



## TRABAJO FIN DE GRADO

### Ciencias Ambientales

**La eutrofización de las lagunas endorreicas en Aragón, revisión histórica y aplicación de nuevas tecnologías.**

**El caso de estudio de Sariñena y Chiprana.**

Eutrophication of endorheic lagoons in Aragón, historical review and application of new technologies.

The case study of Sariñena and Chiprana.

**Autor:**

Jorge Sanz Villagrasa

**Directora:**

Rocío López Flores

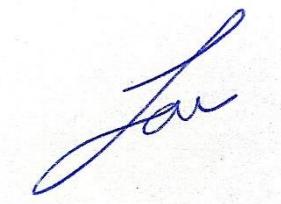
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2024

**Declaración de autoría:**

El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido citadas en el mismo.

En Zaragoza, a 22 de noviembre de 2024.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "J. A. G.", is placed over a light gray rectangular background.

# ÍNDICE

<b>1 Resumen</b>	4
Palabras clave	4
<b>2 Abstract</b>	5
Palabras clave	5
<b>3 Introducción</b>	6
3.1 Antecedentes	6
3.2 Justificación	11
3.3 Objetivos	12
<b>4 Área de estudio</b>	13
4.1 Climatología	15
4.2 Formación geológica	17
4.3 Hidrología	20
4.4 Usos del suelo	21
<b>5 Material y Métodos</b>	24
5.1 Muestreo de campo	24
5.2 Parámetros fisicoquímicos	25
5.3 Parámetros biológicos	26
5.4 Análisis estadístico	27
5.5 Revisión bibliográfica y comparativa histórica	28
5.6 Análisis de correlación con datos del dron	29
<b>6 Resultados</b>	31
6.1 Evolución temporal de los parámetros físicos, químicos y biológicos en las lagunas	31
6.1.1 Comparación entre la laguna de Sariñena y Chiprana	31
6.1.2 Laguna de Chiprana	34
6.1.3 Laguna de Sariñena	39
6.2 Comparación de los valores con los establecidos en el Real Decreto 817/2015	45
6.2.1 L-T22: Laguna de Chiprana	45
6.2.2 L-T20: Laguna de Sariñena	48
6.3 Evolución en la ratio N:P	50
6.4 Aproximación del estado trófico mediante el uso de dron	55
<b>7 Discusión</b>	58
7.1 Evolución histórica del estado trófico en las lagunas de Chiprana y Sariñena y su relación con la gestión de la cuenca	58
7.1.1 Nivel trófico y estado ecológico de las lagunas	58
7.1.2 Evolución de la concentración de nutrientes en las lagunas a lo largo del tiempo	60
7.1.3 Variación de los usos del suelo en las cuencas de Chiprana y Sariñena	61
7.1.4 Uso de drones para el seguimiento de la calidad del agua en las lagunas endorreicas	63
<b>8 Conclusiones</b>	64
Agradecimientos	66
<b>9 Referencias</b>	67
<b>10 Anexos</b>	71

# 1 RESUMEN

---

La eutrofización es un proceso natural que consiste en la disminución de la calidad de una masa de agua debido a un exceso de crecimiento de organismos autótrofos generado por un aporte de nutrientes. Todas las masas de agua están condenadas a sufrir un proceso de eutrofización natural, sin embargo, este proceso se puede ver acelerado por un aporte descontrolado de nutrientes derivado de una falta de gestión de la escorrentía, habitualmente procedente de la agricultura. Esta es una de las razones por las que, en la actualidad, los humedales son el ecosistema más amenazado del planeta debido a su rápida desaparición, derivada de una mala gestión de sus aguas. En este trabajo se estudia el nivel de eutrofia que poseen dos lagunas endorreicas que están sometidas a distintos usos del suelo en sus cuencas, con el objetivo de poder analizar su estado actual y su evolución histórica mediante los parámetros fisicoquímicos y biológicos de sus aguas. Para ello se analizaron muestras de agua de la laguna de Sariñena y la salada de Chiprana, que han permitido estudiar el estado ecológico de sus aguas y compararlos con la legislación que se aplica en ellas. A su vez, se realizó un estudio mediante dron para valorar el empleo de esta tecnología para la determinación potencial de calidad de agua en lagunas de este tipo. El estudio de los parámetros analizados muestra un estado ecológico deteriorado en ambas lagunas, y un incremento en la concentración de los principales parámetros analizados (Clorofila a, Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) y Fósforo Total (PT)) en los últimos años. Estos resultados reflejan el bajo estado ecológico y el alto nivel de eutrofia en que se encuentran las lagunas y muestran la importancia de una correcta gestión de los usos de las cuencas de humedales.

## Palabras clave:

Actividad agropecuaria, humedales, gestión hídrica, Nitrato, Fosfato, monitoreo con dron, estado ecológico.

## 2 ABSTRACT

---

Eutrophication is a natural process that causes the quality degradation of a mass of water due to an excessive growth of autotrophic organisms generated by a nutrient input. All water masses are doomed to a natural eutrophication process, however, this process may be accelerated by an uncontrolled input of nutrients arising from a lack of management of runoff, usually from agriculture. This is one of the reasons why, wetlands are currently the most threatened ecosystem on the planet as a result of their fast disappearance caused by the poor management of their waters.

This work studies the level of eutrophy in two endorheic lakes that are exposed to different land uses in their basins, with the aim of analyzing their current status and their historical evolution through the physicochemical and biological parameters of their waters. For that purpose, we analyzed water samples from the Sariñena lake and the Chiprana salt lake, allowing us to study the ecological status of their waters and compare them with the legislation that applies to them. At the same time, a study was carried out using a drone to evaluate the use of this technology for the potential determination of water quality in this kind of lakes. The study of the parameters analyzed shows a deteriorated ecological conditions in both lakes, and an increase in the concentration of the main parameters analyzed (Chlorophyll a, Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) and Total Phosphorus (TP)) in the last few years. These results reflect the low ecological status and the high level of eutrophy of the lakes and show the importance of a correct management of the uses of the wetland basins.

### Palabras clave:

Agricultural activity, wetlands, water management, nitrate, phosphate, drone monitoring, ecological status.

# 3 INTRODUCCIÓN

---

## 3.1 Antecedentes

El agua es uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, es una de las pocas necesidades que compartimos todos los seres vivos. Al mismo tiempo es un recurso muy frágil, que con el desarrollo actual está viendo reducida su cantidad y calidad. Antiguamente, cuando los avances tecnológicos eran menores, lo más importante para el desarrollo socioeconómico de una zona era que esta poseerá una fuente de recursos, tales como podía ser el carbón para la llegada de industria, suelos fértiles que se pudieran laburar o metales que se pudieran extraer. El agua es el nexo común entre todas las actividades, es importante a nivel social ya que necesitamos aguas de calidad para consumo y otros usos secundarios, es importante para la industria como insumo y para tareas de refrigeración y limpieza, y es importante en las actividades agropecuarias para abastecer tanto a los cultivos como al ganado. Sin embargo, en las últimas décadas, el paradigma ha cambiado, con la llegada de las imponentes redes de distribución de agua y los grandes sistemas de almacenamiento, se ha pasado de un modelo de respeto hacia el agua, que era necesaria para desarrollar las actividades del sector primario, a otro en el que son estas mismas actividades las que amenazan la calidad al recurso.

Una laguna endorreica es un área que obtiene agua a través de las precipitaciones y pierde agua mediante procesos de infiltración o evapotranspiración, es decir, no tiene una salida de agua de carácter superficial o subterránea, es por ello por lo que en estas zonas hay una alta concentración de sales (Orona, 2012).

