un buzo). A valores altos de potencial hay en el medio acuático una buena cantidad de oxígeno almacenado en el sistema, que así está protegido de las pérdidas puntuales de oxígeno disuelto. Cuando este valor de potencial redox va bajando por diferentes causas, el sistema queda más vulnerable frente a nuevas entradas de materia orgánica que consuman oxígeno y otros factores de pérdida del mismo.

Puede decirse que este parámetro es el que mide la resistencia del medio acuático a la anaerobiosis y posterior pudrición. Con valores positivos los procesos aerobios van bien, pero cuando empiezan a tomar valores negativos hay que tener precaución y vigilar la evolución del sistema.

Alcanzados los valores de potencial redox de -175 mv empiezan los problemas serios de anaerobiosis y aparecen los olores a pudrición. Si baja hasta valores de -400 mv donde ya no tiene solución la masa de agua, totalmente anaerobizada, y solo queda el vaciado y llenado posterior del estanque.

5. Estrategia de trabajo.

Se busca establecer el camino de la materia orgánica y de los nutrientes, N y P, en la laguna, y para ello se van a estudiar seguidamente:

Los aportes externos a la laguna, que se clasifican en dos tipos diferentes:

- Aportes externos, debidos a acción humana directa:

Una vez comprobado y descrito inicialmente en este trabajo el crecimiento desmesurado y continuo de la biomasa verde en forma de macrófitas primero y después de algas en la laguna:

- En una primera observación sobre el problema puede deducirse que la entrada de nutrientes en la misma es **continua**, ya que la enorme cantidad de biomasa verde desarrollada debería haber limitado los nutrientes de la laguna en algún momento, lo que indica que deben existir aportes regulares y periódicos de materia orgánica y nutrientes a la misma por causas exógenas al sistema lagunar.

La primera idea base de actuación debe ser la localización y el corte drástico de estos aportes.

- Aportes externos debidos a actuación humana indirecta:

Entre los aportes debidos al propio entorno del sistema lagunar deben estudiarse aquellos que puedan sumarse a los existentes usualmente antes de la eclosión, en definitiva, evaluar que ha cambiado en la laguna antes y después del último vaciado de abril 2020 en cuanto a nutrientes que puedan entrar en la misma.

Una vez evaluados los posibles aportes novedosos a la laguna, se propone estudiar el estado de las macetas de las plantas de ribera sembradas entre las piedras en el vaciado/llenado de 2017 con la tierra de vivero, rica en nutrientes, en su maceta.

Puede haber ocurrido que al secarse en el vaciado/llenado posterior de 2020 empiecen a resquebrajarse las macetas con la acción del sol y la humedad y se rompan, de manera que en el tiempo posterior, ya rota la maceta, vaya saliendo materia orgánica, N y P al medio en cantidades importantes.

Esto concuerda con la súbita expansión de dichas plantas de ribera observada en este entorno de tiempo estudiado entre el último vaciado/llenado 2020 y la eclosión de macrófitas en la laguna en estudio.

Las filtraciones desde las paredes, isla y laguna y del suelo conectan indeseadamente el suelo del Parque con el agua de la laguna, no es un hecho diferencial antes y después del vaciado de febrero 2020, pero puede ir en aumento con el tiempo y sumar entrada materia orgánica en la masa de agua.

Esta consideración se agudiza si se considera que en el vaciado / llenado de 2017 se dotó a la laguna de escolleras perimetrales con piedras que, en su mayoría, se volcaron directamente con la dumper sobre el vaso seco de la laguna, por lo que muy posiblemente se producirían grietas en la solera que pueden ir aumentando con el tiempo.

La entrada de materia orgánica, N y P, por la cascada lateral de la laguna debe ser poco importante, pero se estudiará y se verá de cortar los ciclos seco / mojado que últimamente son bastante frecuente y facilitan la solubilización del P existente.

El balance de N y P de las aves que viven en la laguna debe ser equilibrado si se respeta su alimentación de las plantas de ribera de la misma, ya que más o menos eliminan comiendo lo que producen y aportan en sus defecaciones.

Las aves de paso por el estanque pueden variar este equilibrio, pero su aportación deberá compensarse con las medidas que tomemos, ya que no se desea limitar el papel de la laguna como lugar de apoyo a la migración anual de dichas aves.

En todo caso debe verificarse y propiciar que las aves se alimenten cerrando el ciclo con las plantas de ribera de la propia laguna, sin alimentación externa que sume nutrientes al sistema y por tanto propicie crecimiento de biomasa verde no controlada.

La entrada de hojas de árboles cercanos al estanque aporta materia orgánica, N y P, pero es un factor usual del sistema todos los años y no es novedoso de este momento y debe ser, de nuevo, compensado por el sistema diseñado al efecto.

En todo caso se hará un recorrido perimetral por el estanque para visualizar los puntos críticos, si los hay, para plantear la poda de los árboles que puedan afectarlo.

6. Puntos de muestreo y determinaciones analíticas in situ y en laboratorio.

6.1 Puntos de muestreo y mediciones in situ:

Previo a definir los puntos de muestreo y de las mediciones in situ, se realizó un estudio visual de la zona de afección y para definir la evolución del estado de la masa de agua en las diferentes zonas del estanque y se plantearon 2 campañas de toma de muestras y de mediciones in situ, separadas entre ellas por seis días para poder seguir la evolución de la laguna en el tiempo.

Campaña 1: día 14 de julio de 2020. Mediciones in situ.

Parámetros medidos: Oxígeno disuelto, conductividad, redox, temperatura, fangómetro. Se realiza un mapeo de 31 puntos distintos a lo largo de todo el estanque, estratificados en superficie, medio y fondo donde es posible, con un total de 333 determinaciones in situ en la primera campaña.



Ilustración 5. Puntos de mediciones in situ, en los puntos que fue posible se midieron los parámetros en superficie, medio y fondo.

Campaña 2: día 20 de julio de 2020. Mediciones in situ y recogida de muestras para su determinación en laboratorio.

Parámetros medidos in situ: Oxígeno disuelto, conductividad, redox, temperatura, nivel de fangos de fondo.

Parámetros determinados en laboratorio: nitrógeno total, amonio, fosfato, nitrito, DQO, Sólidos Totales.

Se realiza un mapeo de 13 puntos distintos a lo largo de todo el estanque, estratificados en superficie y fondo.

En total fueron 129 determinaciones in situ en la segunda campaña y 203 en laboratorio. Con un total de 665 sumando las dos campañas de muestreo y mediciones in situ.



Ilustración 6. Puntos de mediciones in situ y toma de muestras, en los puntos que fue posible se midieron los parámetros en superficie y fondo.

6.2 Determinaciones in situ.

Los parámetros medidos in situ han sido OD, Redox, Conductividad y temperatura y nivel de fangos en el fondo.

Determinación de conductividad eléctrica (CE):

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen los iones presentes en disolución acuosa para producir corriente eléctrica. La conductividad que varía en función de la temperatura, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza.

Las sales minerales (sustancias inorgánicas, ácidos, bases) son en general, buenas conductoras. Por el contrario, los compuestos orgánicos que no están disociados tienen escasa conductividad. La conductividad eléctrica de las aguas superficiales suele encontrarse en el intervalo entre 200 y 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, mientras que las aguas subterráneas presentan valores algo mayores, entre 500 y 1.500 $\mu\text{S cm}^{-1}$. El intervalo de conductividad para las aguas residuales urbanas oscila entre 1 y 4 mS cm^{-1} .

La CE se determina utilizando un equipo multiparamétrico Hach HQ40D, con sonda Intellical CDC401, célula de conductividad de grafito de 4 polos, para uso en laboratorio, cable de 3 metros.

Determinación de Oxígeno disuelto (OD):

El medidor de oxígeno se utiliza para medir la cantidad de oxígeno disuelto en líquidos. Normalmente se utilizan dos escalas de medición: partes por millón (ppm); o porcentaje de saturación (%), que se define como el porcentaje de oxígeno disuelto en 1 litro de agua, respecto la cantidad máxima de oxígeno disuelto que puede contener 1 litro de agua. Es necesario determinar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua porque es un indicador de la calidad del agua. Así es importante, por ejemplo, controlar las aguas residuales urbanas e industriales donde las concentraciones bajas de este parámetro son un signo de contaminación (Hanna, n.d.).

El OD se determina utilizando un equipo multiparamétrico Hach HQ40D Electrodo Intellical de oxígeno disuelto óptico/luminiscente para laboratorio (OD), LDO101, cable de 3 metros.

Determinación de Redox:

Así como el pH nos sirve para evaluar la capacidad del agua de reaccionar como ácido o como base con las sustancias con las que se encuentra en contacto, el potencial redox nos ayudará a evaluar su capacidad para reaccionar como oxidante o reductora ante una sustancia que se encuentre en ella. Un agua con potencial redox elevado tenderá a comportarse como un agente oxidante mientras que si tiene un potencial negativo tenderá a actuar como reductor.

Ya que las reacciones redox son inherentemente más lentas, se puede encontrar con medios en los cuales el equilibrio químico tarde en alcanzarse o donde exista una variación local en las mediciones de potencial redox; por ejemplo, en los sedimentos de los medios acuáticos puede predominar un ORP significativamente distinto y más negativo que en las aguas superficiales. En algunos de estos casos, donde existen gradientes o estados no estacionarios, la ausencia de estabilidad en la medición no debería interpretarse como deriva del instrumento.

Ya que la concentración de oxígeno disuelto influye tanto en el potencial redox mismo como en el tipo de reacciones biológicas que predominan en el agua residual, un electrodo para medir ORP constituye un buen medidor en línea para monitorear y asegurar que las reacciones deseadas ocurran en el reactor biológico; por ejemplo, la generación de sulfuro de hidrógeno ocurre en un intervalo de -250 a -50 mV, la formación de metano, de -400 a -175 mV y la degradación aerobia de desechos orgánicos a potenciales de +50 a +250 mV (Microlab, n.d.).

