

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDÍA

Grado en Ciencias Ambientales



“Seguimiento ambiental del lago urbano de La Goleta (Tavernes de la Valldigna) tras la primera fase de restauración”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor:

Alba Marí Romero

Tutor:

Maria Teresa Sebastiá Frasquet

Gandía, 2017

Resumen.

En el presente trabajo se realiza un seguimiento de la calidad de las aguas del lago urbano de La Goleta (Tavernes de la Valldigna) en dos puntos de muestreo denominados G2 y G4. Por otro lado también se pretende realizar un diagnóstico inicial del lago antes de las medidas de restauración y determinar las variables más adecuadas para realizar el seguimiento del lago. De este modo se ha conseguido describir la evolución temporal de la calidad de dichas aguas y se ha establecido que las medidas correctoras implantadas no fueron suficientes para mejorar la calidad del agua.

Palabras clave: calidad del agua, lagos urbanos, eutrofización, nutrientes.

Resum.

En el present treball s'ha realitzat un seguiment de la qualitat de les aigües del llac urbà de La Goleta (Tavernes de la Valldigna) en dos punts de mostreig anomenats G2 i G4. D'altra banda també es preten realitzar un diagnòstic inicial del llac abans de les mesures de restauració i determinar aquelles variables que són més adequades per a la realització del seguiment del llac. D'aquest mode s'ha aconseguir descriure la evolució temporal de la qualitat de les aigües i s'ha establert que les mesures correctores implantades no son suficients per a millorar la qualitat del llac.

Paraules claus: qualitat de l'aigua, llacs urbans, eutrificació, nutrients.

Abstract.

This study is based on the analysis of water quality of the urban lake La Goleta (Tavernes de la Valldigna), it is monitored in two sampling points called G2 and G4. On the other hand, it is also intended to make an initial diagnosis of the lake before restoration measures and to determine the most appropriate variables to follow the lake. In this way it has been possible to describe the temporal evolution of the quality of these waters and it has been established that the corrective measures implemented were not sufficient to improve the quality of the water.

Key words: water quality, urban lakes, eutrophication, nutrients.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	2
2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	2
3 ÁREA DE ESTUDIO	2
3.1 DELIMITACIÓN.....	2
3.2 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	3
3.2.1 EL RÍO JÚCAR.....	3
3.2.2 EL ESTANQUE DE CULLERA Y LA RED DE ACEQUIAS.....	5
3.3 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	5
3.4 ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES	7
3.5 FUNCIONAMIENTO DEL LAGO DE LA GOLETA	8
3.5.1 FUNCIONAMIENTO HÍDRICO	8
3.5.2 ENTRADA DE NUTRIENTES Y CONTAMINANTES AL LAGO	9
3.5.3 FUNCIONAMIENTO DEL LAGO	12
3.6 ANTECEDENTES	12
4 METODOLOGÍA	17
4.1 PUNTOS DE MUESTREO.....	17
4.2 MÉTODOS DE MUESTREO DEL AGUA.....	18
4.3 MÉTODOS ANALÍTICOS	19
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1 RESULTADOS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL LAGO	24
5.2 RESULTADOS DEL PRESENTE TRABAJO	25
5.2.1 TEMPERATURA.....	27
5.2.2 PRECIPITACIONES.....	28
5.2.3 OXÍGENO DISUELTO.....	28
5.2.4 CONDUCTIVIDAD.....	29
5.2.5 AMONIO.....	31
5.2.6 NITRATOS (NO ₃ ⁻).....	32
5.2.6 FÓSFORO.....	32
5.2.7 SILICIO REACTIVO DISUELTO (Si).....	34
5.2.8. CLOROFILA a.....	35
5.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS	36
6 CONCLUSIONES	38
7 BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE GRÁFICOS, ILUSTRACIONES Y TABLAS

Gráfico 1: Variación temporal de la temperatura	27
Gráfico 2: Precipitaciones durante el período de estudio	28
Gráfico 3: Variación temporal del od en G2 y G4	29
Gráfico 4: Variación temporal de la conductividad en relación a la precipitación en G2	30
Gráfico 5: Variación temporal de la conductividad en relación a la precipitación en G4	30
Gráfico 6: Variación temporal del amonio en G2 y G4	31
Gráfico 7: Variación temporal de nitratos en G2 y G4	32
Gráfico 8: Variación temporal de PT en G2 y G4	33
Gráfico 9: Variación temporal de Si en G2 y G4	34
Gráfico 10: Variación temporal de la clorofila a en G2 y G4	35
Ilustración 1: Límites administrativos Tavernes de la Valldigna	2
Ilustración 2: Fotografía aérea de la zona de estudio	3
Ilustración 3: Unidades hidrogeológicas que afectan al término de Tavernes de la Valldigna	6
Ilustración 4: Compuertas que regulan el volumen de agua desde la acequia madre desde la EDAR Goleta a la acequia de Ripoll	8
Ilustración 5: Entrada de agua al lago de La Goleta	9
Ilustración 6: Entrada de alcantarillado pluvial al lago	13
Ilustración 7: Fotografías aéreas de los años 1956 (izquierda) y 1984 (derecha)	13
Ilustración 8: Foto aérea de la zona de estudio en 1989 durante la construcción del lago	14
Ilustración 9: Foto del año 2005 donde se observan restos de vegetación	15
Ilustración 10: Fuente del lago que en la actualidad no está en funcionamiento (2016)	16
Ilustración 11: Foto del aireador en funcionamiento en la actualidad (2016)	16
Ilustración 12: Ubicación de los dos puntos de muestreo (G2 y G4)	17
Ilustración 13: Foto de la medición de OD, T ^a y CE en el agua del lago	18
Ilustración 14: Sistema de recirculación del agua del lago	20
Ilustración 15: Biofiltros y cascadas en junio 2016	23
Tabla 1: Litología de la unidad hidrogeológica de la Plana de Valencia Sur	6
Tabla 2: Concentraciones medias de los contaminantes	11
Tabla 3: Nutrientes, método analítico empleado y unidades	19
Tabla 4: Resultados del análisis previo del agua	24
Tabla 5: Resultado de los parámetros y nutrientes analizados en los dos puntos de muestreo	26
Tabla 6: Clasificación del grado trófico de la OCDE en función al PT	33
Tabla 7: Clasificación del grado trófico de la OCDE en función de la clorofila a	36
Tabla 8: Comparación de los resultados obtenidos en la fase inicial y el resto del trabajo	36

1 INTRODUCCIÓN

En muchas ciudades se pueden encontrar ambientes acuáticos originados por la acción humana dentro del propio núcleo urbano; éstos suelen ser de escasa profundidad y de pequeño tamaño y se les denomina lagos urbanos. Según Schuler y Simpson (2003), los lagos urbanos representan los cuerpos de agua que mayor número de personas conocen y utilizan. Estos particulares ecosistemas contribuyen a aumentar la calidad de vida y suavizar el clima urbano, proveen actividades educacionales y recreativas, como son la pesca y la natación, además de sus usos estéticos, por lo que se consideran de importancia para los habitantes de las ciudades y el turismo (Quirós, 2007).

Los problemas de la eutrofización han sido bien estudiados en los lagos naturales y las floraciones de algas nocivas se han convertido en una preocupación creciente para la gestión de los recursos hídricos. Sin embargo, los estudios centrados en los lagos urbanos son raros y los científicos han señalado la necesidad de un conocimiento más profundo de su dinámica ecológica para un eficaz desarrollo de estrategias de gestión (Sebastiá-Frasquet *et al.*, 2016).

Los lagos urbanos son diferentes a los sistemas acuáticos que se encuentran de forma común, ya que debido a sus características morfométricas y su ubicación son más vulnerables a la acción humana. Normalmente estos lagos son el foco receptor de los diferentes vertidos urbanos que se producen lo cual favorece la eutrofización, que es la generación de olores desagradables y el crecimiento de fitoplancton y flora acuática que pueden llegar al afectar la calidad del agua (Mancini *et al.*, 2012).

Para preservarlos tenemos que estar seguros de que las estrategias de manejo son efectivas, por lo tanto, se necesita un monitoreo efectivo de programas que sean capaces de detectar cambios relevantes en la calidad del agua (Sebastiá-Frasquet *et al.*, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Realizar el seguimiento ambiental del lago urbano de La Goleta (Tavernes de la Valldigna).

2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Realizar un diagnóstico inicial del lago antes de las medidas de restauración.
- Determinar las variables más adecuadas para el seguimiento del lago teniendo en cuenta condicionantes ambientales y económicos.
- Estudiar la variabilidad de los distintos parámetros analizados respecto la situación inicial y a lo largo del período monitorizado.

3 ÁREA DE ESTUDIO

3.1 DELIMITACIÓN

El área de estudio es el lago urbano de La Goleta, situado en la playa norte de Tavernes de la Valldigna (Valencia) o playa de la Goleta. El lago recoge las aguas pluviales de su perímetro urbano, la Urbanización Lago Azul. Por este motivo la red de alcantarillado que desemboca en el lago forma parte del sistema estudiado. Así como todo el sistema hidrológico del cual forma parte este lago, red de acequias, acuíferos y aguas costeras.

Esta playa en el extremo norte está limitada por la acequia de la Ratlla que separa los términos municipales de Cullera y Tavernes. Al extremo sur está limitada por la acequia de Tavernes de la Valldigna o Canal de la Partida Nueva

En las siguientes imágenes se observan los límites administrativos de Tavernes de la Valldigna y una fotografía aérea de la zona de estudio.



Ilustración 1: Límites administrativos Tavernes de la Valldigna

La característica principal del comportamiento hidrológico del río Júcar es sin duda la gran diferencia entre los caudales ordinarios y los extraordinarios. El lecho principal, con insuficiencia de capacidad hidráulica para un rango importante de avenidas, se encuentra elevada respecto sus aceras, dando lugar a un esquema de flujo muy complejo en situaciones de desbordamiento. Este esquema se traduce en la aparición de dos brazos de flujo independientes que discurren uno hacia el Norte, a la Albufera, y otro hacia el Sur, hacia Tavernes de la Valldigna.

Según diversos informes realizados en los años anteriores, al analizar el régimen de caudales se ha encontrado que más del 53% del tiempo, el río presenta un caudal menor de 5 m³/s, mientras que los caudales superiores a 20 m³/s se dan únicamente el 12% del tiempo. El caudal máximo se suele dar en febrero, 16 m³/s, y en julio y agosto el mínimo con 4 m³/s. Estos caudales tan bajos tienen como consecuencia, entre otras, la entrada de agua del mar algunos kilómetros hacia aguas arriba, salinizando los acuíferos asociados con una problemática de intrusión salina compleja.

Estos caudales contrastan en los miles de m³/s que pueden generarse como consecuencia de crecidas de carácter extraordinario. Son estas crecidas históricas las que realmente han modelado el paisaje, y las que han llevado aportaciones y sedimentos en un rango amplio. Puede decirse que estos momentos históricos asociados a las grandes tormentas convectivas constituyen la causa de la huella geomorfológica profunda dejada sobre los terrenos y zonas de inundación afectadas por el río. Las riadas del Júcar ejercen así un papel central en la aportación de sólidos. La tremenda carga de sedimentos en las crecidas es en buena parte la propia protagonista de los desbordamientos, ya que han modelado a lo largo de los siglos el plan de inundación del río, en una marcada acumulación de sedimentos que eleva el nivel medio del plano y afecta obviamente a la dinámica de las crecidas.