En función de la época del año podemos encontrar distinta disposición en la estratificación de una masa de agua. Los meses de transición en las aguas suelen ser la primavera y el otoño, ya que son épocas entre dos estaciones tan marcadas y las condiciones fomentan la mezcla de las aguas de manera que se homogenicen las propiedades de estas. Por otro lado, el invierno y el verano suele generar una estratificación más marcada en la que las características fisicoquímicas y biológicas son muy distintas entre los distintos estratos. Encontramos 3 tipos de estratos en las aguas:

- Epilimnion: Aguas superficiales y turbulentas, con circulación permanente, que generalmente cuentan con mayor temperatura y concentración de oxígeno. En invierno se puede transformar en una capa de hielo, ocasionando una inversión en el gradiente de temperaturas.

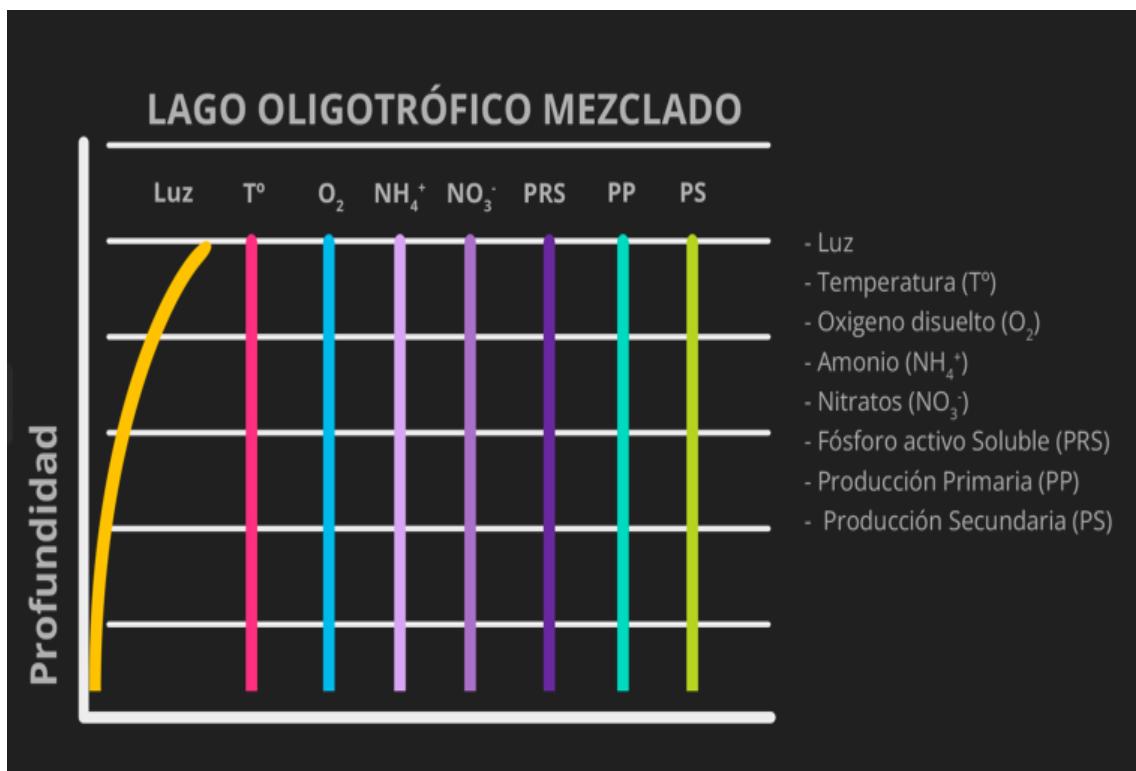
- Metalimnion: Zonas de transición que presentan cambios bruscos de temperatura y oxígeno en profundidad. Aquí se encuentran las termoclinas, que es el límite en el que varían esas condiciones.
- Hipolimnion: Aguas profundas y densas, con temperaturas frías, menor oxígeno y una mayor salinidad.

La eutrofización es un proceso natural en el cual se produce un deterioro en la calidad de las aguas de un ecosistema originado generalmente por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que provocan un desequilibrio en el crecimiento de la materia vegetal cuya descomposición provoca a su vez grandes impactos en el ecosistema, tales como la disminución de oxígeno disuelto, perdida de transparencia y de valor estético, y empobrecimiento de la biodiversidad (García y Miranda, 2018).

En una masa de agua se pueden encontrar 3 estados tróficos:

- Oligotrófico: Son aguas con baja concentración de nutrientes y poca producción biológica. Las aguas son claras, hay pocas plantas acuáticas y peces, y fondos arenados.
- Mesotrófico: Presenta moderada producción biológica y cuenta con nutrientes disponibles. Cuenta con aguas claras y una buena biodiversidad funcional.
- Eutrófico: Alto nivel de productividad y acumulación de nutrientes en el hábitat. Aguas turbias, mucha biomasa y poca biodiversidad funcional e hipoxia.

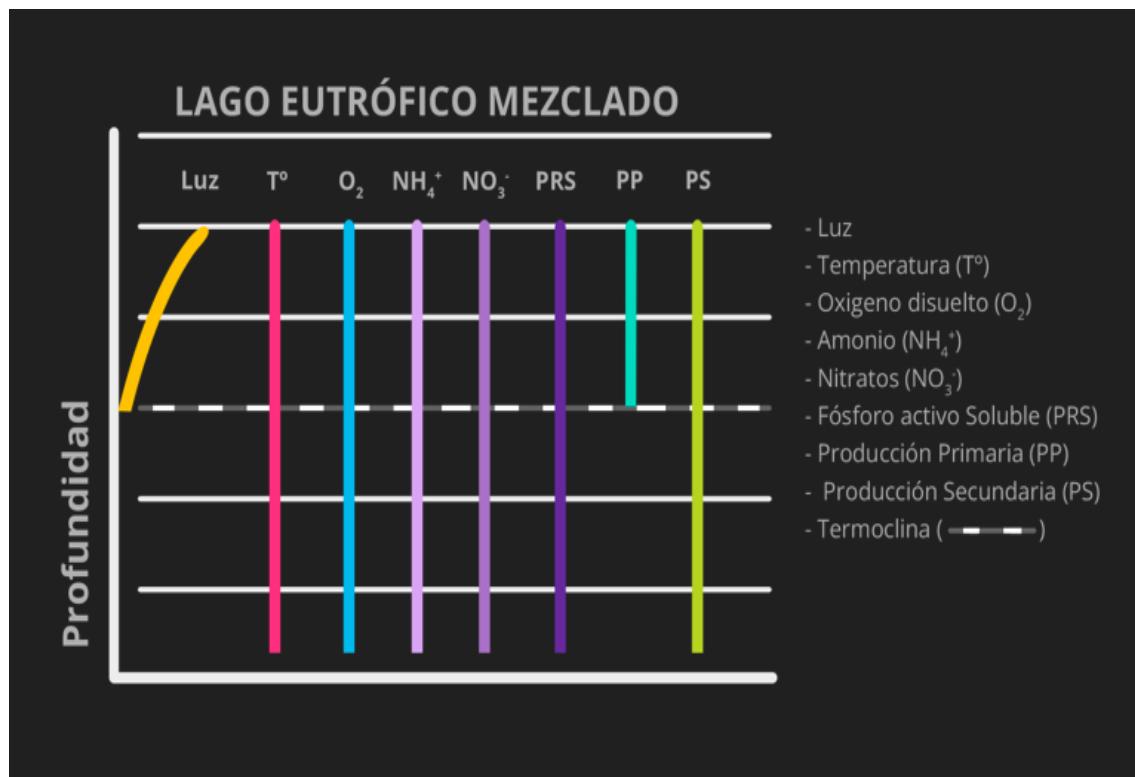
Los dos estados tróficos principales de una masa de agua son la Oligotrofia, que se puede considerar como un estado inicial del lago, y la Eutrofia, que se asemeja al estadio final de un lago que lleva tiempo desarrollando su actividad. La mesotrofia sería simplemente una etapa de transición entre estos y la hipertrofia es el estadio final de muerte de una masa de agua. A continuación, se muestran un conjunto de gráficos en los que se puede apreciar la respuesta de una masa de agua ante cambios en los recursos y factores del medio en función de su estado, aunque también influye la época del año, ya que no es lo mismo que este estratificado a que no lo esté.