Determinación de pH:

La determinación electrométrica del pH se basa en la medida de la actividad de los iones de H⁺ por mediciones potenciométricas utilizando, un electrodo indicador de vidrio y tampones de pH 4 y 7.

Un pH elevado indica una baja concentración de iones H⁺, y por tanto un medio alcalino. Por el contrario, un pH bajo indica la acidificación del medio. Dado que los principales microorganismos involucrados en este proceso trabajan de forma óptima en un rango de pH de 7-8, éste debe mantenerse cercano a la neutralidad.

Se ha utilizado un pH-metro CRISON GLP 21+ que contiene una sonda portátil CRISON (5200T), el calibrado se realiza diariamente con dos tampones.

El pH depende mucho de las horas de insolación solar y si esta en un rango de 7 a 11 la masa de agua no tiene problemas ligados a esta determinación.

Fangometro, medida de fangos en el fondo:

Se trata de una varilla de vidrio hueca, o de metacrilato, de poco diámetro que introducida en la masa de agua hasta el fondo del estanque permite hacer una inspección de la columna de agua a todo lo largo de la masa acuática y definir el nivel de fangos existentes en el medio.



Ilustración 7. Fangómetro con muestras de la laguna del Parque de los Príncipes, tomadas el día 8 de julio 2020 en el entorno de la sobrealimentación observada y en zonas diferentes de la misma no sometidas a dicha presión de nutrientes.

6.3 Determinaciones en laboratorio.

Sólidos Totales (APHA, 1998):

Es la característica física más importante del agua residual. El término engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Es un parámetro bastante importante en el control de procesos físicos y biológicos.

El contenido en materia sólida del agua residual está formado por varias fracciones que engloban tanto los sólidos orgánicos como inorgánicos.

Determinación Nitrógeno Total, Fosfato, Nitrito, Amonio, Demanda Química de Oxígeno:

La determinación de estos parámetros se realiza por espectrofotometría mediante el espectrofotómetro DR3900 de Hach y los kits:

Cubeta test para nitrógeno total, de 1 a 16 mg/L de NTb LCK138 Hach

Cubeta test para amonio, de 0,015 a 2,0 mg/l de NH₄-N LCK304 Hach

Cubeta test para fosfato (ortofosfato/fosfato total), de 0,05 a 1,5 mg/l de PO₄-P LCK349

Cubeta test para nitrito, de 0,015 a 0,6 mg/l de NO₂-N LCK341

Cubeta test para nitrato, de 5 a 35 mg/l de NO₃-N LCK340

Cubeta test para DQO, de 15 a 150 mg/L de O₂ LCK314

7. Resultados y discusión.

7.1 Resultados y discusión de las determinaciones in situ.

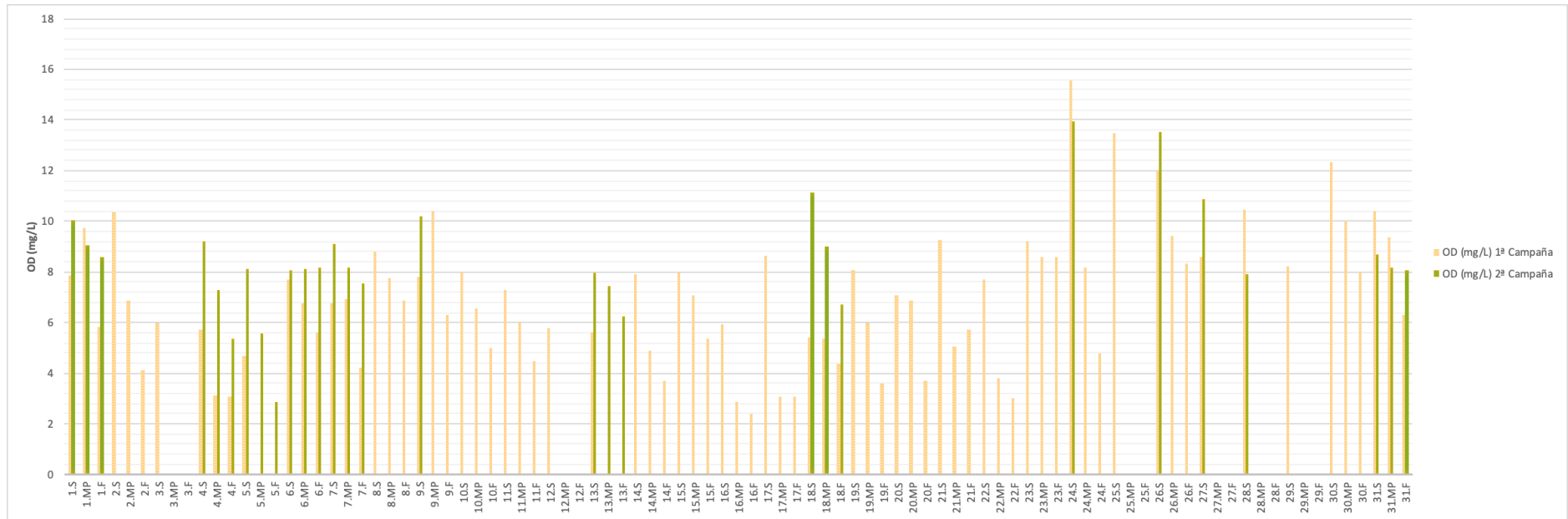
Fangómetro:

Estudio de fondos con un fangómetro: En la primera campaña de mediciones in situ del 14 de julio 2020, se ha hecho un estudio de fangos existentes en el fondo, en todos los puntos de análisis con el fangómetro y no se ha detectado ninguna zona con exceso de fangos. El análisis es visual, pero muy indicativo y preciso.

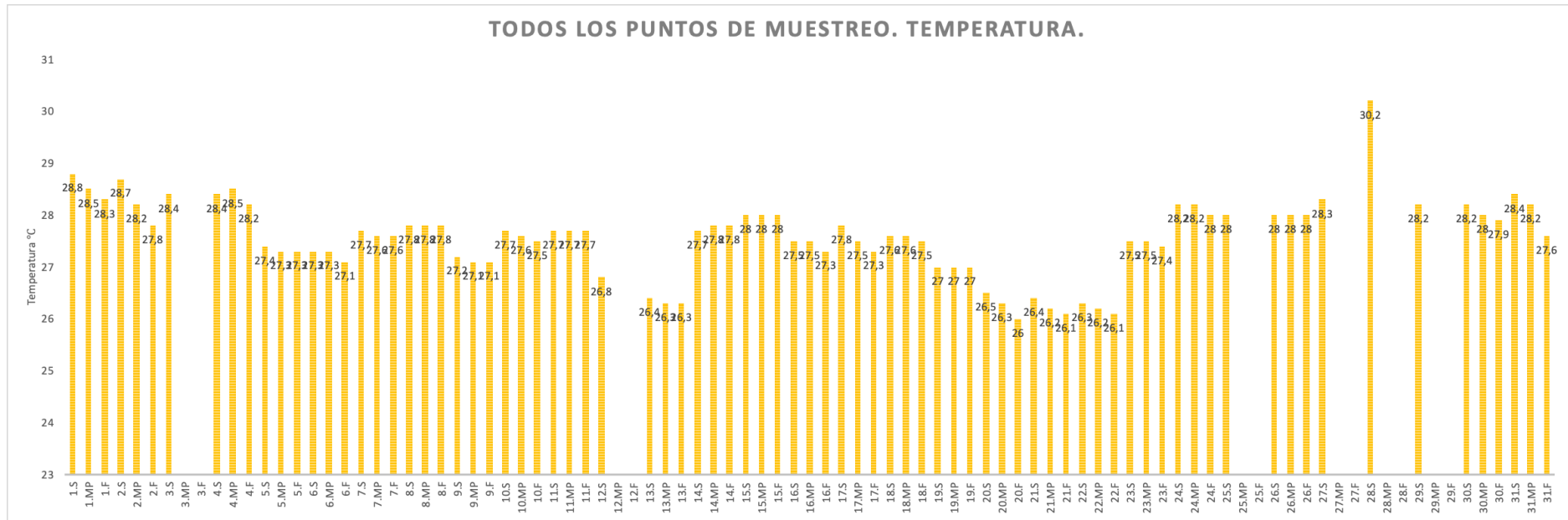
Solo se ha encontrado una muestra de fango negro anaerobizado, en poca cantidad, en una medida en el punto 7 y eso dirigió a un muestreo repetido en puntos muy cercanos, que ya no dieron mas que muestras sin fangos.

Esto indica que en esa zona ha podido haber un punto de alimentación de comida a la masa de agua, este dato es concorde con los datos excesivos de C, N y P en dicho punto y con el seguimiento visual realizado a los vecinos que realizan la alimentación masiva por dicho punto.