La historia de los pueblos de la Ribera está llena de hechos catastróficos debidos a las inundaciones del río Júcar. La relación de episodios es larga. La más catastrófica de las crecidas ocurrió los días 19-20-21 de octubre de 1982, ya que además del desbordamiento del Júcar a causa de las lluvias se le añadió la rotura de la presa de Tous. El caudal punta se estima que pudo llegar hasta los 15000 m³/s. La corriente fue en busca de las partes más bajas, hasta llegar a la playa de Tavernes. Fue en este episodio cuando se formó el hoyo original que daría lugar al lago de la Goleta (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

3.2.2 EL ESTANQUE DE CULLERA Y LA RED DE ACEQUIAS

El estanque de Cullera forma junto a la Marjal de la Ribera Sur del Júcar una zona húmeda de 3439,19 ha de superficie que pertenecen a los términos municipales de Alcira, Riola, Fortaleny, Polinyà de Xúquer, Llaurí, Favara, Cullera y Tavernes de la Valldigna.

El estanque de Cullera es un lago de aguas salobres de unas 21 ha que se originó por el cierre de la rambla de desembocadura del río Corbera y que contribuye a la desembocadura del sistema Júcar en situaciones de carácter extraordinario.

Esta zona húmeda se alimenta principalmente del agua subterránea de los acuíferos asociados. De menor forma, las aguas superficiales y el retorno de riego contribuyen a su recarga. La descarga natural se realiza por fuentes y ullales. La calidad del agua es apta para usos agrícolas aunque en la zona costera presenta altos niveles de salinidad.

A través de la zona húmeda discurren numerosas acequias de riego. Entre todas ellas cabe destacar la Acequia de Tavernes de la Valldigna que nace del estanque para desaguar en el mar algunos kilómetros al sur, y la Acequia de la Ralla que discurre por el límite más al sur de la zona húmeda, separando los términos de Cullera y Tavernes de la Valldigna, y que desemboca en el mar un poco más al norte que la acequia de Tavernes de la Valldigna. Estas dos acequias constituyen los límites de la playa de la Goleta donde se encuentra el Lago de la Goleta (Blay & Sebastià-Frasquet, 2015).

3.3 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Desde el punto de vista hidrogeológico, el término municipal de Tavernes de la Valldigna se encuentra incluido en la Cuenca 08 o del Xúquer, a la cual pertenecen las unidades hidrogeológicas siguientes que se observan en la ilustración 3:

- Plana de Valencia Sur (código UHG 08.26).
- Sierra de Las Agujas (código UHG 08.31).
- Sierra Grossa (código UHG 08.32).
- Plana Gandía-Denia (código UHG 08.38).



Ilustración 3: Unidades hidrogeológicas que afectan al término de Tavernes de la Valligna

El lago de La Goleta se sitúa en la unidad hidrogeológica de la Plana de Valencia Sur, la cual tiene una superficie de 566,30 km² y se extiende por la zona meridional del golfo de Valencia.

En la siguiente tabla se observa el comportamiento litológico de la unidad hidrogeológica.

Tabla 1: Litología de la unidad hidrogeológica de la Plana de Valencia Sur

Litología	Extensión Afloramiento km ²	Rango de espesor (m)		Edad geológica
		Valor menor del rango	Valor mayor del rango	
Areniscas, margas y arcillas	4,60			Keuper
Calizas, dolomías y margas	0,30			Jurásico
Calizas, dolomías, areniscas y arcillas	2,50			Cretácico superior
Intercalaciones de areniscas, calcarenitas y calizas bioclásticas, en una formación predominantemente margo-arcillosa (Tramo Inferior)	26,90	50	500	Mioceno
Alternancia de materiales detríticos cuaternarios intercalados en una formación limoarcillosa y zonalmente calizas lacustres (Tramo Superior)	496,30	100	400	Mioceno-Cuaternario

El contexto general de la circulación del agua subterránea se caracteriza por la existencia de flujo desde las zonas de recarga hacia el Mar Mediterráneo, aunque con importantes modificaciones a causa de intensos bombardeos locales y la existencia de otras zonas de descarga.

La evolución piezométrica es diferente según se trate del conjunto de niveles permeables que constituyen el denominado acuífero superior (cuaternario) o del que compone el acuífero inferior (mioceno). En el primer caso, las oscilaciones anuales de nivel son más reducidas, al ser generalmente el coeficiente de almacenamiento más elevado que en el segundo.

En los niveles profundos, las aguas son menos mineralizadas y sin problemas importantes de contaminación. Por el contrario, en los niveles superficiales, la mineralización es superior y aumenta en dirección a la costa. El estado de las masas de agua subterránea de la Plana de Valencia Sur, respecto a su estado químico, es malo a causa de la contaminación por nitratos debido a la carga contaminante de los sectores urbano, agrícola e industrial (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

3.4 ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES

El municipio de Tavernes de la Valldigna cuenta con tres Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs). Estas son la del casco urbano, la de la Goleta y la de la Balsa, estas dos últimas localizadas en la playa.

La EDAR Goleta recoge las aguas residuales de origen doméstico (sin aportaciones industriales) de las urbanizaciones “La Goleta” y “La Sardina” en la zona de la playa de Tavernes de la Valldigna.

La EDAR Balsa recoge las aguas residuales de la playa de Tavernes y parte del casco urbano (rebombeo desde la EDAR del Casco). A la entrada de la EDAR Balsa se diferencian los siguientes afluentes de aguas residuales:

- Agua residual desviada desde la EDAR Tavernes de la Valldigna Casco urbano.
- Bombeo de aguas residuales procedentes de la zona de la playa denominada “platja vella”.
- Conexión de aguas residuales procedentes del geriátrico Jaume II.
- Conexión de aguas residuales procedentes del Polígono Industrial El Golfo.

Estas dos EDARs vierten su afluente en la acequia Madre, la cual discurre paralelamente a la línea de la costa, y la cual vierten sus aguas a la acequia de Ripoll que desemboca en la playa en la zona de baño (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

En las siguientes imágenes se observan las compuertas que regulan el caudal.



Ilustración 4: Compuertas que regulan el volumen de agua desde la acequia madre desde la EDAR Goleta a la acequia de Ripoll

3.5 FUNCIONAMIENTO DEL LAGO DE LA GOLETA

3.5.1 FUNCIONAMIENTO HÍDRICO

Las entradas de agua al lago son dos, la lluvia directa sobre su superficie y la escorrentía de la lluvia que es recogida por la red de alcantarillado de la playa de la Goleta y que derrama al lago en diferentes puntos.

Cabe destacar que el Lago de La Goleta se encuentra a menos de 100 metros de la línea de costa, se localiza a cota 0 y su base se encuentra a 1,5 metros por debajo del nivel del mar. Esto implica que es muy probable la entrada de agua salina o salobre.

La principal salida de agua del lago es por evaporación de la lámina de agua, además el lago presenta un sistema de desagüe al mar por bombeo que se pone en funcionamiento únicamente en períodos de lluvias intensas cuando es necesario la evacuación al mar (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

En la siguiente imagen se observan los distintos puntos de entrada de agua al lago desde el alcantarillado.



Ilustración 5: Entrada de agua al lago de La Goleta

3.5.2 ENTRADA DE NUTRIENTES Y CONTAMINANTES AL LAGO

Las principales fuentes de nutrientes y contaminantes en el lago son dos, las escorrentías pluviales que entra a través del sistema de alcantarillado y las aportaciones de materia orgánica de la fauna que vive en el lago.

Durante los días anteriores a un episodio de lluvia se produce un proceso de acumulación de carga contaminante en superficie, esta acumulación se debe a diferentes fuentes de contaminación, entre ellas:

- Restos orgánicos de vegetales y animales domésticos.
- Restos sólidos de escombros y lixiviados de éstos.
- Sustancias químicas de procesos industriales.
- Compuestos y sustancias en suspensión que han precipitado.
- Residuos tóxicos de emisiones de vehículos.

Durante la lluvia el agua va arrastrando todos aquellos elementos que encuentra por su paso, transportando así la carga contaminante hacia la red y evacuándola hacia el medio receptor como es el lago. La importancia de la contaminación derivada a causa de las aguas pluviales queda demostrado en estudios como el PROMEDSU (*“Programa Nacional Para la Medida de la calidad de las descargas de los sistemas de alcantarillado unitarios hacia los medios receptores”*) donde se indica que el derrame en tiempo de lluvia puede aportar hasta un 50% de la contaminación que llega a los medios receptores.

Los contaminantes presentes se pueden clasificar en:

1. Sedimentos: sus efectos son un aumento de la turbidez del agua, reduciendo así la transmisión de la luz y el posterior crecimiento de la flora, acumulación en el lecho limitando la zona de puesta de los peces, alteración de la cadena alimentaria y la alteración estética del medio. Estos son importantes porque las sustancias químicas están adheridas muchas veces a partículas muy finas de tamaño inferior a 100 μm .
2. Sustancias en demanda de oxígeno: el oxígeno disuelto en el agua (DO) se consume en parte por las reacciones de oxidación de la materia orgánica. El oxígeno eliminado es repuesto a través de la aportación atmosférica y a través del O_2 generado por algas y vegetales.
3. Indicadores biológicos u organismos patógenos: el agua de escorrentía puede tener cantidades importantes de bacterias y virus patógenos. Para ello se utilizan indicadores de su presencia como por ejemplo el análisis de Coliformes fecales (CF) y el análisis de Enterococos intestinales (EI).
4. Nutrientes: son sustancias químicas que estimulan el crecimiento de algas y plantas. Los nutrientes básicos con carbono, nitrógeno y fósforo. Este crecimiento excesivo puede provocar disminución de la demanda de oxígeno por la noche debido a la respiración nocturna, el aumento de las aguas en superficie, malos olores, coloración del agua, etc.
5. Metales pesados: proceden casi siempre de la escorrentía del agua y pueden provocar daños letales por encima de el límite de concentraciones. Los metales que normalmente se controlan son el plomo, el cobre y el zinc.
6. Otras sustancias tóxicas: en el agua pueden aparecer como resultado de un derrame tóxico. Algunas sustancias tóxicas pueden ser fenoles, pesticidas, herbicidas, aceites, cloruros, etc.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones medias de contaminantes recogidas en el estudio PROMEDSU de acuerdo a Russo *et al.* (2007).