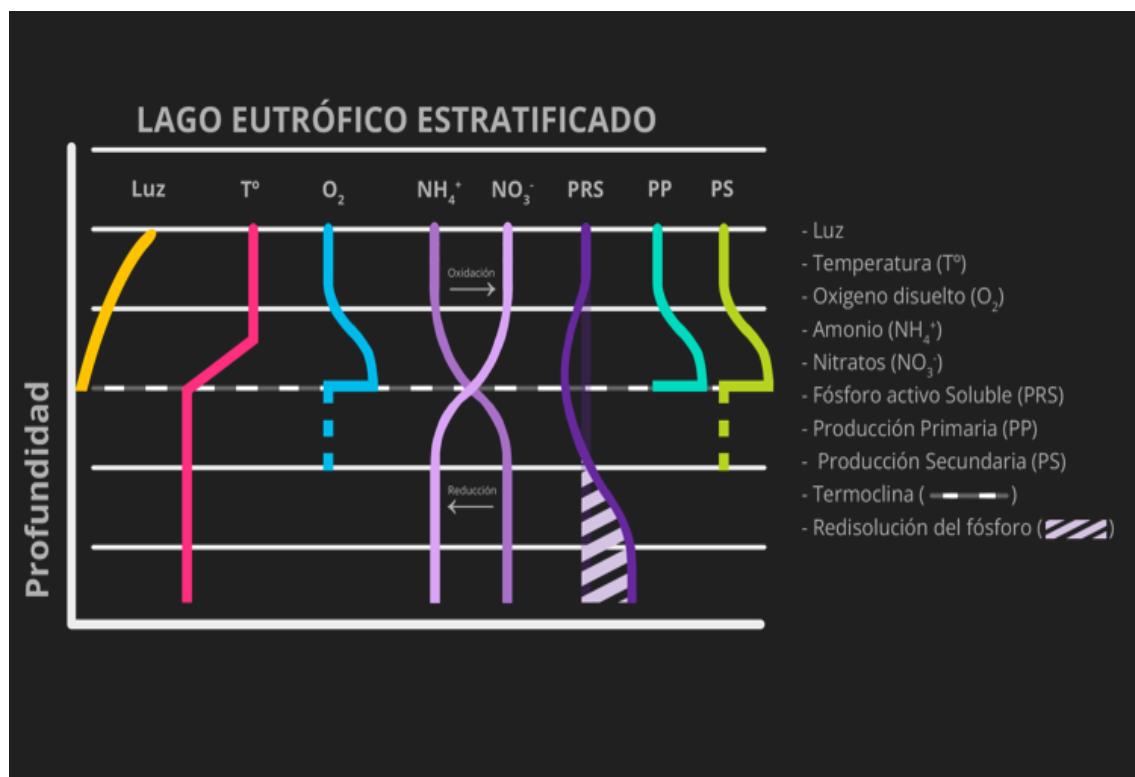
**Figura 1:** Parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago oligotrófico mezclado.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2:** Parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago oligotrófico mezclado.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 3:** Parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago oligotrófico mezclado.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4:** Parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago oligotrófico mezclado.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Dependiendo de la época del año y las condiciones exteriores se encuentra mezclado, que se suele dar en primavera y otoño cuando hay un cambio de temperaturas que rompe la termoclina, o estratificado, que se suele dar en invierno o verano cuando la radiación genera que las capas del lago estén a distinta temperatura en profundidad. Se puede apreciar que los sistemas oligotróficos son más sensibles a los cambios en los recursos, mientras que los eutróficos no generan tanta respuesta ante estos cambios. Es por ejemplo el caso del fosforo, en un lago oligotrófico al tener poca cantidad de nutrientes un aumento en la cantidad del fósforo ocasiona una gran respuesta en la producción primaria ya que este ocasiona que se puedan desarrollar, sin embargo, en un lago con eutrofia, aunque aumente más la cantidad de fosforo no se generara una respuesta tan grande como en el caso anterior.

Todos los lagos tienden a eutrofizarse en mayor o menor medida con el paso del tiempo y de manera natural, de una manera lenta y gradual, sin embargo, la acción antrópica genera una aceleración del proceso con un incremento descontrolado de la biomasa y a su vez un desequilibrio en el ecosistema. A pesar de ser un proceso natural, hay factores que aceleran ese proceso de deterioro del hábitat, en concreto se pueden agrupar en 3 focos (García y Miranda, 2018):

- Residuos provenientes de la agricultura: El uso indiscriminado de fertilizantes y estiércol es uno de los principales responsables de la eutrofización, debido a que el excedente que no es retenido por el cultivo ni el suelo se desplaza por escorrentía, con ayuda del agua proveniente de precipitaciones o riegos, hasta alcanzar masas de agua bajas.
- Vertidos industriales y municipales: Con el desarrollo y consumo actual, la sociedad requiere cada vez de más materias primas elaboradas mediante procesos industriales que requieren del uso de agua, ya sea como insumo o como refrigerante, y en este proceso la calidad del agua que llega después a los ríos se ve afectada, ya sea por el aporte de componentes biodegradables o de otros varios que pueden ser tóxicos y altamente contaminantes.
- Emisiones de la quema de combustibles fósiles: El proceso de combustión de los combustibles fósiles genera una gran cantidad de óxidos de nitrógeno, fósforo y azufre que pueden desencadenar procesos de lluvia ácida que envían esos componentes a las masas de agua.

Las principales consecuencias de la eutrofización de una masa de agua son:

- Cambio en las especies de flora y fauna. Elevado crecimiento de algunas poblaciones y mortandad de otras.

- Disminución de la biodiversidad natural y funcional del ecosistema.
- Aumento de la biomasa, en primer lugar, de algas y a lo largo del proceso aumento de fitoplancton. Crecimiento descontrolado de macrófitos acuáticos.
- Aumento de la turbidez de las aguas y disminución a su vez de la capa fótica.
- Incrementación de la sedimentación y de la Materia Orgánica de la masa de agua
- Disminución del oxígeno disuelto biodisponible debido a la degradación de la MO acumulada.
- Malos olores e impacto paisajístico en las inmediaciones de la masa de agua.

### 3.2 Justificación

La laguna de Chiprana y la laguna de Sariñena son de origen endorreico. La laguna de Chiprana disfruta de unos procesos hidrológicos propios de una laguna endorreica, la cual obtiene agua debido a las precipitaciones y descarga agua gracias a la evapotranspiración, debido a que los usos del suelo que se desarrollan en las inmediaciones de esta no generan grandes aportes a la cuenca. Desde 2011 aproximadamente, como medida de gestión y con el objetivo de romper la estratificación, se realiza un aporte de agua dulce. El aporte se realiza a través de apertura de la tajadera de forma manual por parte de un Agente de Protección de la Naturaleza en periodo invernal. Se pretende con ello mantener un volumen anual de entrada de agua de aproximadamente 300.000 m<sup>3</sup>, de los que aproximadamente un 50 % corresponderían a esta fuente (DGA, 2022). Por otro lado, se encuentra la laguna de Sariñena, muy influenciada por los usos agrícolas y ganaderos que se desarrollan a su alrededor. Desde 1950, en que la cuenca se puso en regadío (Pedrocchi, 1986), se ha producido un recrecimiento del volumen de la laguna y un cambio en el patrón hidrológico natural de esta. El desarrollo continuado de las actividades pertenecientes al sector primario, principalmente la recepción de sobrantes de regadío, ha llevado a la laguna a un alto grado de eutrofia y a la dulcificación de la laguna.