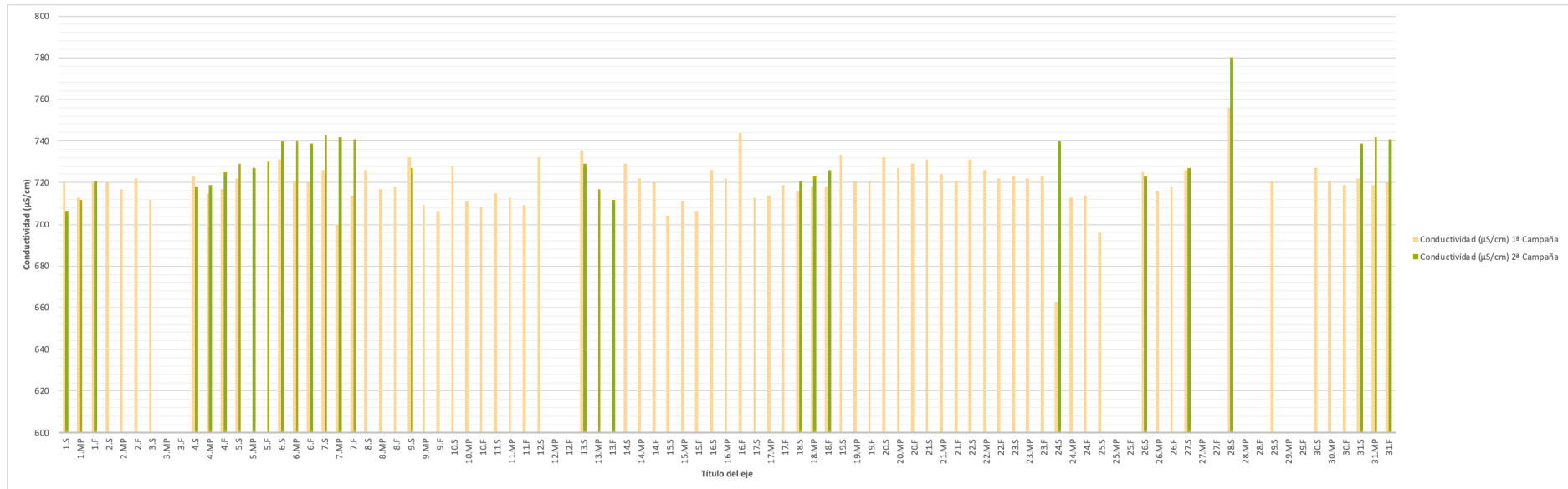
En las siguientes gráficas se representan los valores obtenidos de los parámetros oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica y redox en los diferentes puntos de estudio, así como en las dos campañas de mediciones, en color amarillo se representan los valores de la campaña 1, correspondiente al día 14 de julio de 2020 y en color verde se representan los valores obtenidos en la campaña 2.



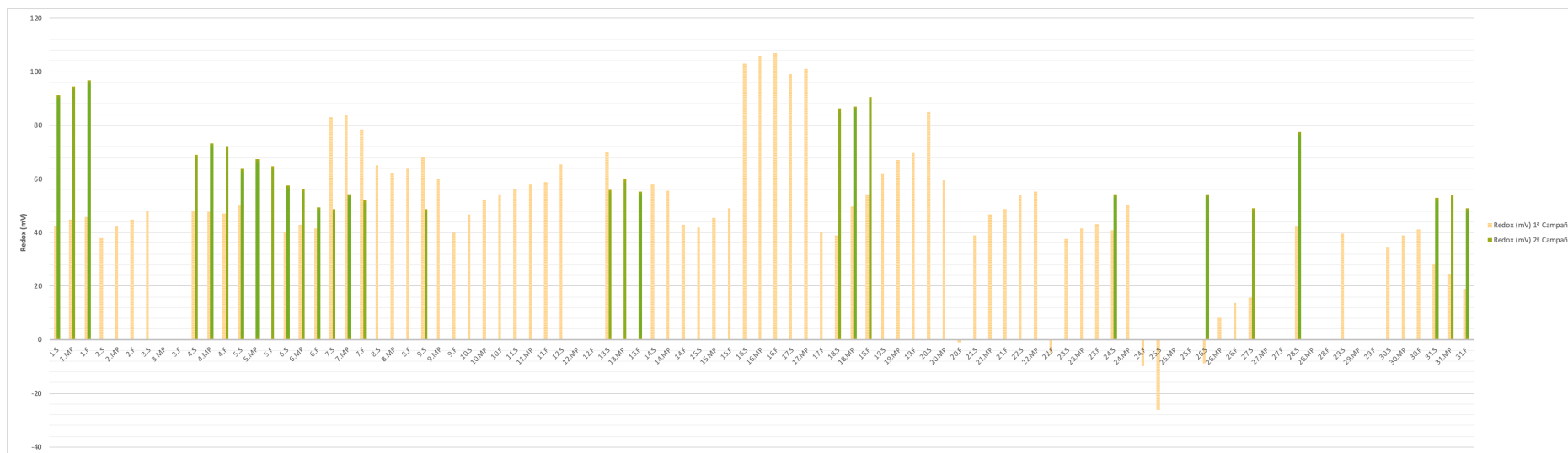
Gráfica 1. Resultados obtenidos de oxígeno disuelto de los diferentes puntos de medición. Las columnas amarillas corresponden al día 14 de julio de 2020 y las de color verde, corresponden al día 20 de julio de 2020. S= Superficie, MP=Media Profundidad, F=Fondo.



Gráfica 2. Resultados obtenidos de temperatura de los diferentes puntos de medición. Las columnas amarillas corresponden al día 14 de julio de 2020. S= Superficie, MP=Media Profundidad, F=Fondo.



Gráfica 3. Resultados obtenidos de conductividad eléctrica de los diferentes puntos de medición. Las columnas amarillas corresponden al día 14 de julio de 2020 y las de color verde, corresponden al día 20 de julio de 2020. S= Superficie, MP=Media Profundidad, F=Fondo.

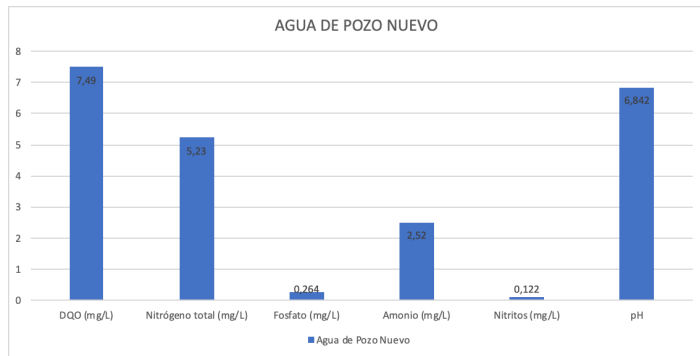


Gráfica 4. Resultados obtenidos de Redox de los diferentes puntos de medición. Las columnas amarillas corresponden al día 14 de julio de 2020 y las de color verde, corresponden al día 20 de julio de 2020. S= Superficie, MP=Media Profundidad, F=Fondo.

7.1 Resultados y discusión de las determinaciones analíticas en laboratorio.

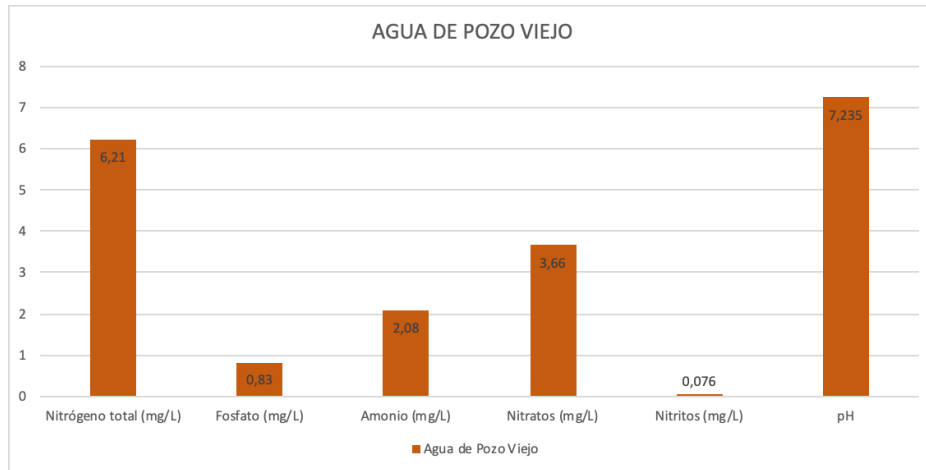
El día 20 de julio de 2020 se recogieron las muestras de agua de diferentes puntos de la laguna, tanto en superficie, como en fondo, en los puntos en que fue posible. Además de ello, se tomaron muestras de la cascada (punto 29) y del pozo nuevo, este último es el que suministra de agua al estanque y del pozo viejo, ya en desuso por la cantidad de cieno que sube con la masa del agua, pero conectado por posibles emergencias.

Los resultados obtenidos del agua de los pozos fueron los siguientes:



Parámetros	Agua de Pozo Nuevo
DQO (mg/L)	7,49
Nitrógeno total (mg/L)	5,23
Fosfato (mg/L)	0,264
Amonio (mg/L)	2,52
Nitratos (mg/L)	5,22
Nitritos (mg/L)	0,122
Sólidos Totales (mg/L)	785
pH	6,842

Gráfica 5. Resultados analíticos de la muestra "Agua de Pozo Nuevo" tomada el día 20 de julio de 2020.

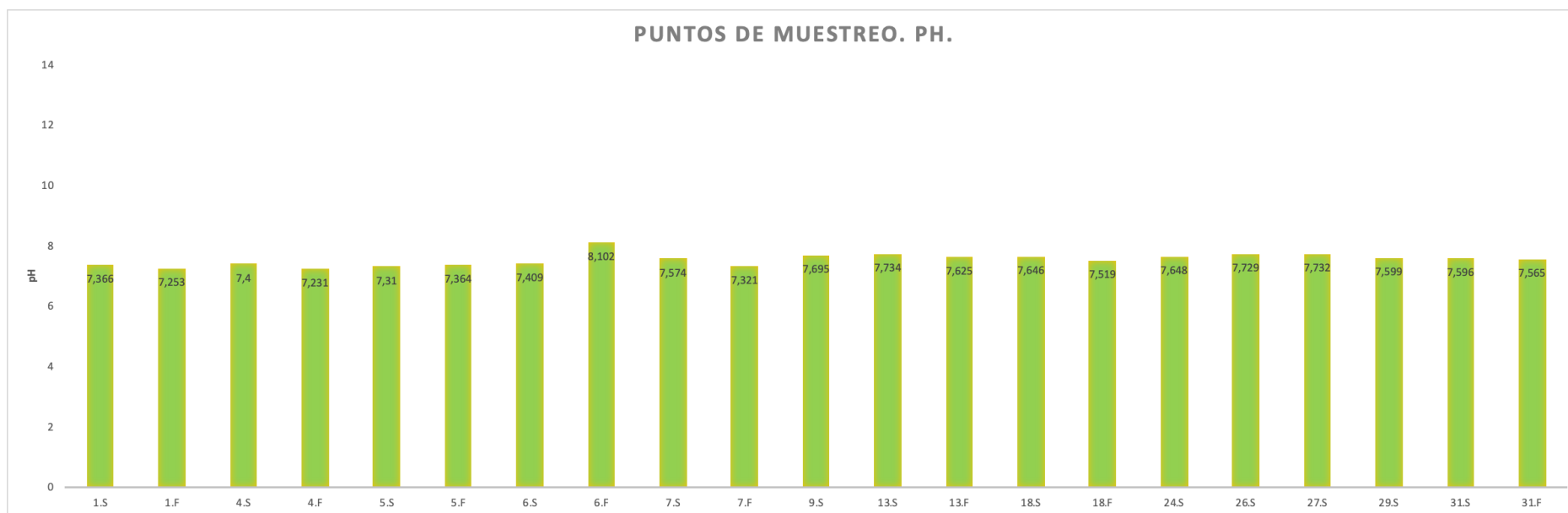


Parámetros	Agua de Pozo Viejo
Nitrógeno total (mg/L)	6,21
Fosfato (mg/L)	0,83
Amonio (mg/L)	2,08
Nitratos (mg/L)	3,66
Nitritos (mg/L)	0,076
pH	7,235