Tabla 2: Concentraciones medias de los contaminantes

CMS (mg/L)	Madrid	Barcelona	Valencia	Sevilla	Vitoria - EROSKI	MÁXIMO	MEDIA
DQO	679,8	455,8	293,2	833,7	1003,6	1003,6	702,6
DBO ₅	384,3		166,2	388,8	344,1	388,8	320,9
COT	53,2	37,0	34,9	35,0	29,3	53,2	38,1
NTK	38,0	20,1	40,5	46,4	22,5	46,4	36,9
NH ₄ ⁺	19,0	7,4	13,8	22,0	8,6	22	15,9
P-total	7,5	9,7	6,2	4,9	9,1	9,1	6,9
SS	597,3	579,8	229,4	733,4	562,2	733,4	530,6
SSV	353,3		134,3	486,7	300,5	486,7	318,7
SD	361,7	2249,9	964,4	324,9	499,4	964,4	537,6
SDV	173,0		279,1	131,6	326,0	326	227,4
ST	959,0	2829,7	1193,8	1058,3	1061,6	1193,8	1068,1
Turbidez (NTU)	209,6		125,0	222,0	135,5	222	173,0
Cond. (mS/cm)	0,7	3,8	1,3	0,5	0,5	3,8	1,4
Temp (°C)	16,4	22,7	19,5	18,9	18,1	22,7	19,1
pH	8,0	7,3	7,6	7,4	7,3	8	7,5
Cu (dis)	0,05		0,02	0,03	0,02	0,05	0,03
Zn (dis)	0,32		0,16	0,38	0,83	0,83	0,42
Pb (dis)	0,10		0,04	0,38	0,08	0,38	0,15
HC (dis)	5,7	5,8	1,4	5,1	3,1	5,7	3,8

Por otro lado, en el lago urbano de La Goleta se encuentra presente abundante fauna como aves acuáticas (pato común (*Anas platyrhynchos*), gansos (*Anser anser*)), tortugas de Florida (*Trachemys scripta elegans*) y peces, como las lisas (*Mugil cephalus*), carpas (*Cyprinus carpio*) y tencas (*Tinca tinca*), que generan elevadas aportaciones de materia orgánica. A parte de los productos de excreción de la fauna, se acumula gran cantidad de materia orgánica a causa de la alimentación excesiva a los animales por parte de los habitantes y visitantes de la zona, así se pueden observar flotando por el agua restos de comida que contribuyen a la acumulación de materia orgánica al lago (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

3.5.3 FUNCIONAMIENTO DEL LAGO

Las grandes cantidades de nutrientes y materia orgánica que entran en el lago de la Goleta se producen por un problema de eutrofización del sistema que forma el lago.

La eutrofización es el incremento de fitoplancton a causa de la gran disponibilidad de nitratos y fosfatos. El aumento de los organismos fotosintéticos hace aumentar en primer momento la cantidad de oxígeno disuelto en agua, lo que hace que aumente el número de seres vivos. Al incrementar el número de seres vivos se va reduciendo el oxígeno debido a que todos ellos lo necesitan para respirar. Además, el volumen de nutrientes disponibles también disminuye causando así el empobrecimiento del medio. Disminuye la transparencia del agua y se hace turbia, típicamente de color verde, amarillo, marrón o roja.

Toda la biomasa que ha crecido en estas condiciones acaba muriendo y sedimentando al fondo del lago. Se consume tanto oxígeno disuelto en agua para poder descomponer esta materia orgánica. Así se llega a una situación de anoxia a la cual muchos organismos, como los peces, no sobreviven (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

3.6 ANTECEDENTES

El lago de la Goleta se construyó a finales de los años 80, aprovechando una depresión existente que posiblemente se formó como consecuencia de una crecida extraordinaria del río Júcar los días 19-20-21 de octubre de 1982 a la cual se unió la rotura de la presa de Tous. El caudal se estima que pudo llegar a los 15000 m³/s. La corriente fue en búsqueda de las partes más bajas hacia la playa de Tavernes donde existía una zona deprimida que hacía la función de desembocadura natural. Este episodio dio lugar a la formación del hoyo original, el cual daría lugar al lago. No se encuentra construido sobre ningún ullal o balsa natural existente, cosa que cree mucha gente.

El uso de esta playa es residencial entre alta y baja densidad. El urbanismo de la playa de la Goleta se caracterizó por respetar el cordón dunar, excepto en el extremo norte de la playa, donde unos adosados se asientan sobre el cordón. La playa de la Goleta tiene una amplitud entre 30-50 metros, siendo esta de unos 10 metros sobre las urbanizaciones. Esta playa se encuentra en proceso de recesión por la presión urbanística.

El lago de la Goleta hace la función de tanque de tormenta y depósito de aguas pluviales, es decir, es el depósito de la red de saneamiento que retiene el agua de la lluvia, sobretodo en casos de precipitaciones muy intensas, para disminuir el caudal de los alcantarillados y, en consecuencia, el riesgo de inundaciones. Recoge las aguas pluviales de aproximadamente 200000 m² del casco urbano de la playa de Tavernes de la Valldigna. y en la actualidad tiene una profundidad media de aproximadamente 1,5 metros (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

En la siguiente imagen se puede observar la entrada del alcantarillado de agua pluvial directamente al lago.



Ilustración 6: Entrada de alcantarillado pluvial al lago

En las siguientes imágenes se observan fotografías aéreas a lo largo del tiempo, en la ilustración 7 a la izquierda se puede ver que en el año 1956 la zona estaba completamente llena de cítricos y a la derecha en el año 1984 se puede observar el agujero que se formó después de la gran tormenta, en este agujero formado es donde se construyó el lago de La Goleta. Por último, en la ilustración 9 se puede ver la construcción del lago en el agujero creado por la tormenta, que tuvo lugar en el año 1989.

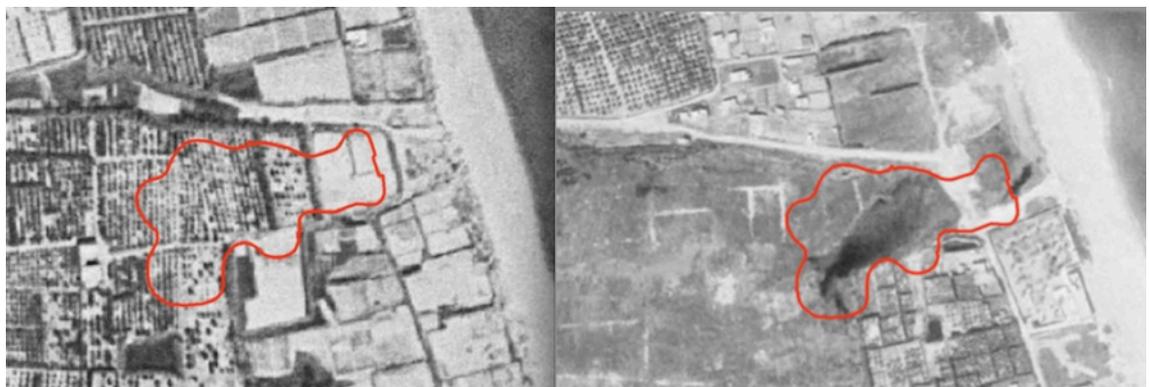


Ilustración 7: Fotografías aéreas de los años 1956 (izquierda) y 1984 (derecha)



Ilustración 8: Foto aérea de la zona de estudio en 1989 durante la construcción del lago

En la actualidad, el lago se encuentra con un sistema de aguas estancadas y sin ningún tipo de renovación. Si este tipo de sistemas no se gestionan de una manera adecuada a sus especiales características se encuentran problemas como los malos olores y la muerte de peces y patos, que se producen de forma recurrente, y especialmente en la época de mayor afluencia de usuarios en la playa, cuando el aumento de las temperaturas favorece los procesos que desencadenan estas consecuencias.

Así, a lo largo de la vida útil del lago, el Ayuntamiento de Tavernes se ha encontrado con distintos episodios de mortalidad de fauna y otras molestias que han sido a menudo recogidas por la prensa y en blogs de los habitantes de la zona. En julio de 2003 se produjo la mortalidad de decenas de peces, en concreto de lisas, esta noticia fue recogida en el diario de Las Provincias el 23 de julio de 2003. En el mes de julio de 2008 se produjo la mortalidad de patos al lago que hizo sospechar la posible presencia de un brote de gripe aviar o de botulismo. Con este episodio el Ayuntamiento se puso en contacto con los servicios veterinarios del Centro de Recuperación de Fauna La Granja de la Conselleria de Medi Ambient, donde se enviaron diversos ejemplares para ser analizados en su laboratorio. Como medida de precaución, se recogieron todos los ejemplares muertos y se aislaron el resto de ejemplares. En esta ocasión, y según se recoge en el diario Levante-EMV el 29 de julio de 2008, se diagnosticó un brote de botulismo que se dio también en diversas zonas húmedas de la Comunidad Valenciana.

Para evitar problemas asociados al funcionamiento del lago, el ayuntamiento adoptó diferentes medidas a lo largo de los años. Así pues, en el año 2005 se realizó un dragado del lago. Fue en este momento donde se construyó la actual isla donde nidifican diversas aves (patos y gansos mayoritariamente), estas aves contribuyen en gran medida a la problemática del lago a causa de la constante aportación de materia orgánica.

En la actualidad, previo al desarrollo de dicho trabajo, no existe vegetación, pero no siempre ha estado así. Durante un tiempo sí que había vegetación en el lago propia de marjales y zonas húmedas como el carrizo (*Phragmites australis*) que contribuía a una mejora de la calidad del agua. La falta de un adecuado mantenimiento de la vegetación hizo que se decidiera retirarla por considerar que afectaba negativamente a la estética del lago.

En la siguiente imagen se pueden observar los restos de vegetación presentes en el lago de La Goleta en el año 2005.



Ilustración 9: Foto del año 2005 donde se observan restos de vegetación

En el año 2002 se trató de mejorar la oxigenación de sus aguas con la instalación de dos aireadores situados en la superficie. Previo a la instalación de estos aireadores ya existía una fuente en la isla central del lago que pretendía cumplir esta función. Estas fuentes de aireamiento son claramente insuficientes para resolver los problemas de calidad de agua del lago y los episodios de mortalidad han seguido repitiéndose.

En las siguientes fotografías se observa tanto la fuente existente en el lago, la cual no se pone en marcha en la actualidad, y el aireador en funcionamiento.



Ilustración 10: Fuente del lago que en la actualidad no está en funcionamiento (2016)



Ilustración 11: Foto del aireador en funcionamiento en la actualidad (2016)

El presente trabajo se realiza a raíz del “Proyecto de naturalización del lago de La Goleta. Tavernes de la Valldigna (Valencia)”, realizado en el año 2015. Este proyecto técnico tenía como objeto definir los trabajos necesarios para naturalizar el lago de La Goleta, y mejorar su calidad ambiental. Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

1. Recircular el agua del lago.
2. Evitar la falta de oxígeno en el agua y en los sedimentos.
3. Aumentar la transparencia del agua.
4. -Disminuir los nutrientes del agua y de los sedimentos.
5. Conseguir el equilibrio ecológico del lago.
6. Mejorar y fomentar el uso lúdico, recreativo y paisajístico.
7. Conseguir la gestión sostenible del lago a nivel económico y ambiental.
8. Concienciar, educar e informar a vecinos, visitantes y usuarios.

4 METODOLOGÍA

4.1 PUNTOS DE MUESTREO

Para la realización del estudio se ha ido al lago de la Goleta a muestrear durante el período del 15 de junio hasta el 1 de diciembre del 2016, los muestreos se realizan cada 15 días, pero se incrementó después de los episodios de precipitación debido al efecto de la primera descarga. El primer fenómeno de descarga se define como el “período inicial durante el cual la concentración de contaminantes es sustancialmente más elevada que durante las etapas posteriores”. La gran cantidad de contaminantes descargados durante este período ha sido identificada como una de las principales causas de degradación de la calidad de las aguas.