Este estudio pretende determinar distintos parámetros fisicoquímicos, entre ellos la salinidad y las concentraciones de fosfato, nitrógeno, y parámetros biológicos tales como la concentración de clorofila, carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico disuelto (COD), con la finalidad de analizar el grado de eutrofia que presentan las dos lagunas endorreicas en la actualidad, y a su vez comparar las características propias de cada

laguna con los valores de referencia del RD 817/2015, así como su evolución histórica en el tiempo bajo la influencia de los cambios en los usos del suelo.

### 3.3 Objetivos

Objetivo principal: Evaluar y comparar el grado de eutrofia de dos lagunas endorreicas bajo diferente nivel de influencia de la agricultura.

Objetivos específicos:

- Estudiar la evolución histórica de los principales parámetros fisicoquímicos y biológicos asociados a la eutrofia en dos lagunas de Monegros.
- Comparar la evolución histórica de ambas algunas y relacionarla con la gestión agrícola de sus cuencas.
- Evaluar las posibilidades del uso de dron para la determinación del grado de eutrofia de una laguna de estas características.

La investigación llevada a cabo en la elaboración de este TFG contribuirá al cumplimiento de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible aprobados por la ONU en 2015 y pertenecientes a la agenda 2030 para el desarrollo sostenible. En concreto, este TFG está vinculado directamente con el objetivo 6, Agua limpia y saneamiento y su Meta **6.6**: De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. Ya que mediante este trabajo se analiza la situación de algunas de las masas continentales que han sufrido una degradación acelerada en las últimas décadas, que es uno de los objetivos de esta meta.

También está relacionado con el ODS 15, Vida de los ecosistemas terrestres y sus metas **15.5**: Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción; y **15. a**: Movilizar y aumentar de manera significativa los recursos financieros procedentes de todas las fuentes para conservar y utilizar de forma sostenible la diversidad biológica y los ecosistemas. Esto es debido a que conociendo la situación de estas lagunas y su nivel de degradación se pueden destinar los recursos y esfuerzos para adoptar medidas que ayuden a la conservación de estos hábitats.

## 4 ÁREA DE ESTUDIO

---

Las lagunas objeto de estudio se encuentran en la Comunidad Autónoma de Aragón, ambas dos en la cuenca hidrográfica del Ebro separadas por aproximadamente 62 kilómetros. Pertenecen a distintas comarcas, la comarca de los Monegros para el caso de Sariñena (Provincia de Huesca), y la comarca del Bajo Aragón-Caspe para el caso de Chiprana (Provincia de Zaragoza).

Monegros es una zona árida y subdesértica que se localiza en la parte central del valle del Ebro. Esta zona ha sido siempre objeto de estudios científicos por sus características particulares tanto fisicoquímicas como biológicas. A pesar su régimen hídrico, se desarrollaron sobre el terreno diversos usos como el pastoreo y la agricultura, principalmente de cereal. Con el desarrollo de la agricultura, este conjunto de ecosistemas se está viendo amenazados por diversos factores, entre los cuales destaca el cambio de modelo de los usos tradicionales que combinaban pastoreo con agricultura hacia otro en el que solo se explota la agricultura por la mecanización de esta. A ese abandono se le suma la contaminación que ocasiona esta sobreexplotación debido al uso indiscriminado de fertilizantes, pesticidas y basuras. Por otro lado, se le añade que con el desarrollo de la agricultura en la zona se ha impulsado el desarrollo del regadío en una zona árida, lo que conlleva grandes cambios en las características de la zona que tiene grandes repercusiones en la biología de la zona. Como explica Carmen Castañeda en su libro “Las saladas de Monegros y su entorno”, en los Monegros, la zona más árida de toda la depresión del Ebro, se encuentran un número elevado de humedales salinos endorreicos, que dan entidad al paisaje y que tienen un alto valor en el contexto europeo.

El TFG nace con la participación de la Dra. Rocío López Flores en un proyecto de colaboración del CSIC, denominado “TED2021-130303B-I00: EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA REGULADORA POR LA PAC EN CUENCAS Y HUMEDALES SALINOS PROTEGIDOS. AGROWET” que analizaba las características de las aguas y el asentamiento de algas diatomeas de distintas lagunas endorreicas, cuyas características principales se muestran en la tabla 1:

**Tabla 1: Datos de las lagunas objeto de estudio.**

NOMBRE	COORDENADAS ETRS80 HUSO 30		TERMINO MUNICIPAL	SUPERFICIE (ha)	TIPO
	X	Y			
Complejo endorreico Sástago-Bujaraloz	735032	4589153	Sástago Bujaraloz	239,9	Temporal
Sariñena Chiprana	734413 736076	4631103 4569200	Sariñena Chiprana Santed Gallocanta Berrueco Las Cuerlas Tornos Bello	206 31	Permanente Permanente
Gallocanta	626357	4536511		1924	Permanente

**Fuente:** Elaboración propia.

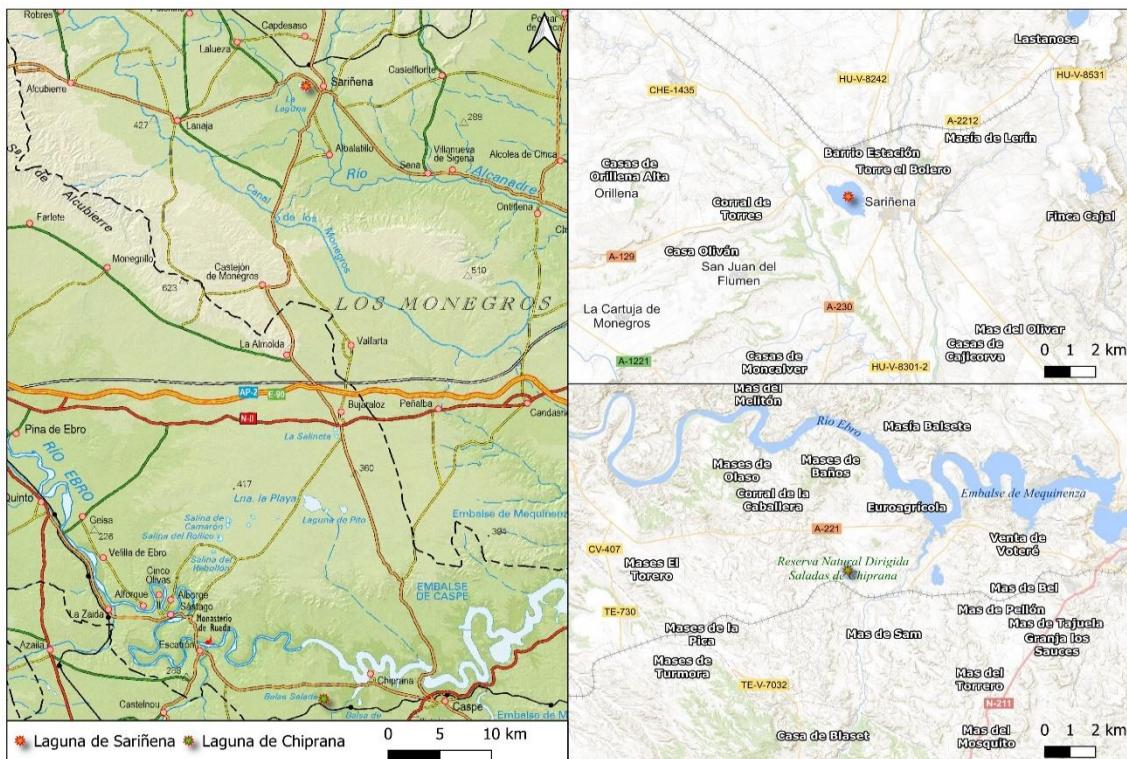
De las 4 lagunas que se visitaron en las salidas de campo, se seleccionó la laguna de Chiprana y la laguna de Sariñena para la realización del trabajo. Así pues, la primera se cogería como una referencia de buena conservación mientras que la segunda sería un estado de sobreexplotación debido a las actividades de sus inmediaciones.