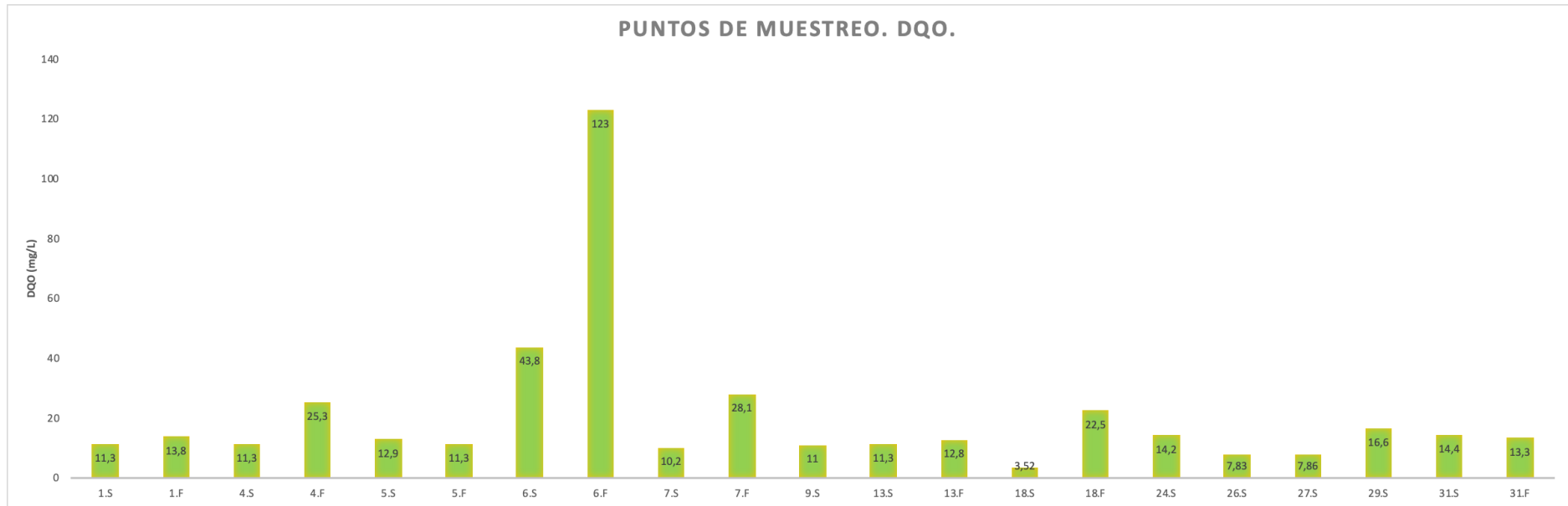
Gráfica 6. Resultados analíticos de la muestra "Agua de Pozo Nuevo" tomada el día 23 de julio de 2020.

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos en esta segunda campaña de muestreo:

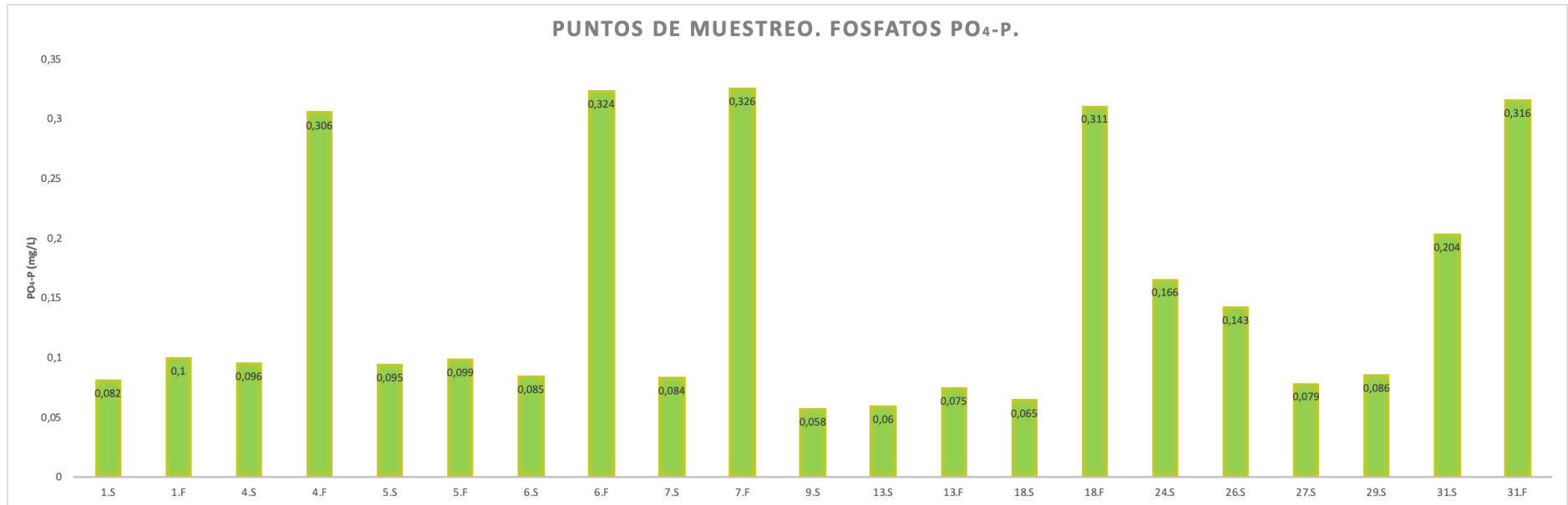
En las siguientes gráficas se representan los valores obtenidos de Nitrógeno total, fosfatos, amonio, nitritos, DQO, y pH, en los diferentes puntos de estudio.



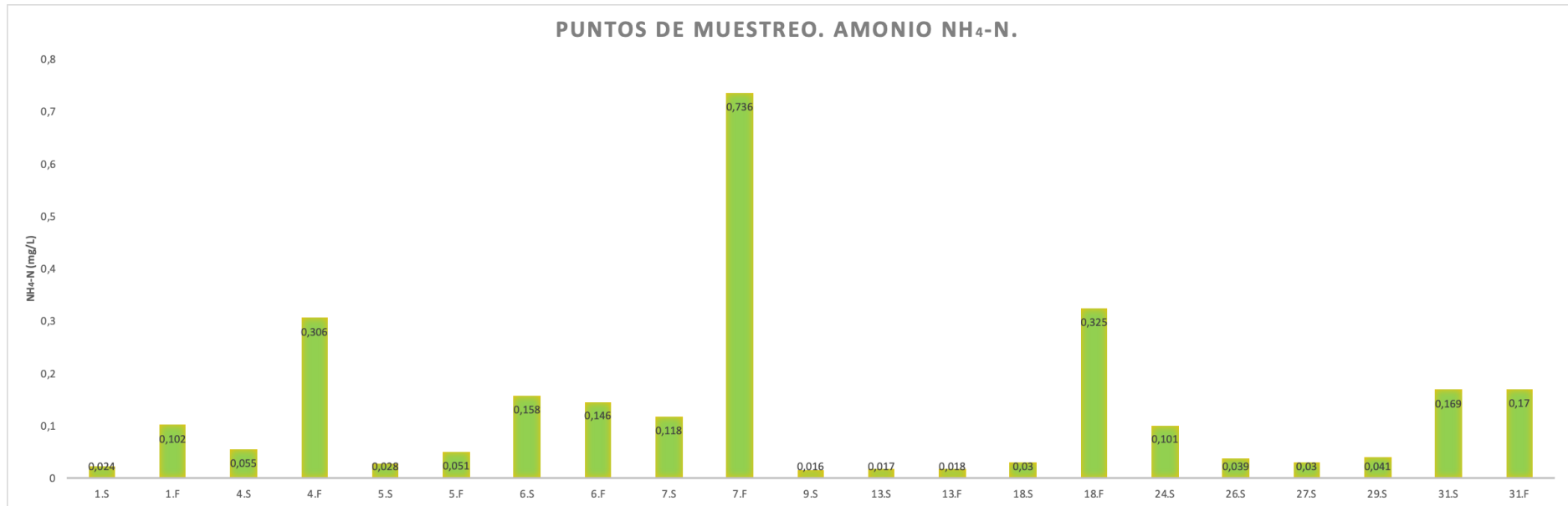
Gráfica 7. Resultados obtenidos de pH de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.