El muestreo se realiza desde la orilla del lago en dos puntos diferentes denominados G2 y G4. La elección de dichos puntos se toma debido a que en la fase de diagnóstico se muestrearon 4 puntos (G1, G2, G3 y G4) y se decidió que esos dos puntos escogidos eran representativos para analizar el estado del lago sin necesidad de realizar el análisis en los 4 puntos..

En la siguiente imagen se puede observar la situación de los dos puntos de muestreo.

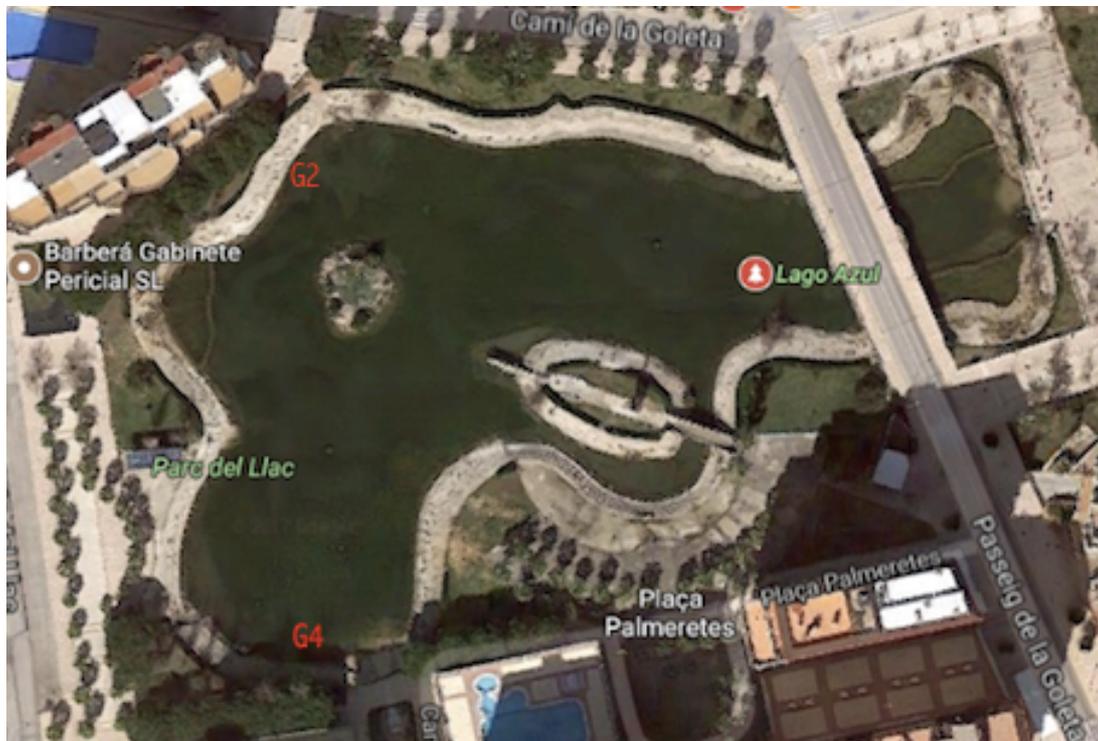


Ilustración 12: Ubicación de los dos puntos de muestreo (G2 y G4)

4.2 MÉTODOS DE MUESTREO DEL AGUA

Las muestras de agua se han tomado en los dos puntos mencionados anteriormente. En el mismo instante de la recogida de las muestras se medía la temperatura (T^a), el oxígeno disuelto (OD) y la conductividad eléctrica (CE) de ambos puntos mediante una sonda multiparamétrica. Posteriormente se recogían las muestras de agua en recipientes de plástico indicando el punto de muestreo y la fecha de recogida.

Para cada uno de los puntos de muestreo se recogen aproximadamente unos 400 mL de agua y se transportan en nevera al laboratorio para su posterior procesado y análisis.

En la siguiente imagen se observa la medición de los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica en el lago de La Goleta mediante el equipo multiparamétrico.



Ilustración 13: Foto de la medición de OD, T^a y CE en el agua del lago

4.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

Para el análisis en el laboratorio de los diferentes nutrientes se han empleado diferentes métodos. Los parámetros analizados y los métodos analíticos utilizados son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Nutrientes, método analítico empleado y unidades

Parámetro	Método	Unidad
Amonio	Método colorimétrico de Koroleff (1972) descrita en (Baumgarten <i>et al.</i> 2010)	mg/L
Nitratos	Determinación mediante análisis por diferencia de nitritos más nitratos utilizando la metodología descrita en (Baumgarten <i>et al.</i> 2010)	mg/L
Fósforo soluble reactivo	Murphy y Riley (1962)	μM
Fósforo total	Método del ácido ascórbico, Murphy y Riley (1962)	μM
Silicio reactivo disuelto	Mullin & Riley (1955)	μM
Clorofila a	Jeffrey y Humprey (1975)	mg/m ³

Para el procesado de las muestras, una vez llegan al laboratorio primero se separa una porción, aproximadamente unos 50 mL, para el posterior análisis del fósforo total. Una vez separado se procede al filtrado de las muestras mediante un filtro de acetato de celulosa de 0,45 μm . Una vez la muestra se ha filtrado, el filtro se guarda en el congelador en tubos de plástico y el filtrado se divide en 5 frascos de plástico para el posterior análisis de los diferentes nutrientes.

Tanto los frascos como el tubo del filtro deben de estar bien etiquetados con la fecha de muestreo, el punto de muestreo y el volumen total filtrado. Para cada una de las muestras de los diferentes puntos de muestreo se debe obtener 1 filtro congelado para el análisis de la clorofila a y 6 frascos para la realización de los análisis de los nutrientes con aproximadamente unos 50 mL de muestra en cada bote (amonio, fósforo total, fósforo reactivo soluble, nitritos, nitritos más nitratos y silicio reactivo disuelto).

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas implantadas para conseguir los objetivos fueron las siguientes:

1. Construcción de un sistema de recirculación del agua creando entradas y salidas, evitando así zonas de estancamiento y favoreciendo el movimiento del agua en el lago.

Uno de los factores clave es mantener los niveles de oxígeno en el agua para evitar problemas de empeoramiento de su calidad. Dicho sistema de recirculación de las aguas consta de:

- ❖ Estación de bombeo del agua construida por debajo del nivel actual del agua del lago y que consta de dos bombas sumergidas con una potencia de 1,5 kW. Toda la estación está conectada con el lago mediante una cañería de PVC de 315 mm de diámetro.
- ❖ Conducciones de PE distribuidas mediante cañerías de PE de 90 y 75 mm de diámetro y 4 atm. Estas cañerías discurren por el fondo del lago, por lo que se deben colocar pesos muertos cada 15 m.
- ❖ 7 entradas de agua mediante cascadas que favorecen a la oxigenación del agua y también se trata de un elemento estético que mejora el valor paisajístico del lago.

En la siguiente imagen se puede observar el sistema de recirculación.



Ilustración 14: Sistema de recirculación del agua del lago

Esta medida se realizó antes de la realización de este trabajo y durante su transcurso habían días en los cuales estaba encendido y otros días apagado.

2. Disminuir las entradas de nutrientes y materia orgánica.

2.1. Disminuyendo el número de aves acuáticas y especies invasoras (Tortuga de Florida, *Trachemys scripta elegans*). Esta medida se llevó a cabo parcialmente ya que únicamente se eliminaron las ocas.

3. Captura de nutrientes al interior del lago.

3.1. Construcción de biofiltros: vegetación macrófita que consume estos nutrientes, además contribuyen a la oxigenación y a la captura de sedimentos en gravas y arenas. En este caso se trata de la construcción de 4 biofiltros al lago integrados dentro del sistema de recirculación del agua y de los elementos constructivos tales como fuentes y cascadas. En estos biofiltros se introducen especies de macrófitas acuáticas que permiten mejorar la depuración natural del lago y disminuir los nutrientes presentes en el agua, de esta forma la calidad de retorno de sus aguas son mejor a la de entrada.

Estas especies desempeñan varias funciones dentro del ecosistema:

- ✓ Oxigenación de las aguas.
- ✓ Fijan el CO₂ atmosférico.
- ✓ Reciclan y absorben nutrientes.
- ✓ Regulan los efectos de la temperatura, la luz y el transporte de sedimentos.
- ✓ Son un soporte trófico y alimentario de consumidores primarios.
- ✓ Forman parte del hábitat de numerosas especies de invertebrados, peces, anfibios y otros animales acuáticos.
- ✓ Mantienen las aguas transparentes, disminuyendo la suspensión de partículas sólidas.

Esta medida correctora fue problemática porque no realizó la función que se esperaba debido a que las plantaciones de vegetación eran insuficientes y a que los animales, en concreto los patos y las tortugas, se comían las plantas jóvenes sin dejarlas crecer.

Las principales especies implantadas fueron:

Vegetación autóctona:

- *Typha latifolia* i *Typha domingensis* (Espadaña)
- *Phragmites australis* (Carrizo)
- *Scirpus lacustris* (Junco de laguna)
- *Iris pseudoacorus* (Lirio amarillo)
- *Nymphaea alba* (Nenúfar)
- *Thelypteris palustris* (Helecho hembra de pantano)
- *Carex elata* (Cárice)
- *Hydrocotyle vulgaris* (Sombrerillo de agua)
- *Scirpus holoschoenus* (Junco basto)
- *Juncus acutus* (Junco espinoso)
- *Juncus subnodulosus* (Junco)
- *Cladium mariscus* (Junco espigado)
- *Sparganium erectum* (Junco pelotero)
- *Myriophyllum spicatum* (Filigrana mayor)
- *Potamogeton nodosus* (Espiga de agua)
- *Potamogeton pectinatus*

Vegetación no autóctona:

- *Cyperus papyrus* (Papiro)
- *Schoenoplectus tabernaemontani* (Junco de agua)
- *Zantedeschia aethiopica* (Alcatraz),

En la siguiente imagen se puede observar la construcción de unas cascadas con biofiltros, en la cual se observa la falta de vegetación y la falta de circulación del agua sobre ella.



Ilustración 15: Biofiltros y cascadas en junio 2016

4. Mantener los aireadores. Esta medida sí que se implantó, el problema fue que durante la realización del trabajo muchas de las veces estaban apagados por la queja de los vecinos de la zona por su ruido.
5. Mejorar el valor estético y paisajístico del lago con una adecuada composición de los elementos: islas y rompeolas, especies vegetales, cascadas, etc. Como se puede observar en la ilustración 13, la construcción de las cascadas y los biofiltros aumentan el valor estético del lago.
6. Sistema de energía solar, por lo que se instalaron 24 paneles solares con una potencia total de 5880 W/h en estructuras similares a árboles que sirvan como a elemento decorativo del lago. Con esto se permite que en los meses de verano el sistema de recirculación funcione con energía solar una media de 8-9 h al día y en los meses de invierno entre 4-6 h, lo cual permitirá recircular el agua del lago cada 12-14 días en los meses de verano, solo utilizando energía solar. Esta medida correctora no se encontraba durante el transcurso de este trabajo.