La laguna de Sariñena y la laguna de Chiprana son dos lagunas interiores en cuencas de sedimentación, con carácter endorreico y que tienen agua permanente todo el año, la cual se capta para consumo humano. Además, ambas están declaradas por el Gobierno de Aragón como zona de riesgo medio debido a los usos agrícolas que se desarrollan en sus inmediaciones, se consideran zonas sensibles (Directiva 91/271/CEE) y Vulnerables (Directiva 91/676/CEE). Comparten muchas características, pero se desarrollan en ambientes socioeconómicos distintos.

La Laguna de Sariñena es un lago interior en cuenca de sedimentación, de mineralización alta y permanente, que ha sido muy modificado. Situado en pleno corazón de los Monegros, las inmediaciones de la laguna han sufrido una fuerte transformación debido al desarrollo de la actividad ganadera y al avance de los regadíos. Esta registrado en su ficha del Gobierno de España que tiene un estado ecológico y biológico malo, se considera que tiene un impacto alto debido a los usos agrícolas, principalmente de los cultivos de regadío que ceden una gran cantidad de nutrientes y sales mediante el lavado de las superficies, y un impacto medio por parte de los usos ganaderos.

En el otro lado encontramos la laguna de Chiprana, un lago interior en cuenca de sedimentación, hipersalino y permanente que cuenta con un gran estado de conservación abarcando incluso un Lugar de Importancia Comunitaria dedicado a su protección, LIC Complejo Lagunar de la Salada de Chiprana, y que está declarado un humedal de importancia internacional del convenio Ramsar. Es un lugar que cuenta con una gran

biodiversidad y un buen estado de conservación de sus aguas, que no se ve afectada por las actividades desarrolladas en sus inmediaciones.



**Figura 5:** Localización de las lagunas. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1 Climatología

En 1980 el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza realizó una recopilación de diversos datos climatológicos de distintas estaciones de los Monegros. Determinaron que la clasificación climática para la zona de los Monegros es de tipo continental, con temperaturas muy elevadas en verano y muy bajas en invierno, y un régimen de precipitaciones muy irregular predominado por fuertes sequías.

De los muchos factores climáticos a estudiar, se van a analizar los principales básicos para caracterizar una zona: La temperatura, las precipitaciones y el viento. El clima de los Monegros se caracteriza por tres rasgos principales (Piazuelo, 2017):

- **La escasez e irregularidad de las precipitaciones:** Debido a su condición de depresión al estar rodeados por tres cordilleras (Pirineos, Ibérica y Costero-Catalana) experimenta el efecto Foehn, que consiste en precipitaciones en el lado más próximo a la costa, ya que esta cede aire húmedo que al ascender la cordillera se enfriá y condensa generando precipitaciones, y escasez de precipitaciones y aridez en la ladera opuesta, que en este caso es la zona de los Monegros, debido a que ese aire seco trata de captar la humedad del ambiente y se va calentando conforme desciende. En invierno es muy común

observar nieblas debido a la inversión térmica que se genera en esta zona por su depresión.

- Régimen térmico extremo: Esta zona presenta un fuerte contraste de temperaturas entre el verano y el invierno, y además estas estaciones son mucho más marcadas y duraderas que la primavera y el otoño.
- Fuerte insolación y vientos: Hay un efecto sinérgico debido a la unión del efecto que produce los fríos e intensos vientos de componente NW (cierzo) y el efecto de los vientos cálidos y ocasionales del SE (bochorno), que ocasionan una desecación del aire generando la semiaridez de la zona, y por otro lado una importante migración de las sales de las lagunas endorreicas en su época de secación.

Las lagunas se ubican en dos zonas con climas muy similares, y que muestran un patrón típico de los Monegros como se explicaba anteriormente. A continuación, se muestran dos tablas en las que se puede apreciar datos de temperaturas y de precipitaciones del periodo que abarca entre 1997 y 2021, y se seleccionaron estaciones de toma de datos muy próximas a las lagunas, como son San Juan de Flumen para el caso de Sariñena y Caspe para la laguna de Chiprana.

**Tabla 2: Temperaturas y precipitaciones en San Juan de Flumen entre el periodo 1997-2021.**

Municipio	Cuenca Hidrográfica		Provincia		Coordenada X (Huso 30)						Coordenada Y (Huso 30)			
San Juan de Flumen	Ebro		Huesca		730800						4626011			
<b>Temperaturas (°C)</b>														
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio		
5,5	7,2	10,8	13,5	17,7	22,4	24,8	24,2	19,6	15,6	9,4	5,6	14,7		
<b>Precipitaciones (mm)</b>														
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total		
25,7	16,9	33,1	44,7	41,6	33,7	17,7	21,74	28,8	40,5	34,1	20,2	358,9		

**Fuente:** Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

**Tabla 3: Temperaturas y precipitaciones Caspe entre el periodo 1997-2021.**

Municipio		Cuenca Hidrográfica			Provincia			Coordenada X (Huso 30)			Coordenada Y (Huso 30)		
Caspe		Ebro			Zaragoza			748097			4569336		
Temperaturas (°C)													
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	
6,7	8,7	12,1	15,0	19,0	23,9	26,3	26,2	22,1	17,3	10,8	6,8	16,2	
Precipitaciones (mm)													
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
24,6	15,1	29,0	38,5	42,2	23,6	11,9	15,0	28,9	31,8	32,8	17,3	310,6	

**Fuente:** Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

Ambas dos lagunas muestran patrones muy similares, temperaturas medias anuales muy parecidas en ambas, con 14,7 °C en la laguna de Sariñena y con un valor superior de 16,2°C para la laguna de Chiprana, y una escasez de precipitaciones que en ambos casos se encuentran por debajo de los 400mm anuales, con un mayor volumen de precipitaciones en la laguna de Sariñena, superando a la de Chiprana por casi 50 mm.