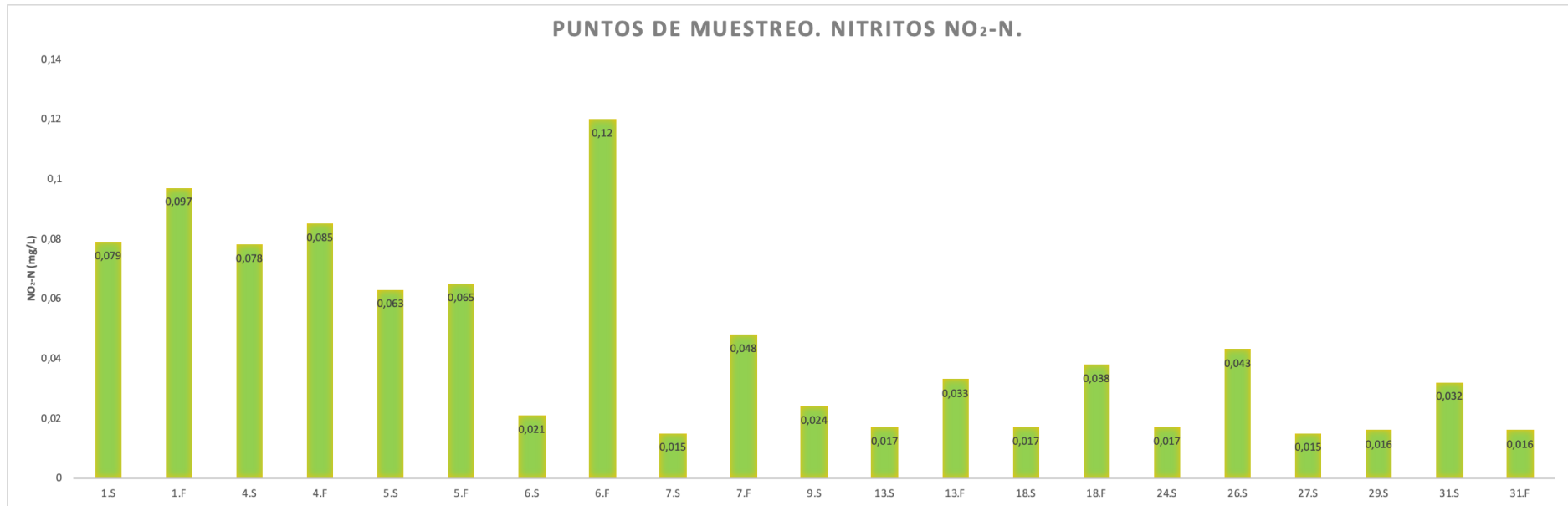
Gráfica 8. Resultados obtenidos de Demanda química de oxígeno de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.



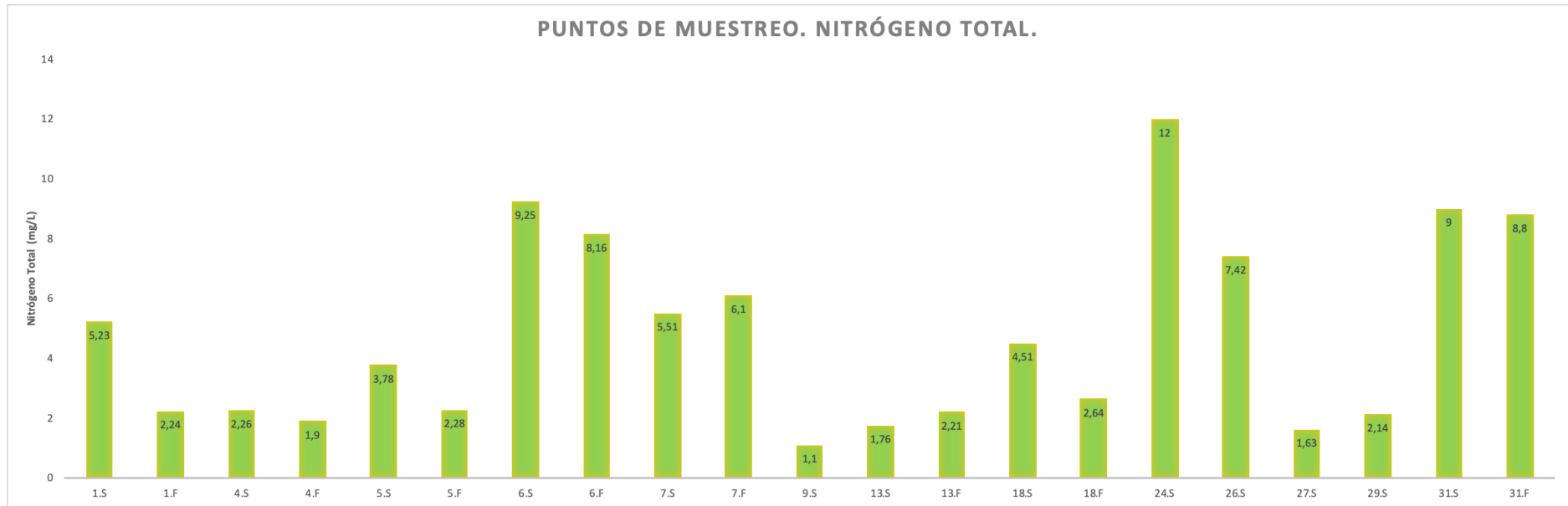
Gráfica 9. Resultados obtenidos de PO₄-P de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.



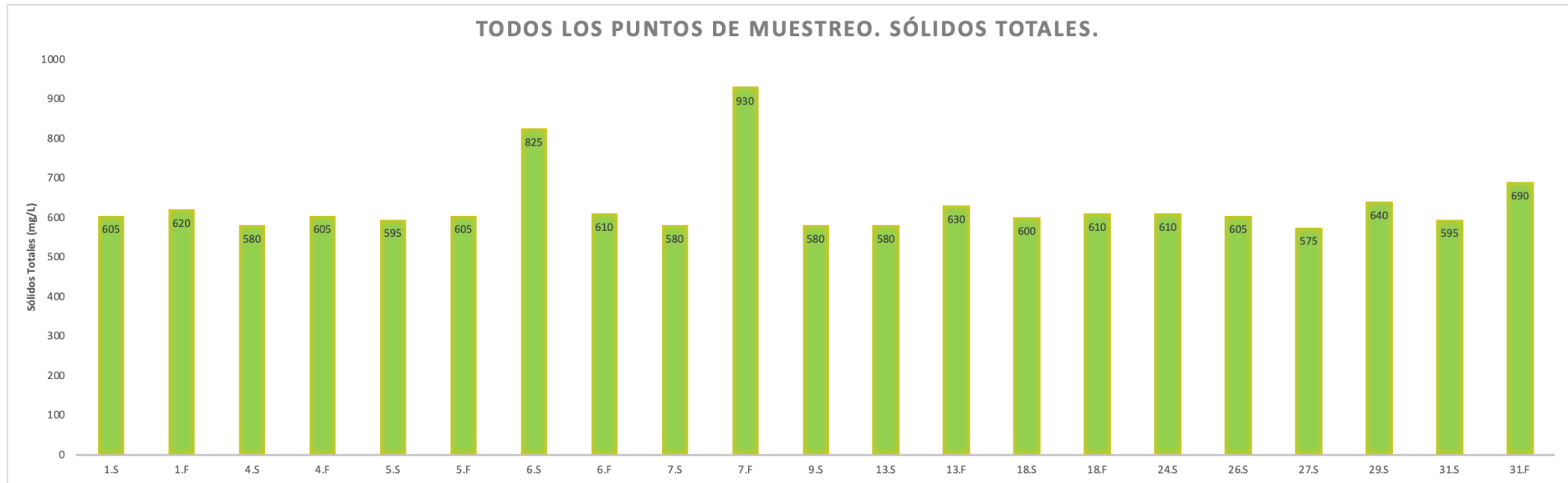
Gráfica 10. Resultados obtenidos de NH₄-N de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.



Gráfica 11. Resultados obtenidos de NO₂-N de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.



Gráfica 12. Resultados obtenidos de Nitrógeno Total de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.



Gráfica 13. Resultados obtenidos de Sólidos Totales de los diferentes puntos de medición. S= Superficie, F=Fondo.

7.2 Estudio de la evolución de la laguna y diseño de actuaciones correctoras.

La primera evaluación que se ha realizado ha sido el estudio la estabilidad de la masa de agua del estanque para evitar llegar a un punto de pudrición que pueda obligara al vaciado del mismo. Para ello se han rastreado en el mapeo estratigráfico que se ha realizado los niveles de oxígeno disuelto (el existente en cada momento) y el potencial redox (almacenamiento químico de oxígeno en cada punto analizado) en las dos campañas de muestreo realizadas en los días 14 y 20 de julio 2020.

Ambas campañas se han realizado con un cierto intervalo de tiempo para poder estudiar la evolución de la laguna antes de la reunión con las asociaciones de vecinos (17 de julio 2020) donde se solicita, y se consigue, cortar las alimentaciones masivas a las aves en la masa de agua.

Estudio de anaerobiosis de la masa de agua:

En la gráfica siguiente puede verse el comportamiento de la laguna ante una carga considerable de *Sparganium* flotantes que van cayendo al fondo en la segunda campaña y aún así los datos medidos de oxígeno disuelto y potencial redox en los 31 puntos del mapeo en tres profundidades cada uno, 93 datos de cada uno de ellos repartidos por todo el espacio de la misma, ofrecen una foto fija de su comportamiento en ese momento.



Gráfica 14. Resultados de Redox obtenidos en la segunda campaña de mediciones y límites de generación de SH_2 y anaerobiosis.

Se puede constatar que los datos del día 20 de julio 2020 son incluso mejores que los del día 14 de julio 2020 y ningún caso hay ningún punto cerca de los límites de aviso de problemas de anaerobiosis en los fondos de la lamina de agua.

Tal es así que los malos olores empiezan con el desprendimiento de ácido sulfhídrico, SH_2 , que huele a huevos podridos, a unos -50 mv, por otro lado debe considerarse que la anaerobiosis empieza a -175 mv de potencial redox. Se observa que el dato mas desfavorable en todos los puntos del estanque en ambas campañas es de -8.7 punto 26 en superficie, en la primera campaña y en la segunda mejoró hasta 54.4 mv, a pesar del problema de exceso de flotantes. Hay otro punto de -9.9 en el punto 24 que mejora en la segunda campaña también hasta valores positivos de potencial redox.