5.1 RESULTADOS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL LAGO.

Este muestreo se realizó previo a este trabajo, el día 06 de febrero de 2015, para conocer el estado del lago y proponer las medidas más adecuadas para su mejora y conservación. Las muestras se recogieron en una barca hinchable con remos debido a la escasa profundidad del lago y se trasladaron al laboratorio de oceanografía costera del Instituto de Investigación para la Gestión Integral de Zonas Costeras de la Universitat Politècnica de València, para ser procesadas y analizadas.

Los resultados obtenidos en el agua del lago de La Goleta en la fase inicial para el diagnóstico del lago se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4: Resultados del análisis previo del agua

Parámetro	Rango
Conductividad (mS/cm)	2,70 a 3,13
Salinidad (PSU)	2,2 a 2,6
Temperatura (°C)	5,0 a 7,5
Oxígeno (mg/L)	9,7 a 9,9
Si (μM)	<0,1
PSR (μM)	0,51 a 0,61
NH_4^+ (μM)	0,90 a 1,10
Clorofila <i>a</i> (mg/m^3)	17,83 a 43,93

Cabe destacar los valores de conductividad (salinidad) observados que nos indican que las aguas son salobres, siendo aquellas que presentan una salinidad entre 0,5-30 PSU. Esto es indicativo de una posible entrada de agua del estuario subterráneo, zona de interfase entre la descarga de agua dulce del acuífero y del agua de mar.

En relación a la temperatura, se observa que son temperaturas bajas propias de los meses de invierno que permiten la mezcla vertical de la columna de agua y una mayor homogeneidad de los parámetros medidos. Las bajas temperaturas del agua y el proceso de mezcla vertical favorecen que las concentraciones de oxígeno observadas sean elevadas.

Respecto al sílice, los niveles presentes son inferiores a $0,1\mu\text{M}$. Estos niveles bajos pueden ser debidos a dos motivos, el origen mayoritario de las aguas del lago, N escorrentía de la zona urbana perimetral o bien por el consumo de las diatomeas.

Tanto el calor de PSR como el de NH_4^+ son importantes; en este caso y dadas las bajas concentraciones de sílice todo apunta a que sería el Si el nutriente potencialmente limitante del crecimiento del fitoplancton.

La clorofila *a* es un indicador de la biomasa fitoplanctónica, los valores observados en el mes de febrero son propios de un sistema eutrofizante (Blay & Sebastiá-Frasquet, 2015).

5.2 RESULTADOS DEL PRESENTE TRABAJO

A continuación se presenta en una tabla todos los resultados obtenidos de los diferentes parámetros y nutrientes muestreados durante la realización del trabajo, de los dos puntos (G2 y G4).

Como se observa en la tabla, hay algunos puntos en los cuales no hay muestra, esto puede ser debido a que no se ha recogido la muestra en algunos de los días.

Tabla 5: Resultado de los parámetros y nutrientes analizados en los dos puntos de muestreo

DÍA	T (°C)		OD(mg/L)		CONDUCTIVIDAD (mS/cm)		NH4 (mg/L)		NO3 (mg/L)		PSR (uM)		PT (uM)		Si (uM)		Cl-a (mg/m3)		
	G2	G4	G2	G4	G2	G4	G2	G4	G2	G4	G2	G4	G2	G4	G2	G4	G2	G4	
14/06/16	27,1	SM	6,570	SM	4,460	SM	0,130	SM	SM	SM	0,010	SM	SM	SM	SM	SM	SM	2,600	SM
15/06/16	29,1	28,4	5,560	0,990	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
21/06/16	25,6	25,2	5,610	3,920	2,600	2,600	<LD	0,020	0,052	0,315	0,154	0,122	0,271	0,019	SM	17,753	9,900	9,500	
04/07/16	29,1	28,5	3,920	6,210	2,600	SM	<LD	<LD	0,213	SM	0,392	0,345	0,839	0,781	29,586	14,300	1,100	7,700	
08/07/16	27,0	27,5	1,060	0,820	SM	SM	SM	0,070	SM	SM	0,250	0,242	SM	SM	SM	SM	SM	2,300	SM
19/07/16	SM	28,7	SM	8,320	SM	SM	SM	SM	SM	0,070	SM	0,307	SM	0,599	SM	SM	SM	SM	16,200
12/08/16	25,3	25,4	8,600	2,700	3,880	4,670	<LD	0,040	0,231	0,262	0,207	0,127	0,828	1,158	5,608	5,092	13,400	15,700	
19/08/16	29,0	29,2	2,900	3,300	4,210	4,950	<LD	<LD	0,056	0,070	0,282	0,121	0,662	1,225	SM	SM	16,400	4,700	
02/09/16	27,2	27,1	1,700	2,500	4,990	5,030	SM	SM	0,038	SM	0,138	0,089	0,928	0,770	46,547	28,959	5,300	82,300	
29/09/16	23,4	23,2	4,200	4,200	3,590	3,580	<LD	<LD	0,110	0,092	0,151	0,115	1,838	2,153	0,810	2,733	13,900	14,900	
10/10/16	22,6	22,5	5,900	4,400	2,270	3,040	0,082	0,051	0,382	0,302	0,151	0,291	2,742	2,265	6,561	6,561	10,900	14,600	
17/10/16	22,8	22,1	8,000	7,700	2,970	3,020	0,144	0,131	0,101	0,333	0,177	0,239	1,490	1,746	17,222	16,982	16,900	18,900	
01/12/16	SM	SM	SM	SM	SM	SM	0,156	0,110	SM	SM	0,260	0,275	1,930	1,483	21,110	4,958	9,500	11,100	
MEDIA	26,1	25,7	4,745	4,096	3,389	3,841	0,127	0,070	0,148	0,206	0,216	0,207	1,281	1,220	18,206	12,167	9,960	19,560	
DESVIACIÓN	2,5	2,7	2,615	2,365	0,940	1,021	0,040	0,043	0,119	0,123	0,081	0,093	0,778	0,710	16,016	8,971	5,548	22,469	

OBSERVACIONES:

SM=Sin muestra

LD= Límite de detección

5.2.1 TEMPERATURA

La temperatura del agua tiene influencia directa en otros factores de la calidad del agua tales como el oxígeno disuelto (OD), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la supervivencia de algunas especies. Para la mayoría de los animales y de las plantas acuáticas si se producen cambios bruscos en la temperatura del agua durante un intervalo de tiempo elevado, dichos organismos quedan expuestos a unas condiciones de vida inadecuadas y morirán, por lo que para su supervivencia se requiere que la temperatura del agua permanezca en un intervalo determinado.

Como se puede observar en la tabla 4, la temperatura en ambos puntos de muestreo oscila entre 22,1 y 29,2°C. y se mantiene prácticamente constante en ambos puntos de muestreo G2 y G4.

A continuación, se representa la variación de la temperatura en los días de muestreo obteniendo la media de los dos puntos de muestreo.

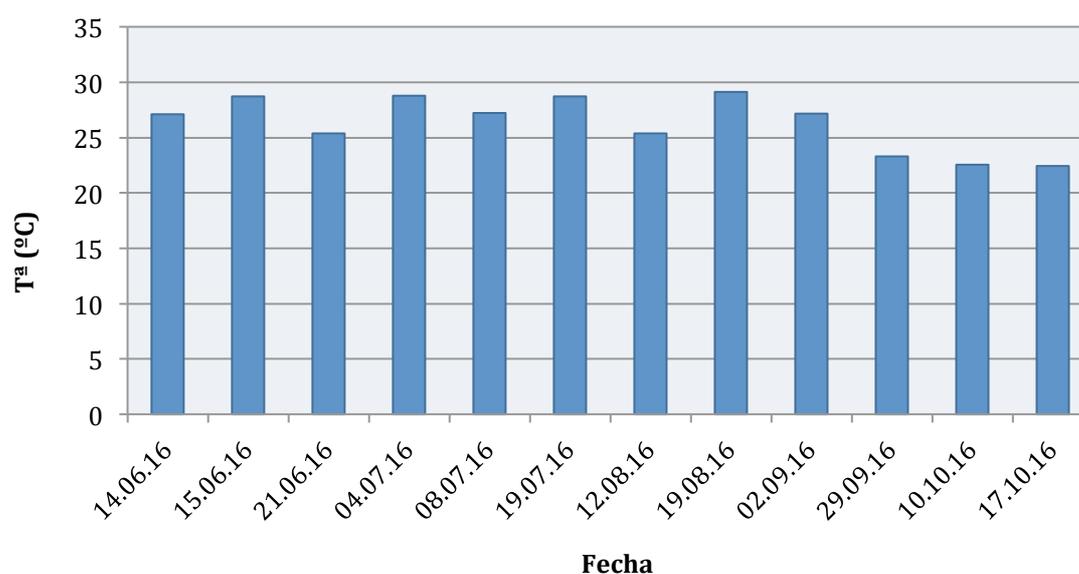


Gráfico 1: Variación temporal de la temperatura

5.2.2 PRECIPITACIONES

En el siguiente gráfico se representan los valores de precipitaciones durante el período de muestreo, según los datos meteorológicos obtenidos de la estación pluviométrica IVIA de Tavernes de la Valldigna (fuente: <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>).

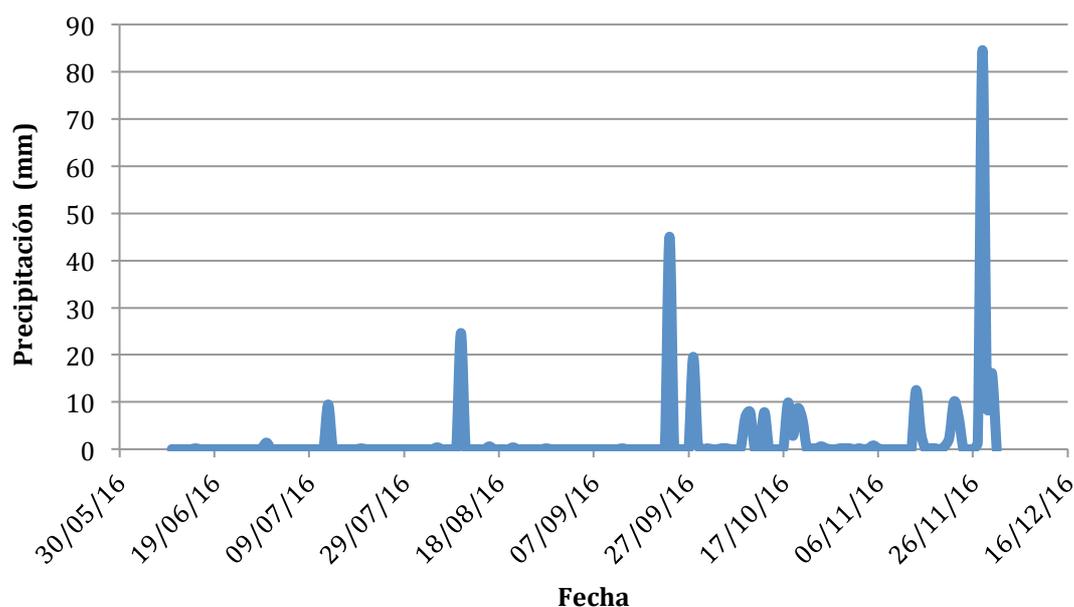


Gráfico 2: Precipitaciones durante el período de estudio

5.2.3 OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno presente en el agua procede de la disolución del oxígeno atmosférico y de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos. Este oxígeno es consumido por los organismos heterótrofos y autótrofos produciéndose un balance dinámico en la concentración de oxígeno en el agua.