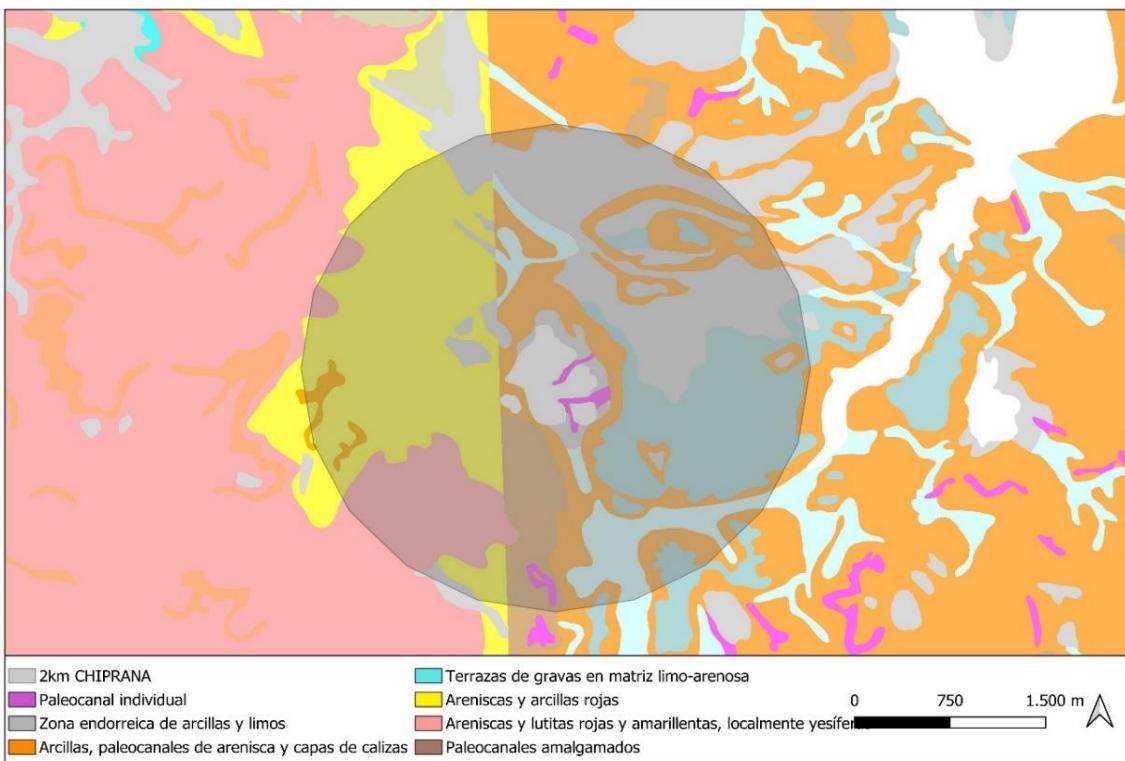
No se encuentran grandes diferencias de temperaturas a lo largo del año entre ambas. Encontramos los meses más calurosos en verano, en el mes de julio, con datos de 24,8°C para Sariñena y de 26,3°C en Chiprana, y el mes más frío es enero con valores de 5,5°C en Sariñena y 6,7°C en Chiprana.

En cuanto a las precipitaciones, a pesar de que en ambos puntos encontramos escasez de estas, se pueden apreciar diferencias en los patrones temporales de distribución. En ambos puntos coincide el periodo con mayor abundancia de precipitaciones, siendo la primavera la que cuenta con los meses más húmedos del año, con datos de 44,7mm en abril en Sariñena y 42,2mm en mayo para Chiprana de máximos. Encontramos también en ambos puntos que la segunda época del año más húmeda es el otoño, con valores de 40,5 mm en octubre en Sariñena, y de 32,8 mm en noviembre para Chiprana. En el caso del mes más seco, sí que encontramos diferencias, ya que el mes con menor cantidad de precipitaciones se encuentra en febrero con 16,9 mm en Sariñena, y, sin embargo, en Chiprana se localiza en verano en el mes de Julio con 11 mm.

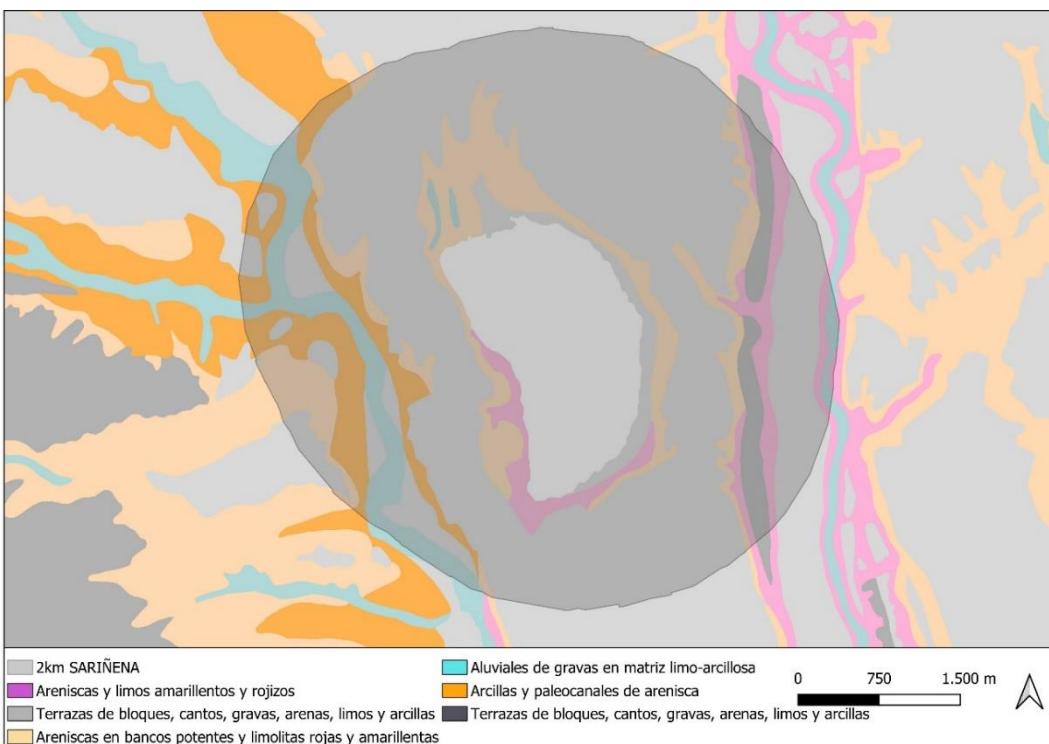
## 4.2 Formación geológica

La cuenca del Ebro cuenta con una única e interesante geología, no solo por las diversas formaciones geológicas que alberga sino también por el amplio registro fósil que contiene, del que se puede obtener una gran cantidad de información acerca de la evolución del clima, del suelo y de las especies que habitaban estos hábitats en el pasado, por lo que tiene una gran importancia para reconstruir la historia de la Cuenca del Ebro.

Esta región está compuesta por yesos, calizas, margocalizas y lutitas depositadas en el Oligoceno superior y Mioceno inferior.



**Figura 6:** Geología de la laguna de Chiprana con buffer de 2km. **Fuente:** Hoja 441-442 IGME (MAGNA 50 2<sup>a</sup> Serie).



**Figura 7:** Geología de la laguna de Sariñena con buffer de 2km. **Fuente:** Hoja 356-357 IGME (MAGNA 50 2<sup>a</sup> Serie).

La formación de la depresión del Ebro está relacionada con la formación de dos grandes cadenas montañosas que se ubican colindantes a la misma: La Cordillera Ibérica y la Cordillera Pirenaica.

Durante el Paleógeno, en la orogenia alpina, los Pirineos se elevan producto de un choque entre placas tectónicas, en concreto la Ibérica y la europea, de la misma manera que lo hicieron los Alpes o el Himalaya. En un periodo más amplio, desde el Cretácico final al Oligoceno, la Cordillera Ibérica nació gracias a procesos de compresión que sufrió la placa Ibérica, resultado del empuje de las placas Euroasiática y africana, que obligó a esta a actuar como cordillera intracontinental y sufrió una serie de plegamientos.

A lo largo del Terciario tuvo lugar una sedimentación marina que tomaba el relevo de la sedimentación marina que hubo en parte de la era mesozoica, y posteriormente una sedimentación continental. Tras la orogenia alpina hay un tránsito de mar a continente en la que se desarrollan depósitos detríticos que cubren los depósitos marinos.

A finales del Paleoceno y a lo largo del Eoceno, la cuenca del Ebro se encontraba en contacto con el Océano Atlántico, y no es hasta el Oligoceno inferior que la cuenca se cierra y sufre una sedimentación continental. A lo largo del Mioceno continua la misma situación y sufre importantes procesos de subsidencia y a su vez se transforma el clima a otro más árido.