En cuanto a oxígeno disuelto ningún punto en ninguna de las dos campañas baja al entorno de 0 ppm

(miligramos / litro) que corresponde a la anaerobiosis, el mas bajo de todos ha sido de 2.41 en el punto 16 fondo, la isla al principio del puente, que

Esta magnifica respuesta de la laguna al problema viene dada por las propias Sparganium Angustifolium que colonizan su fondo en toda la superficie liberando oxigeno por sus raíces y compitiendo con las algas para transparentar la masa de agua propiciando que la radiación solar llegue mas profunda y permita la fotosíntesis que produce el citado oxigeno que mantiene en magnificas condiciones el fondo y toda la masa de agua.

Quedan claras dos conclusiones con estos datos:

- La Sparganium es una magnifica planta de fondo, lo que ha perjudicado al estanque es su gran exceso que ha dado lugar a la eclosión que lo ha afectado.
- La evolución del estanque nos ha permitido tener un cierto tiempo de respuesta para actuar sobre la masa de agua.

De aquí se deduce que se deben conservar las macrofitas de fondo y retirar las superficiales del crecimiento excesivo.

Elección de puntos singulares en el estudio de campo:

- Búsqueda física del exceso de comida aportado a los animales del entorno:

Hasta el momento una parte de los aportes de comida aportada son suministrados directamente a la masa de agua de la propia laguna, lo que propicia inevitablemente un desarrollo de biomasa verde no controlado.

Se ha realizado un seguimiento de las relaciones con la laguna de las personas y colectivos asiduos y se han definido diferentes tipos de aportes directos de la especie humana:

- Aportes esporádicos, o asiduos, de poca cantidad de comida a la propia laguna, que normalmente deben ser asumidos por el crecimiento de la cubierta de plantas de ribera existentes en la laguna.
- Aportes regulares, incluso diariamente, de grandes cantidades de grano y semillas con la intención de alimentar a las aves existentes en la laguna:

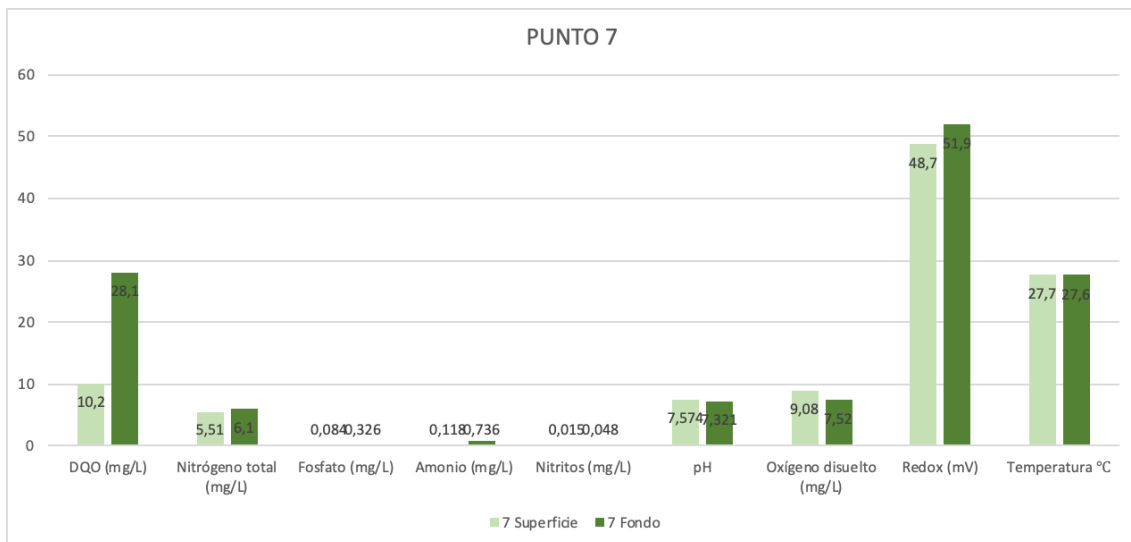
Este apartado se considera a priori un factor muy determinante en la busca del origen súbito de esta eclosión de plantas verdes en el estanque.

En alguna de los recorridos visuales realizados en el estanque se ha confirmado esta alimentación masiva y regular en punto 7, en una pequeña plataforma que sustenta la entrada del agua de pozo y la salida de agua para riego del estanque. Se realizan análisis en este citado punto 7 y a un metro lineal hacia la isleta, mas adentro del estanque, en el punto 31.

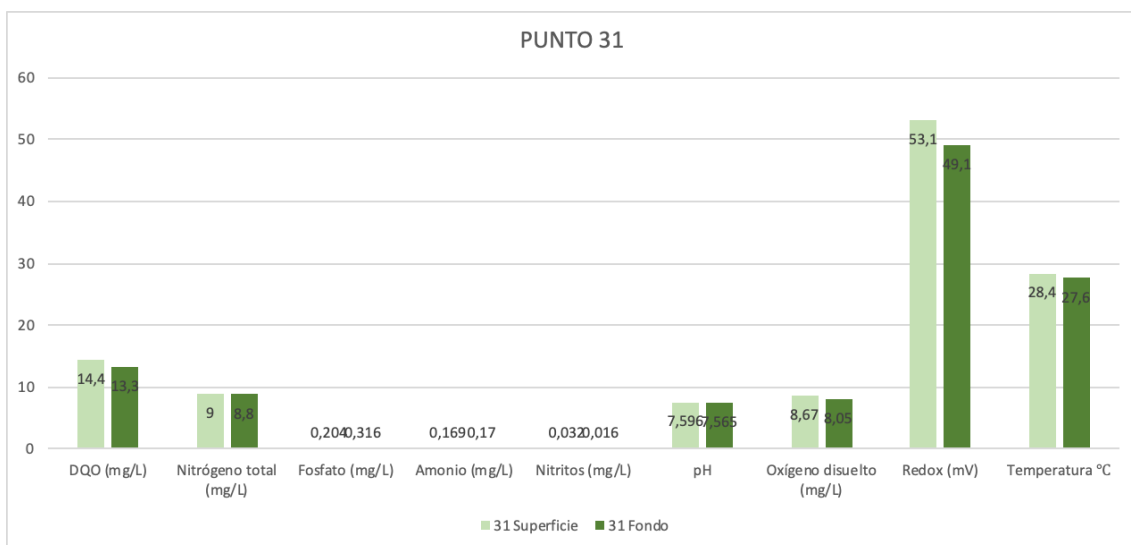


Ilustración 8. Alimentación en el estanque para las palomas

Realizadas las pruebas con el fangómetro, se detecta un cierto nivel de fangos negros de fondo, mínimo pero significativo. Esta cantidad de fangos no se ha observado en ningún otro punto del mapeo del estanque.



Gráfica 15. Resultados del punto 7



Gráfica 16. Resultados del punto 31.

Los datos analíticos obtenidos confirman niveles bastante mas altos de N total, P y materia orgánica, medida como Demanda química de oxígeno (DQO), que en el resto del mapeo realizado en todo el estanque, esto confirma, sin duda alguna, la entrada de alimentación en grandes cantidades a la masa del agua por este punto

Esto es mas grave todavía, EN MOMENTOS de eclosión de macrófitas en el estanque, ya que las aves tienen de sobra comida en las plantas flotantes y de fondeo, por ello se toma la decisión de actuar inmediatamente:

¡Alimentos en el agua no!

Para ello el día 17 de julio de 2020 se realizó una reunión de las asociaciones de vecinos con el Director de Parques y Jardines, el Director General del Distrito de Los Remedios y el grupo Tar, donde se comienza la campaña de ¡Alimentos en el agua no! Y se diseña el cartel anunciador para los amigos y usuarios del Parque.

Los efectos de la reunión del 17 de julio 2020 con las Asociaciones de vecinos pueden calificarse de inmediatos y se visualiza que ya la alimentación no se hace sobre el agua, tres días después de la misma empieza el estado de paro de crecimiento de las plantas / algas en determinadas zonas.

Al paso de los días se va avanzando en este estado a lo largo del estanque y luego empieza la siguiente fase de abatimiento de la biomasa verde sobre el fondo. Esto tiene el peligro de colmar dichos fondos con materia orgánica y por ende, anaerobizar el medio y entrar en pudrición del agua.

“Recogida de flotantes sobre la laguna”

Por ello, se instrumenta la **“Recogida de flotantes sobre la laguna para el 27 de julio 2020**, con su correspondiente protocolo, Anexo 1, y se realiza un cartel para las vallas del estanque para concienciar a los vecinos en la protección de la masa de agua, Anexo 2.

Esta recogida la esta realizando la empresa Turbepal en estos momentos, días 27, 28 y 29 de julio 2020, donde se ha recogido la mayor cantidad de los flotantes, estando programada otra sesión de recogida para el día 30 de julio 2020 y un repaso en los días de la próxima semana.

Al final no se pudo realizar de la manera propuesta en este trabajo, ya que el peso de la biomasa verde, cargada de agua, es muy grande y por ello Turbepal ha desarrollado su propia estrategia, muy acertada, con dos operarios en el agua acarreado biomasa hasta la orilla y cuatro desde fuera recogéndola con rastrillos.



Ilustración 9. Fotos de la recogida de la biomasa por parte de TURBEPAL.

Los resultados pueden verse en las fotos siguientes



Ilustración 10. Día 28 de junio de 2020, zonas limpias.