El oxígeno disuelto (OD) puede ser un indicador de contaminación de las aguas; generalmente, un nivel más alto de OD indica agua de mejor calidad. Los niveles pueden variar de 0-18 mg/L aunque numerosos científicos sugieren que 4-5 mg/L de OD es la mínima cantidad que soportará una gran y diversa población acuática (STEVENS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2006).

A continuación, se va a representar gráficamente la concentración de oxígeno disuelto en los dos puntos de muestreo durante los días de realización del trabajo.

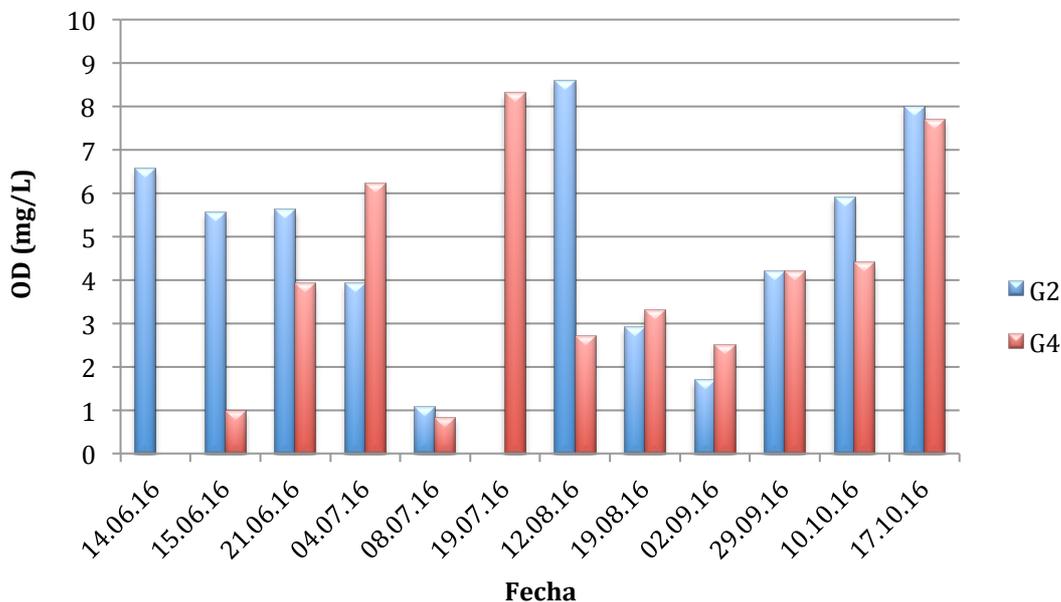


Gráfico 3: Variación temporal del OD en G2 y G4

Como se puede observar, los valores de OD en ambos puntos alcanzan su mínimo con un valor de 0,82 mg/L y un máximo de 8,60 mg/L. Los valores más elevados de OD concuerdan con los días en los cuales ha precipitado el día anterior con lo que el nivel del agua asciende.

El oxígeno disuelto fue un parámetro crítico de la calidad del agua, con concentraciones inferiores a 4 mg/L en muchos de los días. El efecto del agotamiento de oxígeno se observó en los peces que viven en el lago, como la *Gambusia sp.*, que se observó que permanecían en la zona más superficial.

5.2.4 CONDUCTIVIDAD

Como se puede observar en la tabla 4 la conductividad eléctrica varía entre 2,3 y 5 mS/cm, con un valor medio de conductividad de 3,389 mS/cm en el punto G2 y de 3,841 mS/cm en el punto G4.

En los siguientes gráficos se representas la variación temporal de la conductividad frente a las precipitaciones en el punto de muestreo G2 y G4 por separado.

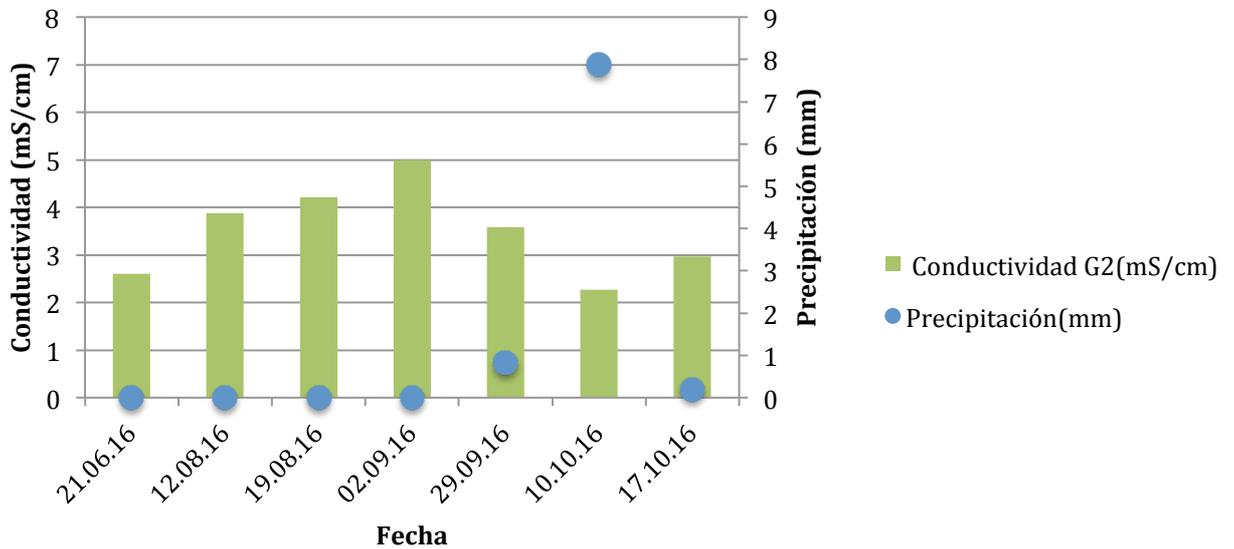


Gráfico 4: Variación temporal de la conductividad en relación a la precipitación en G2

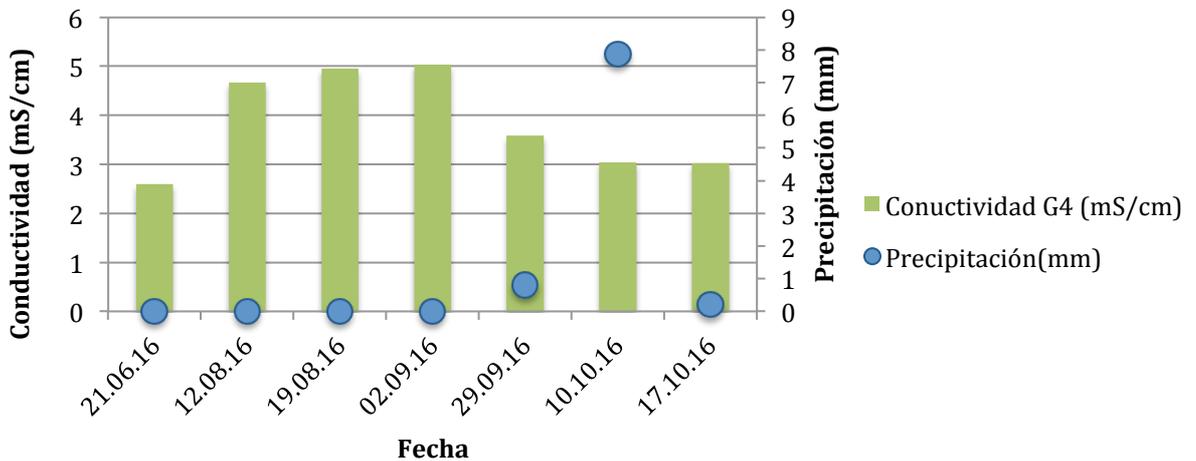


Gráfico 5: Variación temporal de la conductividad en relación a la precipitación en G4

En ambos puntos de muestreo se observa que el menor valor de conductividad se obtiene cuando las precipitaciones son máximas y cuando las precipitaciones son nulas la conductividad es más elevada.

En el día 29 de septiembre las precipitaciones son bajas pero la conductividad es elevada (3,59 dS/cm en G2 y 3,58 dS/cm en G4), esto puede ser debido a que el día anterior hubo precipitaciones (19,59 mm) por lo que dicha precipitación influyó en el valor de la conductividad de ese día.

La diferencia de conductividad entre los dos puntos de muestreo no varía mucho, siendo este normalmente mayor en el punto de muestreo G4 que en G2. Los mayores valores de CE, en los cuales tenemos valor en ambos puntos de muestreo, se dan el día 2 de septiembre con valores en ambos puntos próximos a 5 mS/cm.

Cabe destacar que valores de conductividad elevados se corresponderán con una elevada concentración de sólidos disueltos (elevada mineralización), lo que se traduce en una posible contaminación del agua.

5.2.5 AMONIO

El amonio presente en el medio ambiente procede de procesos metabólicos, agropecuarios e industriales. El amonio es un indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales e indica una incompleta degradación de la materia orgánica.

Para evitar problemas de toxicidad la concentración de amoníaco debe ser inferior a 0,05 mg/L. Este valor se superó 4 veces el 14 de junio, el 10 de octubre, el 17 de octubre y el 1 de diciembre, aunque no hubieron episodios de mortalidad.

Muchos de los días de muestreo la concentración de amonio estuvo por debajo del límite de detección (0,003 mg/L), por lo que estos valores aparecen como 0 en la representación gráfica 6.

A continuación se representa la variación temporal del amonio durante el período de muestro en ambos puntos.

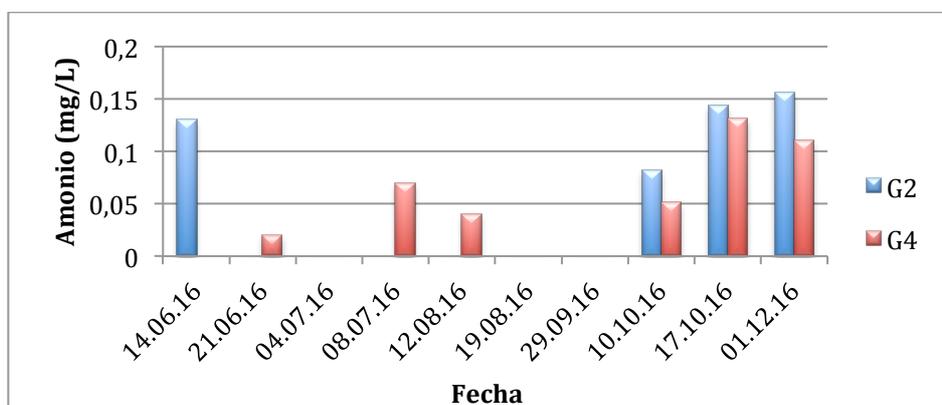


Gráfico 6: Variación temporal del amonio en G2 y G4

5.2.6 NITRATOS (NO₃)

Los nitratos son constituyentes naturales del terreno y del agua, tanto superficial como subterránea. La presencia de nitratos en agua procede de la disolución de las rocas y minerales, de la descomposición de materia orgánica, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras donde se utilizan abonos.