Las lagunas endorreicas de Monegros se dispersan a lo largo de una plataforma estructural de 400 m de altitud media. Se identifican dos grupos de lagunas: Playa-lakes y clotas. Las primeras se caracterizan por fondos planos e inundaciones estacionales o puntuales mientras que las segundas son humedales cubiertos de vegetación que rara vez contienen agua.

La formación de las saladas comienza con la formación de una dolina kárstica, debido a procesos de disolución de calizas o yesos que hacen que se generen estas formaciones. Cuando la depresión alcanza el nivel freático comienza la inundación y a su vez la evaporación, dando lugar a los Playa-lakes. Los procesos de socavación se contrarrestan con la colmatación debido a los aportes de sustratos de las zonas periféricas. Presentan variedad de tamaños que pueden ir desde 1ha hasta las 240ha. A pesar de la fuerte aridez de estos entornos, la escasa parte de lluvia que no se evapora se infiltra en el terreno y da lugar a estas lagunas. Su salinidad puede llegar a alcanzar hasta 10 veces la del mar (400 g/L). En ocasiones, cuando el agua circula por las diaclasas y fracturas se pueden originar vales y depresiones.

## 4.3 Hidrología

La zona de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del Ebro, situada al noreste de la Península Ibérica. Las lagunas se localizan a ambos lados del río Ebro, en el margen norte del río para la laguna de Sariñena y en el margen sur en el caso de la de Chiprana.

El Ebro es un río del noreste de la península ibérica cuyo nacimiento se sitúa en el municipio cántabro de la Hermandad de Campo de Suso. El río tiene una longitud total de 930 km, siendo su cuenca hidrográfica la más extensa de España, con una superficie de 86.100 km<sup>2</sup>.

La laguna de Sariñena se ubica al este del río Flumen, un río de 120 km que nace al norte de la ciudad de Huesca y desemboca en el río Alcanadre, que se ubica al este de la propia laguna. En las inmediaciones de esta laguna de acuerdo con los datos obtenidos del GeoPortal Sitebro se registran un total de 4 pozos y 4 tomas de agua, y no hay ningún vertido directo conocido a la laguna.

La laguna de Chiprana no presenta más masas de agua a su alrededor, lo más cercano es el río Ebro que se encuentra a casi 6 kilómetros. En las inmediaciones de esta laguna de acuerdo con los datos obtenidos del GeoPortal Sitebro se registran 3 tomas de agua, y no hay ningún vertido directo conocido a la laguna.

En ambas zonas hay presencia de canales superficiales y no se registran masas de aguas subterráneas bajo la zona de estudio.

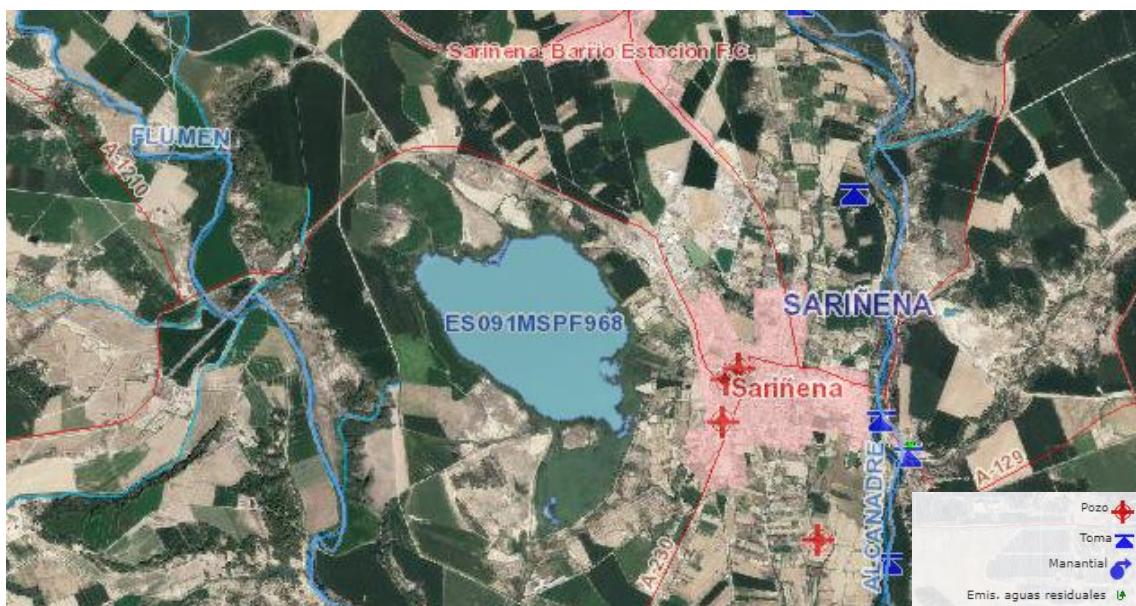


Figura 8: Hidrología en la laguna de Sariñena. Fuente: GeoPortal Sitebro.



**Figura 9:** Hidrología en la laguna de Chiprana. **Fuente:** GeoPortal Sitebro.

#### 4.4 Usos del suelo

Para determinar los usos del suelo que ocupan la zona de estudio se ha tomado un área de 2 kilómetros alrededor de las lagunas, por lo que se estudia la ocupación del suelo en un área total de 1257 hectáreas.

En cuanto a la laguna de Sariñena, encontramos que casi la mitad de la superficie del área de estudio se encuentra ocupada por terrenos que están destinados a cultivos de regadío. Casi un 20% de la superficie total se encuentra ocupada por la propia laguna y sus áreas circundantes inundadas. Algo más del 20% está destinado a superficies de ámbito más natural, formadas por los bosques mixtos y de coníferas, los matorrales esclerófilos y prados y praderas, principalmente pino carrasco, pino piñonero, coníferas autóctonas y árboles de ribera. Y por último casi un 15% está destinado a zonas urbanas y otros usos industriales.

**Tabla 4:** Usos del suelo en la Laguna de Sariñena.

Uso del suelo	Superficie (ha)	Ocupación (%)
<b>Laguna de Sariñena</b>	170,2	7,4
<b>Áreas inundadas</b>	70,1	3,0
<b>Bosque mixto</b>	35,2	1,5
<b>Prados y praderas</b>	51,6	2,2
<b>Bosque de coníferas</b>	164	7,1
<b>Matorrales esclerófilos</b>	35	1,5
<b>Frutales</b>	62,8	2,7
<b>Terrenos regados permanentemente</b>	1545	66,9
<b>Zona industrial</b>	91	3,9
<b>Tejido urbano</b>	84,3	3,7

Fuente: Elaboración propia (CORINE).



**Figura 10:** Usos del suelo en el entorno de la laguna de Sariñena con buffer de 2km.

Fuente: Elaboración propia.