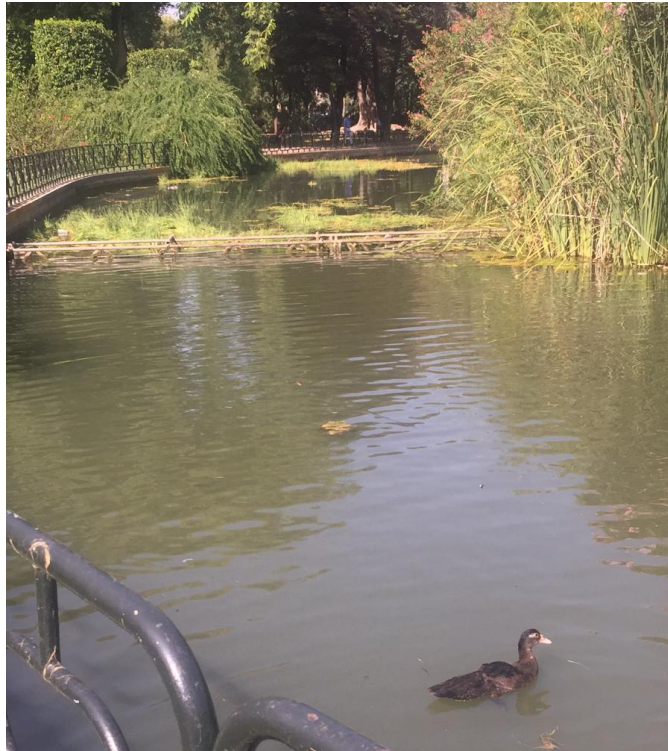


Ilustración 11. Zona más turbia, donde aún no se ha recogido la totalidad de la biomasa, cerca del puente móvil a la isleta.



Ilustración 12. Zona verde más translúcida que domina en la zona del estanque más cercana al bar.

Otras fuentes de materia orgánica y nutrientes en la eclosión del estanque:

Una vez determinada la gran influencia de esta alimentación en la masa de agua cercana a uno de los puntos fijos de suministro, se deben hacer algunas consideraciones importantes en relación con todos los aportes existentes de materia orgánica y nutrientes que expliquen el porqué de la actual eclosión de macrófitas:

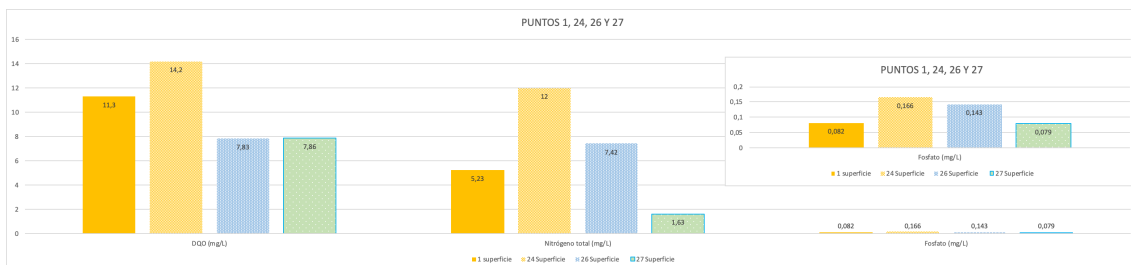
- El llenado último en febrero 2020 llevó aparejada una gran cantidad de aporte de N y P al sistema proveniente del pozo nuevo del estanque.
- En la época del confinamiento por el Covid 19, mitad de marzo a junio 2020, la población sensible con la salud de los animales del estanque hace que haya un acopio mucho mayor de lo normal de alimentación para los mismos, semillas y otras variedades orgánicas, todas ellas ricas en N y P.
 - A esta materia orgánica aportada por los alimentos hay que sumarle las posibles aportaciones desde las filtraciones existentes en el vaso del estanque.
 - También debe haber aporte desde la tierra fértil de las macetas introducidas entre las escolleras de piedra, como ya se ha explicado anteriormente, en el llenado de 2017.

Para evaluar este factor de aporte de materia orgánica, N y P, al estanque se realiza la siguiente:

Determinación de parámetros en el entorno de las macetas de plantas de ribera en las diferentes escolleras.

Se realizan tomas de muestra en cada escollera y en el entorno inmediato de cada una de ellas.

Empezando por los puntos, 24, 26 y 27, en el entorno de los papiros sembrados cerca del puente del estanque, se exponen las graficas correspondientes para estudiar los posibles aportes.



Gráfica 17. Evidencia de la salida de Nitrógeno, Fósforo y DQO desde la maceta sin romper de los papiros a la masa de agua del estanque.

como puede verse en la grafica hay un aumento muy significativo de DQO (materia orgánica), N y P, sobre los datos de los puntos cercanos alejados de las maceta. Esto demuestra taxativamente los aportes desde la maceta del vivero en la que se sembró el papiro.

Realizada la misma experiencia en el entorno de las eneas de la isleta, no se ven niveles mas altos de DQO (materia orgánica), N y P, en el entorno muy cercano que delaten una aportación actual a la masa de agua.

Sabiendo que se plantaron también con macetas de vivero en su momento, como los papiros estudiados anteriormente, y observando que estos se han expandido mucho mas allá de su confinamiento en la maceta, se infiere que se ha roto la maceta, se han liberado las raíces de las plantas y se ha aportado toda su capacidad nutriente a la masa de agua.

Es muy posible que el momento de dicha rotura coincida con el vaciado y secado del estanque, el soleado posterior y el mojado en el llenado, con lo que le plástico tuvo mas posibilidades de rotura. De ser así esta secuencia de sucesos, la mayoría de aportes desde las macetas ocurrieron previamente a la eclosión y por tanto la facilitaron ampliamente,

Los puntos analizados en el entorno de las diferentes eneas de la isleta y otras plantas de la orilla del estanque no difieren de los puntos cercanos que se toman como referencia, esto demuestra que ya no hay aportes extras a la masa de agua de materia orgánica, N y P, desde estas plantas.

Filtraciones paredes y suelo.

Las filtraciones de agua ponen en contacto el estanque con la tierra que lo soporta y por tanto solubiliza materia orgánica, N y P, que se aporta al agua del estanque. Determinar dichos puntos de aporte por excesos posibles de materia orgánica, N y P, será difícil debido a la enorme cantidad de puntos de toma de muestra que deberían hacerse, ya que no es posible saber a priori donde aparecen dichas grietas que dan lugar a las filtraciones.

Ya que hay aportes de materia orgánica y nutrientes que no se podrán evitar, como las que provienen de la cubierta de los arboles, alimentaciones pequeñas de los vecinos y las filtraciones del estanque, este se debe cubrir perimetralmente de eneas y plantas de ribera para que los absorban y luego puedan ser eliminados del sistema cortándolas y entresacándolas.

Debe considerarse que las plantas de ribera, las plantas de fondo y flotantes compiten con las algas para captar el sol y los nutrientes para la fotosíntesis. En el entorno cercano de las plantas de ribera estas predominan sobre las algas. Si además se verifica que es muy difícil separar las algas en exceso de la masa del agua y que las plantas de ribera pueden separarse con solo cortarlas y / o entresacarlas periódicamente.

8. Conclusiones.

- La *Sparganium Angustifolium* que ha dado lugar a la gran eclosión es una magnífica planta de fondo, lo que ha perjudicado al estanque es su gran exceso que ha dado lugar a la eclosión que lo ha afectado.
- La evolución del estanque nos ha permitido tener un cierto tiempo de respuesta para actuar sobre la masa de agua. En ningún momento, en lugar alguno de la

laguna, la masa de agua se ha acercado, ni de lejos, al temido valor de -175 mv de potencial redox que marca el comienzo de la anaerobiosis.

De aquí se deduce que se deben conservar las macrofitas de fondo y retirar las superficiales del crecimiento excesivo.

- Para evitar la repetición de la eclosión debe conseguirse que se limiten drásticamente las cantidades de alimento en la masa de agua. Debe mantenerse la campaña que marca el slogan de la campaña iniciada de concienciación de los vecinos: ¡Alimentos en el agua no!

- El pozo nuevo debe limitar su cantidad de N y P que aporta a la masa de agua, por ello debe pasar por un filtro de plantas de ribera que los absorban. El pozo antiguo solo esta para emergencias, que deben durar lo mínimo posible, ya que tiene mucho cieno que arrastra al estanque.

- Una vez recogidas las flotantes y minimizada la cantidad de alimento masivo al estanque, debe dejarse la masa de agua un tiempo grande, un mes aproximadamente, para evaluar su respuesta y verificar la calidad de la misma, para planificar las nuevas medidas a tomar.

- Si la calidad del agua de fondo sigue siendo buena, entonces se descartará el vaciado llenado del estanque.

Si por la cantidad de biomasa verde que se haya abatido sobre el fondo se generara un exceso de turbidez que impida la entrada de sol a las plantas verdes de fondo y por tanto su aporte de oxígeno al medio acuático, el estanque corre peligro de anaerobiosis y de no poder evitarlo entonces habrá **QUE REALIZAR EL VACIADO Y POSTERIOR LLENADO** del mismo. Por el momento no sea registrado este fenómeno y no deberá hacerlo si se consigue seguir limitando la alimentación masiva al estanque, como hasta ahora.

- Para ayudar en la oxigenación del sistema se deben limpiar los tres aireadores existentes y ponerlos en funcionamiento todo el tiempo posible, tanto de día como de noche. También se aprovechara la capacidad de la cascada de airear y renovar agua todo el tiempo que pueda ser.

- Nunca mas se deberán introducir macetas con tierra en el estanque, por la gran cantidad de materia orgánica y nutrientes que acaban irremisiblemente en la masa de agua.

- Ya que hay aportes de materia orgánica y nutrientes que no se podrán evitar, se debe cubrir perimetralmente el estanque y la isleta central de plantas de ribera, de fondo y flotantes para que los absorban y luego puedan ser eliminados del sistema cortándolas y entresacándolas.

9. Propuestas de actuaciones.

Las actuaciones propuestas tratan de conseguir una laguna auto regulada que evite vaciados / llenados nunca mas y vaya generando sus propios sedimentos, y pequeña capa de fango, que vaya haciendo estanco el fondo tapando las filtraciones de fondo existentes y aprovechando las filtraciones laterales para regar suavemente la isleta central y mantener con la humedad necesaria las orillas de la ribera, para asegurar la estabilidad de los caminos alrededor del estanque.

- Campaña de sensibilización “Alimentos en el agua no”, ya realizada con éxito, pero que debe mantenerse permanentemente en el tiempo.
- Recogida de flotantes, ya realizada, pero que debe mantenerse de forma ordinaria, sin necesidad de mas personal, con los pequeños núcleos que puedan ir apareciendo en el futuro.
- Conexión del agua de pozo de entrada con la cascada, para alimentar desde la misma hasta el estanque, desde la poceta superior hasta la laguna se instalará un filtro de plantas de ribera para absorber nutrientes, N y P, de la misma.