A continuación, se van a representar los valores de nitratos obtenidos en ambos puntos de muestreo.

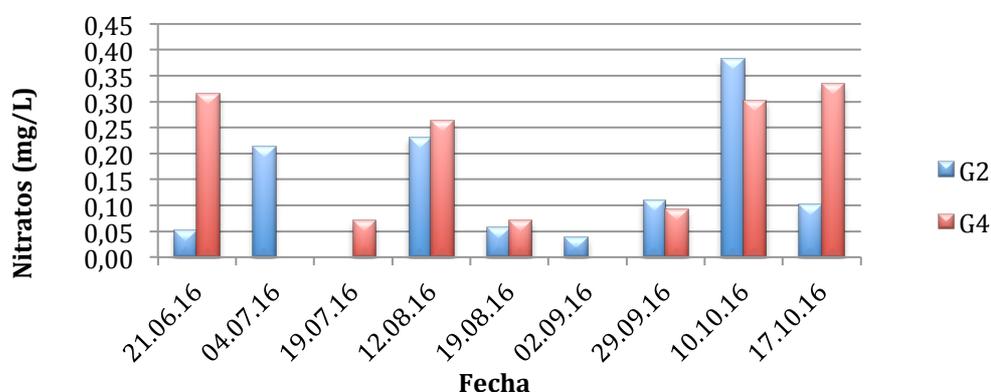


Gráfico 7: Variación temporal de nitratos en G2 y G4

Como se observa en el gráfico, en ambos puntos de muestreo la concentración de nitratos sigue la misma relación, siendo el valor más elevado de concentración en el punto G2 de 0,38 mg/L y en el punto G4 de 0,32 mg/L. En general, las aguas naturales de superficie no suelen contener más de unos 10 mg/L e incluso con frecuencia no pasan de 1 mg/L. Por lo que los valores obtenidos se sitúan por debajo de dicho umbral de concentración.

5.2.6 FÓSFORO

El fósforo total (PT) es la suma de todas las formas de fósforo, inorgánicas y orgánicas, y es elemento esencial para la vida al igual que el carbono, el nitrógeno y el azufre. El fósforo se mide en el agua como fósforo total (PT) y como fósforo soluble reactivo (PSR), aunque las plantas sólo lo utilizan en su forma disuelta, las concentraciones de fósforo total son una forma de saber la disponibilidad de fósforo a largo plazo.

A continuación, se representa gráficamente la variación temporal del fósforo total en ambos puntos de muestreo.

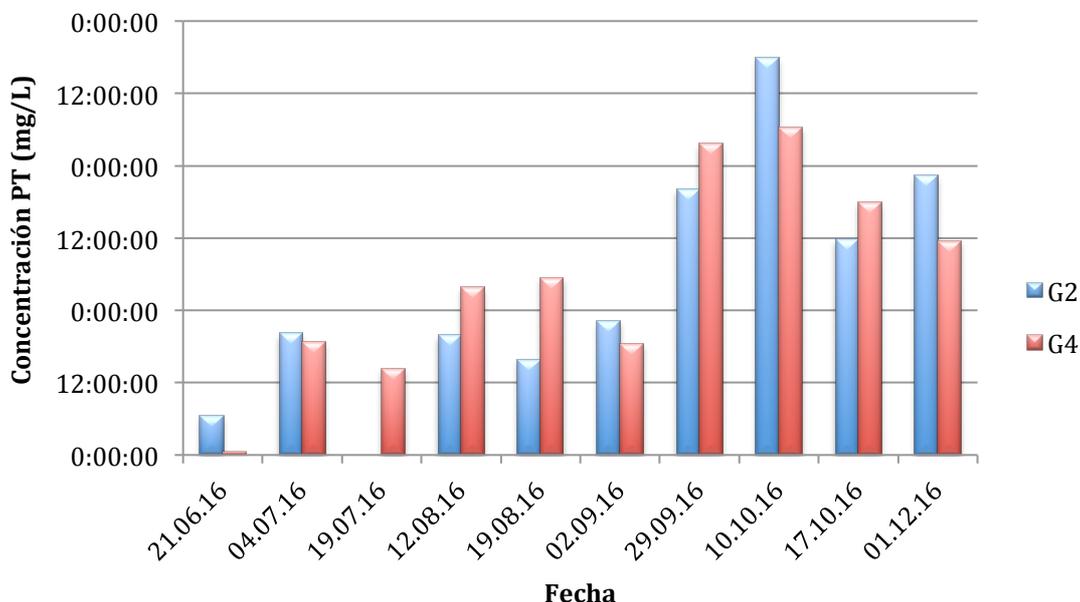


Gráfico 8: Variación temporal de PT en G2 y G4

Los valores máximos de concentración de fósforo total en ambos puntos de muestreo se sitúan el día 10 de octubre. Como se puede observar en el gráfico 7 los valores de PT empiezan a ser más elevados en los días en los cuales hubieron precipitaciones (a partir del 28 de septiembre).

Los niveles de fósforo son elevados y estos valores pueden ser debidos a la excreción de las aves acuáticas y al vertido de aguas domésticas al lago desde el alcantarillado.

En la siguiente tabla se presenta la clasificación del grado trófico de las aguas elaborada por la OCDE en función de los valores de fósforo total.

Tabla 6: Clasificación del grado trófico de la OCDE en función al PT

Categoría Trófica	PT Medio ($\mu\text{g/L}$)
Ultraolitrófico	< 4
Oligotrófico	< 10
Mesotrófico	10-35
Eutrófico	35-100
Hipereutrófico	> 100

Comparando los valores medios de ambos puntos de muestreo, en G2 un valor de 39,64 $\mu\text{g/L}$ y para G4 un valor de 37,78 $\mu\text{g/L}$, se puede decir que el grado trófico de las aguas del lago de La Goleta es eutrófico.

5.2.7 SILICIO REACTIVO DISUELTUO (Si)

El silicio disuelto es un nutriente para algunos organismos, pues se encuentra en la composición de las frústulas, epículas y otras estructuras de algunas especies planctónicas.

Las concentraciones de SiO_2 en aguas naturales oscilan entre 1 y 30 mg/L (que equivalen a 16,6 y 500 μM). En aguas de lagos y embalses, la distribución vertical en profundidad depende de la actividad de los microorganismos silíceos (*Diatomeas*) que consumen sílice y de la deposición de éstas al medio hídrico en la descomposición de sus cadáveres. Por otro lado, también depende de la solubilización de las rocas silíceas del lago y de la descomposición de los silicatos por procesos bioquímico.

En el siguiente gráfico se representa la variación temporal de Si en ambos puntos de muestreo

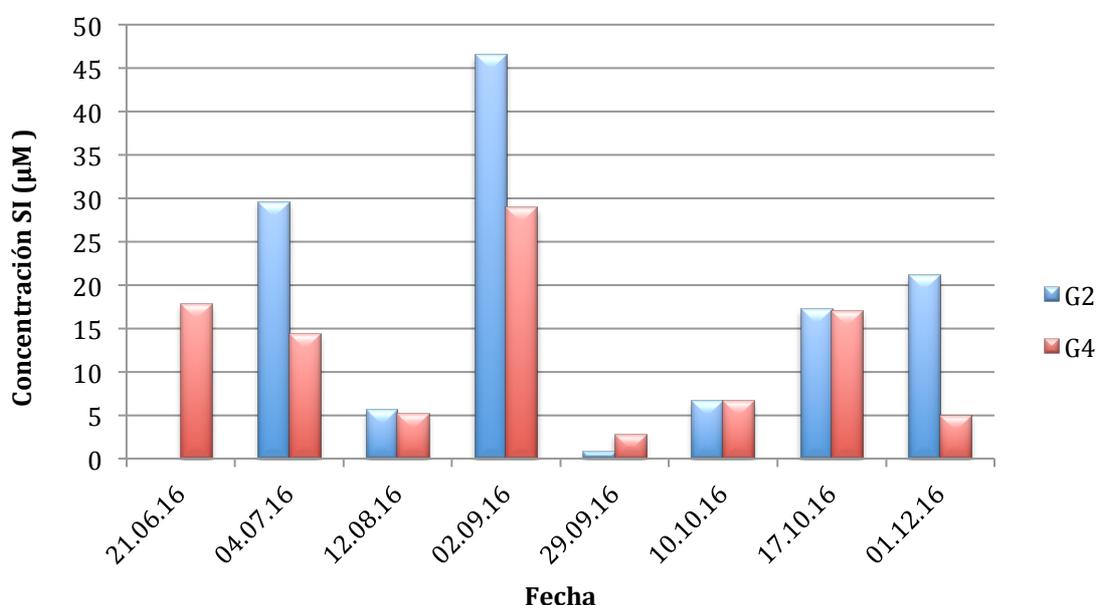


Gráfico 9: Variación temporal de Si en G2 y G4

Como se observa en el gráfico 8, en ambos puntos de muestreo la concentración máxima de Si se sitúa en el día 2 de septiembre. Ambos valores se encuentran dentro del umbral mencionado anteriormente.

5.2.8. CLOROFILA a

La distribución del fitoplancton y la concentración de clorofila asociada en una masa de agua dependen, entre otros factores, de las condiciones lumínicas y de los nutrientes presentes en dicho medio. Por lo que la concentración de clorofila es un buen indicador del grado trófico de las masas de agua y también de la contaminación de carácter La concentración de clorofila a en el lago de La Goleta oscila entre valores cercanos a 1 mg/m^3 y 83 mg/m^3 .

A continuación se representan los valores obtenidos de clorofila a en ambos puntos de muestreo.

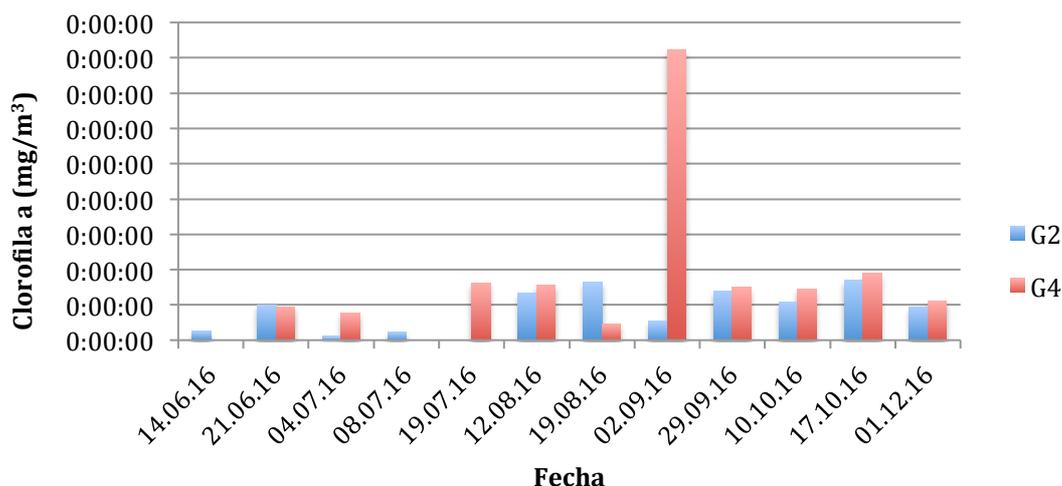


Gráfico 10: Variación temporal de la clorofila a en G2 y G4

Se puede observar que el día 2 de septiembre en el punto de muestro G4 hay un pico bastante elevado de clorofila a que no se sabe a que se puede deber.

La Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982) define la eutrofización como “el enriquecimiento en nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad de agua y otros cambios sintomáticos resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua”.

En la siguiente tabla se presenta la clasificación del grado trófico de las aguas elaborada por la OCDE en función de los valores de clorofila.

Tabla 7: Clasificación del grado trófico de la OCDE en función de la clorofila a

	CLOROFILA "a" $\mu\text{g/L}$	
	Promedio anual	Máximo anual
ULTRA-OLIGOTRÓFICO	<1,0	<2,5
OLIGOTRÓFICO	<2,5	<8,0
MESOTRÓFICO	2,5-8	8-25
EUTRÓFICO	8 - 25	25-75
HIPEREUTRÓFICO	>25	>75

Observando el promedio de las mediciones realizadas en ambos puntos de muestreo obtenemos un valor medio de clorofila a en el punto G2 de $9,96 \text{ mg/m}^3$ (que es lo mismo que $9,96 \mu\text{g/L}$) y un promedio de $19,56 \text{ mg/m}^3$ (que es lo mismo que $19,56 \mu\text{g/L}$). Por lo que observando los valores obtenidos con los de la tabla 8, los dos puntos de muestreo obtienen un valor eutrófico del agua del lago de La Goleta.

5.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se va a realizar una comparación entre los resultados que se obtuvieron durante el primer muestreo del lago (el día inicial es el 21 de junio de 2016) y los valores obtenidos durante la realización del trabajo para observar los cambios y poder discutir si las medidas correctoras implantadas han servido para algo.

Tabla 8: Comparación de los resultados obtenidos en la fase inicial y el resto del trabajo

	Diagnóstico inicial	Muestreo trabajo
Conductividad (mS/cm)	2,6	2,27 a 5,03
OD (mg/L)	5,61 en G2 y 3,92 en G4	0,82 a 8,6
Si (μM)	17,753 en G4	0,8 a 46,5
PSR (μM)	0,154 en G2 y 0,122 en G4	0,115 a 0,392
Amonio (μM)	<LD en G2 y 0,02 en G4	< LD a 0,16
Clorofila a (mg/m^3)	9,9 en G2 y 9,5 en G4	1,1 a 82,3

La conductividad del agua ha ido aumentando durante la realización del trabajo, esto corresponde con una elevada concentración de sólidos disueltos, lo que se traduce en una posible contaminación del agua. El único día que el valor de la conductividad se sitúa por debajo de la fase inicial es en el punto G2 el día 10 de octubre con un valor de 2,27 mS/cm, este valor se debe a que el día de muestreo donde se han tenido más precipitaciones.

Con respecto al oxígeno disuelto podemos decir que hay días en los que los valores están por debajo de los 4 mg/L y días que están por encima de dicho valor. Lo que sí se observa es que en los 3 últimos días de muestreo la concentración de OD en ambos puntos aumenta, con lo que se mejora la calidad de las aguas. Esto quiere decir que la medida correctora de los aireadores al final del trabajo si que ha sido eficaz, aunque al principio no lo. Esto puede deberse por ejemplo, a que el día 4 de julio que se muestreó los aireadores estaban apagados.

En relación a la concentración de Si y nitratos, los valores aumentan y disminuyen durante todo el período. Cabe destacar que las concentraciones más bajas de Si se dan los días de lluvias.

Por otro lado, la concentración de amonio se mantiene bajo de los límites de detección en varias ocasiones pero los últimos 3 días de muestreo se observa un incremento de la concentración en ambos puntos, superando así los 0,05 mg/L que es máximo valor para evitar problemas de toxicidad para los peces.

En lo que se refiere al PSR, se observa que la concentración es más alta que el día inicial, solamente el día 29 de septiembre encontramos valores por debajo.

Por último, en relación a la clorofila *a* se observa que en la mayoría de los días los valores son más elevados que el día de la fase inicial.

6 CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis y la posterior interpretación de los resultados obtenidos en este trabajo, las conclusiones que se pueden sacar son:

1. Con relación a la conductividad eléctrica, se establece que la salinidad del agua es alta y que los valores aumentan a lo largo del estudio, por lo que la concentración de sólidos disueltos aumenta y se traduce en una posible contaminación de las aguas.
2. Los valores de OD al final del muestreo aumentan, por lo que la medida correctora de los aireadores puede haber estado funcionando correctamente al aumentar la concentración de OD.
3. El amonio está por debajo del límite de detección en varios días de muestreo pero al final de éste las concentraciones son elevadas, superando el umbral de toxicidad, con lo que puede haber mortalidad de peces.
4. Por lo que se refiere a la concentración de PSR, las concentraciones son más elevadas que el día inicial, exceptuando el día 29 de septiembre.
5. En la clasificación del grado trófico de las aguas elaborada por la OCDE se obtiene un valor de eutrófico tanto para la concentración de fósforo total como para la concentración de clorofila *a*.
6. El nivel de eutrofización de las aguas es elevado, debido a la abundante concentración de los diferentes nutrientes, lo cual repercutirá en la vegetación y fauna propias del lago de La Goleta.
7. Se puede decir que las medidas correctoras no fueron suficientes para disminuir la concentración de los nutrientes.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Camargo, J.A., Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16 (2): 98-110.
- Demarcación Hidrográfica del Júcar. Evaluación del estado de las masas de agua superficial y subterránea. (Valencia, 2017).
- D.J.J. Leclercq, C.Q. Howard, P. Hobson, S. Dickson, A.C. Zander, M. Burch. Controlling cyanobacteria with ultrasound. Inter-Noise Conference. Melbourne, Australia. 16-19 November, 2014.
- Eleanor Hedge. Investigating the impact of ultrasonic algal control on daphnia in a freshwater ecosystem. Dissertation of the BSc degree in Environmental Biology of Lancaster University, 2013.
- Epyma. Estudio de impacto ambiental de la homologación del suelo no urbanizable del PGOU de Tavernes de la Valldigna (Tavernes de la Valldigna, 2012).
- Hedge, E. (2013). Investigating the impact of ultrasonic algal control on daphnia in a freshwater ecosystem. Dissertation of the BSc degree in Environmental Biology of Lancaster University.
- Hooker, S.B., Claustre, H., Ras, J., Van Heukelem, L., Berthon, J.-F., Targa, C., van der Linde, D., Barlow, R., Sessions, H. The JRC Method. In: Hooker, S.B., Firestone, E.R. (Eds.), *The First SeaWiFS HPLC Analysis Round-Robin Experiment (SeaHARRE-1)*. NASA Technical Memorandum 2000-206892 (2000) Vol. 14. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, p. 42.
- Iglesias, M. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Hojas Divulgadoras Núm. 1/94 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Estructuras Agrarias.
- IGME (Instituto Geológico y Minero de España) (2017). La problemática de los nitratos y las aguas subterráneas, visto el 20 de junio de 2017. http://aguas.igme.es/igme/publica/libro102/pdf/lib102/in_02.pdf
- IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) (2017). Riegos IVIA, visto el 20 de junio de 2017. <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>.

- Leclercq, D.J.J.; Howard, C.Q.; Hobson, P.; Dickson, S.; Zander, A.C. and Burch, M. (2014). Controlling cyanobacteria with ultrasound. Inter-Noise Conference. Melbourne, Australia.
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2011). II Actividades del ministerio durante 2011, visto el 20 de junio de 2017. http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/II.E._Agua_tc_m7-213209.pdf.
- Murphy, J.; Riley, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural water. *Anal. Chem. Acta* (1962) 27: 31-36.
- Nancy, M.; Scherer ; Harry L. ;Gibbons ;Kevin B. Stoops ; Martin Muller (1995) Phosphorus loading of an urban lake by bird droppings. *Lake and Reservoir Management* Vol. 11, Iss. 4.
- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., Fabiao, M. y Danovaro, R. Quantity and biochemical composition of organic matter in marine sediments. In: Società Italiana di Biologia Marina (Editor). *Mediterranean Marine Benthos: A Manual of methods for its sampling and study*. (2004) Vol.11 (Suppl. 1). 39-53.
- Russo, B.; Malgrat Bregolat, P., Suñer Roqueta D.(2007). Depósitos para retención de primera escorrentía. criterios de diseño y operación. V Congreso de la ingeniería civil desarrollo y sostenibilidad en el marco de la ingeniería. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- Sanchis, J.A.;Sebastiá, M.T. (Julio, 2015). Projecte de naturalització del llac de la goleta. Tavernes de la Valldigna (València).
- Baumgarten, M.G.; Rocha, J.M.; Niencheski, L.F. Manual de análises em oceanografía química. Rio Grande, Ed. da FURG, Brasil (1996) 132 p
- Sebastiá, M.T.; Pena, J. ; Sanchis, J.A. ; Llarío, F. ; Rodilla, M. ; Pachés, M. (2016). Monitoring of an urban lake in the mediterranean coast after resoration measures.
- Sebastiá, M. T.; Rodilla, M. (2013) Nutrient and phytoplankton analysis of a mediterranean coastal area. *Environmental Management* ,51:225- 240.
- Sebastiá, M.T.; Sanchis, J.A.; Tormo, J.; Altur, V.J.; Pena, J. (2016). Management plan and surveillance monitoring for an urban lake in a coastal touristic town. 3rd International Conference on Environmental and Economic Impact on Sustainable Development, Valencia (Spain),

- Serra , J.; García , R. (2006). Estudio climático-hidrológico básico para la definición geomorfológica del sector costero existente entre las desembocaduras del río júcar y del río racons, para el desarrollo de los proyectos de regeneración y acondicionamiento del borde litoral. Universitat Politècnica de València
- Strickland, J.D.H y Parsons, T.R. A Practical handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. (1972) 167
- Williams, C.M. GESTIÓN DE RESIDUOS DE AVES DE CORRAL EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO CARACTERÍSTICAS DE LA GALLINAZA DE LAS AVES DE CORRAL. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). REVISIÓN DEL DESARROLLO AVÍCOLA.
- Wright, S.W., Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Llewellyn, C.A., Bjoernland, T., Repeta, D., Welschmeyer, N. IMPROVED HPLC METHOD FOR THE ANALYSIS OF CHLOROPHYLLS AND CAROTENOIDS FROM MARINE PHYTOPLANKTON. Marine Ecology Progress Series (1991) 77, 183.