La salida del agua para riego se realizará desde las dos zonas del estanque, para dar movimiento a toda el agua, conjuntamente con la entrada, Anexo 3.

- Se debe dejar un periodo de estabilización de la masa de agua del estanque de un mes, donde deberán accionarse los aireadores todo el tiempo posible, día y noche y mantener la circulación del agua en la cascada de forma continua.
- Debe conservarse lo mas posible la masa de plantas de fondo, *Sparganium Angustifolium*. Nuestro grupo ha conservado una parte importante de las que se han retirado en nuestro estanque experimental de los huertos sociales del Polideportivo de Torreblanca.

Una vez pasado el periodo de estabilización y de manera urgente debe establecerse el cinturón perimetral de plantas de ribera y sembrar plantas flotantes y alguna de fondo con hojas superficiales como los lotos. Esta será la verdadera defensa de la masa de agua frente a las entradas de materia orgánica y nutrientes inevitables en el estanque.

Conforme haya mas plantas en la masa de agua, será menos necesario el uso de aireadores como en la presente emergencia, quedaran para su uso normal. En periodo de verano se utilizaran en horario mas extenso para compensar las perdidas de oxigeno disuelto en la masa de agua por las elevadas temperaturas.

Desarrollo social del estanque:

La naturalización necesaria del estanque esta en línea de crear una Reserva naturalizada urbana en proyectos en los que se busque financiación de la Unión europea y otros organismos involucrados en el tema ambiental y social.

10. Anexos.

Anexo 1.-

PROTOCOLO DE ACTUACIÓN PARA LA RECOGIDA DE PLANTAS FLOTANTES EN EL ESTANQUE DEL PARQUE DE LOS PRÍNCIPES, Julio 2020.

La actuación es de carácter urgente y trata de ver el comportamiento de la laguna en esta situación de sobrecarga orgánica por el hundimiento de parte de la biomasa planta alga desde la superficie.

Los análisis realizados el día 14 de julio 2020 y posteriormente el 20 de julio 2020 informan que el sistema soportó perfectamente la carga orgánica añadida al fondo en el intervalo de esos 6 días de intervalo, con resultados de oxígeno disuelto y potencial redox (almacén químico de oxígeno) similares o incluso un poco mejores al paso del tiempo. Esto se debe a la buena flora de fondo existente en el estanque, las mismas plantas que en exceso generan problemas en el medio acuático.

Pero no se puede asumir el riesgo de una caída masiva de flotantes al fondo del estanque que este no pueda compensar el sistema y de lugar a la pudrición de la materia orgánica en exceso y lo anaeróbico y pudra con los efectos indeseables en la salud del estanque y el entorno.

Por ello se propone esta recogida de flotantes en primera instancia y ver la evolución del estanque a la actuación. Se espera una buena respuesta que permita evitar un vaciado y posterior llenado del estanque con el coste ecológico, económico y social que esto genera. En todo caso el comportamiento del estanque dará las pautas a seguir a la vuelta del paso del tiempo en el mes siguiente a la actuación.

PROTOCOLO DE ACTUACIÓN:

1.- Se recogerán las piedras de grava de la isleta central y se colocarán todas ellas en un montón en una zona que no sea visible desde la orilla del estanque. Las plantas / algas flotantes recogidas se esparcirán bien repartidas por el suelo liberado de las gravas citadas.

2.- Se recogerán SOLO los conglomerados de plantas/algas flotantes en redes tipo trasmallo, pero de malla plástica dura y flexible, desde la punta de la isleta hasta el borde exterior del estanque. Los operarios trabajarán desde dentro del estanque con su correspondiente vadeador y tendrán cuidado de no pisar en exceso el fondo para no estropear las plantas existentes en el mismo.

La red de recogida deberá tener un largo adecuado a la distancia establecida isleta orilla del estanque, un ancho de entre 0.75 a 1 m y se abrirá con una mitad del ancho por debajo del nivel del agua. No podrá tener mas profundidad para no coleccionar plantas de fondo en ningún caso. La luz de malla será pequeña para evitar pérdidas de masa verde, plantas / algas.

3.- Las plantas /algas recogidas se irán recolectando con cuidado de no perderlas en el traslado y se irán llevando a la isleta central para su posterior esparcimiento al final de la recogida de todas las plantas / algas flotantes.

4.- En los alrededores de los aireadores se rastrillará el fondo para recoger las plantas de fondo y evitar que puedan entrar en el bombeo del agua del mismo. Se rastrillará en una zona circular de un diámetro de dos metros alrededor del aireador.

5.- Una vez recogidas las plantas / algas en la isleta central, se procederá a su esparcimiento homogéneo a lo largo de la superficie útil, en aquellas zonas que no tenga plantas que lo eviten.

Así se tendrá una buena primera capa de materia orgánica para mejorar la calidad del suelo de la isleta.

6.- Se limpiará la orilla del estanque de posibles plantas que hayan podido salir de las mallas de recogida.

Anexo 2.-

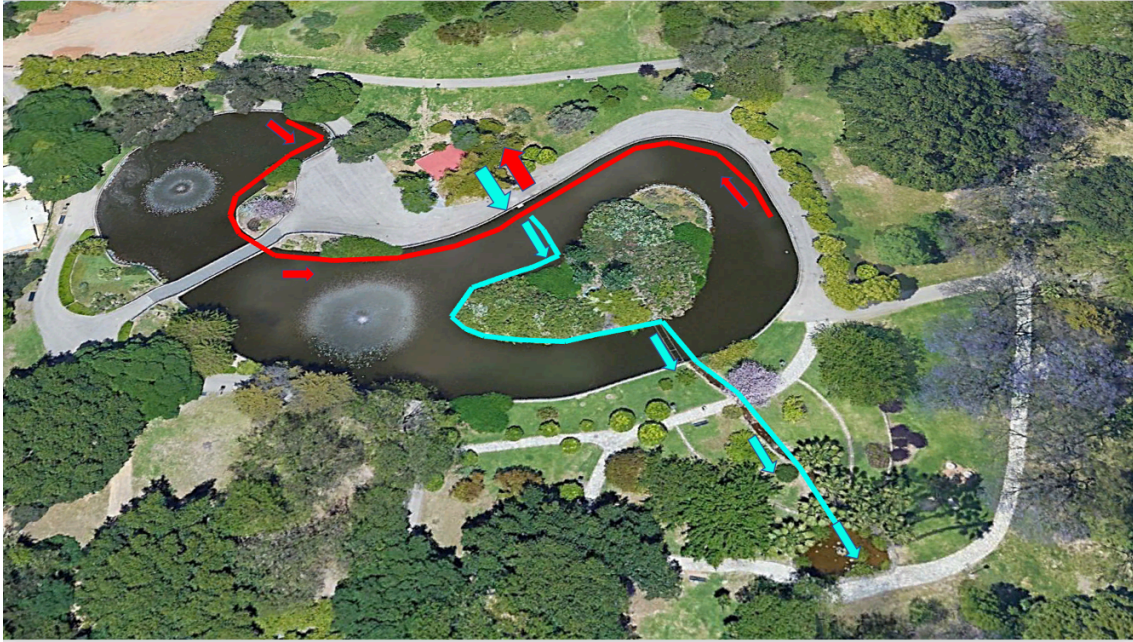


Si cae comida al estanque crecen en exceso las plantas y se pudrirá el agua.

Gráfica 18. Cartel de alimentos NOOOOO en el estanque.

Cartel: ¡Alimentos al agua no!

Anexo 3.- Esquema de circulación del agua en la laguna con definición de entrada y salida de la misma.



Gráfica 19. Propuesta de circulación de agua en la laguna

11. BIBLIOGRAFÍA.

- 77004:2002., U., n.d. Calidad del agua. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Método del dicromato.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.
- Constable, M., Charlton, M., Jensen, F., McDonald, K., Craig, G., Taylor, K.W., 2003. An Ecological Risk Assessment of Ammonia in the Aquatic Environment. Hum. Ecol. Risk Assess. An Int. J. 9, 527–548. doi:10.1080/713609921
- Gurkan, Z., Zhang, J., Jørgensen, S.E., 2006. Development of a structurally dynamic model for forecasting the effects of restoration of Lake Fure, Denmark. Ecol. Modell. 197, 89–102. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.006
- Hanna, n.d. Oxígeno Disuelto [WWW Document].
- Howarth, R.W., 1988. NUTRIENT LIMITATION OF NET PRIMARY PRODUCTION IN MARINE ECOSYSTEMS. Annu. Rev. Ecol. Syst. 19, 89–110. doi:10.1146/annurev.es.19.110188.000513
- Li-kun, Y., Sen, P., Xin-hua, Z., Xia, L., 2017. Development of a two-dimensional eutrophication model in an urban lake (China) and the application of uncertainty analysis. Ecol. Modell. 345, 63–74. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.11.014
- Lowery, T.A., 1998. Modelling estuarine eutrophication in the context of hypoxia, nitrogen loadings, stratification and nutrient ratios. J. Environ. Manage. 52, 289–305. doi:https://doi.org/10.1006/jema.1998.0180
- Máster Ingeniería del Agua Universidad de Sevilla, 2012. Eutrofización. Máster Ingeniería del Agua Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Microlab, n.d. Redox [WWW Document].
- Sharma, B., Ahlert, R.C., 1977. Nitrification and nitrogen removal. Water Res. 11, 897–925. doi:https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90078-1
- Smith, V.H., Schindler, D.W., 2009. Eutrophication science: where do we go from here? Trends Ecol. Evol. 24, 201–207. doi:https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009
- UNE-EN 1899-1:1998, n.d. Calidad del agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno después de n días (DBOn). Parte 1: Método de dilución y siembra con adición de alil tiourea.



El presente informe consta de 48 páginas.

En Sevilla, a 29 de julio 2020.

Julián Lebrato Martínez
Director Grupo BIOTAR
Universidad de Sevilla