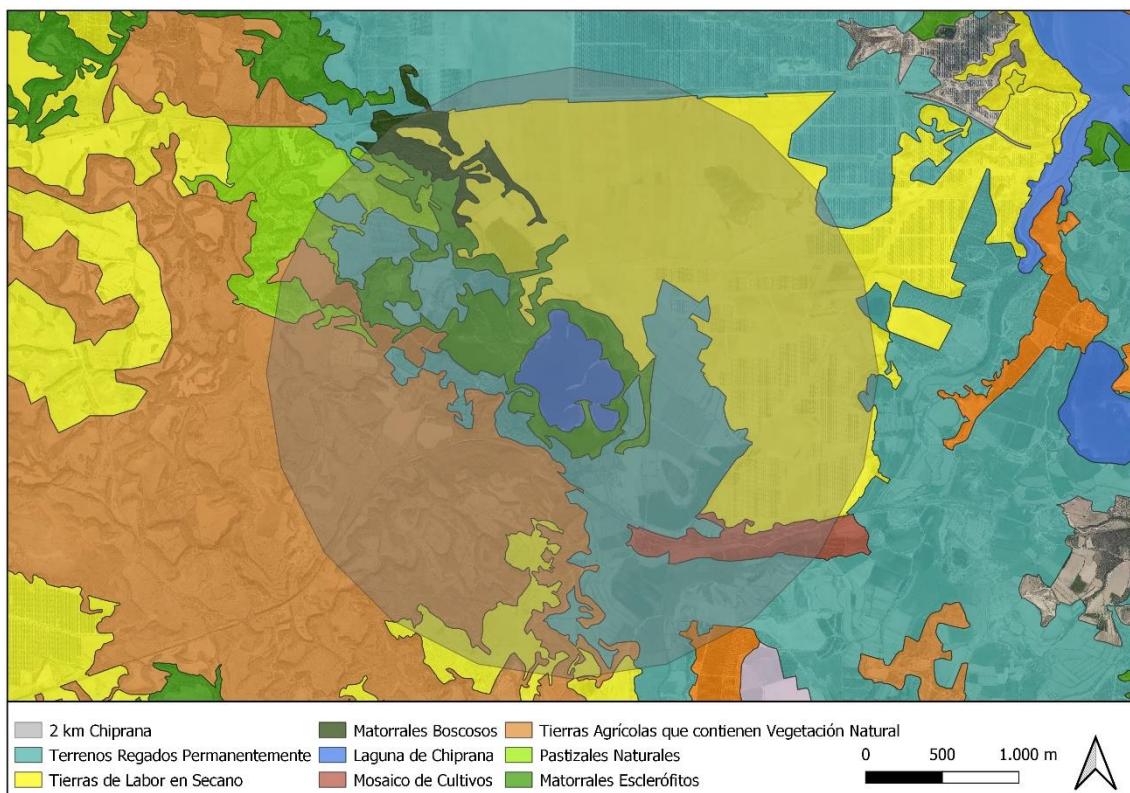
En la laguna de Chiprana, se encuentra una gran reducción en el terreno destinado a el regadío, con un 30% de la superficie destinado a este uso. Es un porcentaje bastante elevado, sin embargo, el comienzo de esta práctica es mucho más reciente que en Sariñena, puesto que en la zona comenzó en torno a 2010 debido a una serie de planes promovidos por el Gobierno de Aragón para potenciar la agricultura, sin embargo, en Sariñena hay registros de actividad agrícola desde los años setenta. En cuanto al espacio ocupado por la laguna es únicamente de algo más de un 2%. Mas de un 30% se encuentra

destinado a los cultivos de secano, el cual no tiene tanto impacto en la laguna debido a su manejo. En torno a un 35% de la superficie se encuentra destinada a usos más naturalizados, entre ellos los pastizales tanto con matorrales como espontáneos, matorrales boscosos y matorrales esclerófilos, ocupando todo el perímetro de la laguna principalmente por especies arbustivas de monte bajo, pero también encontrando masas forestales de pino carrasco.

**Tabla 5:** Usos del suelo en la Laguna de Chiprana.

Uso del suelo	Superficie (ha)	Ocupación (%)
<b>Laguna Chiprana</b>	33,4	2,71
<b>Pastizales con matorrales</b>	282,2	22,8
<b>Matorral boscoso</b>	18,5	1,5
<b>Matorrales esclerófilos</b>	93	7,5
<b>Pastizales naturales</b>	31,4	2,5
<b>Terrenos regados permanentemente</b>	298,4	24,2
<b>Mosaico de cultivos</b>	59	4,8
<b>Tierras de secano</b>	419,2	33,9

Fuente: Elaboración propia (CORINE).



**Figura 11:** Usos del suelo en el entorno de la laguna de Chiprana con buffer de 2km.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5 MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 5.1 Muestreo de campo

De manera general en las salidas de campo se realizaron los siguientes procedimientos:

- Toma de muestras para la determinación de parámetros fisicoquímicos y biológicos.
- Análisis espectral de la laguna mediante el uso de dron.

El primer día que se acudió al campo fue el 21 de abril de 2023. Se comenzó en la laguna de Sariñena donde se encontraba el CSIC con la investigadora Carmen Castañeda. Dos personas se introdujeron en la laguna mediante una barca para realizar la medición de parámetros fisicoquímicos, *in situ*, mediante una sonda multiparamétrica Hach-Langue. Además, se tomaron muestras de macroinvertebrados acuáticos y de agua, que se analizarían posteriormente.

Posteriormente nos desplazamos a Chiprana, donde se realizó de la misma manera el proceso, con la excepción de que se emplearon vadeadores para poder acceder a puntos de muestreo en los que había un mayor volumen de agua.

La siguiente salida de campo, el 14 de junio de 2023, se dedicó a la recogida de muestras con el grupo de investigación del Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN) del CSIC, especializados en la toma de muestras de agua con drones en zonas de difícil acceso.

El procedimiento es simple de explicar, aunque era realmente complejo de llevar a cabo. El equipo de drones estaba formado por 3 personas que llevaban a cabo el manejo de los drones (características del dron en la figura 38 de Anexos). Es importante tanto la propia habilidad de controlarlo como que el resto de información sobre el entorno que le rodea. La toma de muestras se llevaba a cabo mediante un recipiente que, enganchado mediante una larga cuerda al dron, se acercaba a los puntos previamente escogidos para la toma de muestras, y sumergía dicho recipiente en el interior de la laguna. Una vez obtenida la muestra, el dron volvía a la zona base, donde se debía sujetar cuidadosamente esa muestra y depositarla en otro recipiente, para así liberar la carga del dron que se desplazaba a otro punto para la recogida de la muestra.

El proceso era simple pero la utilización del dron aporto una gran facilidad a la toma de muestras y una gran rapidez.

Por otra parte, el segundo dron, de forma simultánea tomaba fotografías de toda la superficie de la laguna a diferentes longitudes de onda, con el fin de buscar una correlación entre esta información y los datos obtenidos posteriormente en el laboratorio, tras el análisis del agua recogida.

En ambas lagunas, y ambos muestreos, se recogieron muestras de agua directamente para el análisis de nutrientes totales (fósforo y nitrógeno total, y carbono orgánico total) que se conservaron en una botella de vidrio lavada con ácido y a temperatura inferior a 5°C hasta su análisis. Los nutrientes disueltos se conservaron de igual manera, pero previamente se filtró la muestra de agua con un filtro Whatman GF/F. Para el análisis de clorofila-a, se filtró un volumen conocido de agua mediante un filtro GF/F que se conservó a <20°C hasta su análisis.

## 5.2 Parámetros fisicoquímicos

La toma de muestras y las mediciones de los siguientes parámetros fisicoquímicos se realizaron de la misma manera para ambas lagunas de estudio.

Las medidas de los parámetros fisicoquímicos se basan en una fase de reacción con otro reactivo que le da una coloración y posteriormente la medida de esta con un espectrofotómetro que nos dará las concentraciones de las muestras gracias a la previa calibración de los patrones. Esta calibración se lleva a cabo mediante una serie de disoluciones patrón, las cuales se preparan para que tengan distintas concentraciones de fósforo, y un blanco que no contiene fósforo, de manera que estos patrones se miden y nos darán unos valores de absorbancia mediante los cuales obtendremos una recta de calibrado mediante la cual podremos obtener la concentración de fósforo de nuestras muestras en función de la absorbancia que obtengamos en el espectrofotómetro.

Las metodologías de análisis de concentración de los diferentes nutrientes se basaron en las recogidas por APHA/AWWA/WEF, (2012). Se resumen brevemente a continuación.

La medida de la **concentración de fosfato** se realiza mediante el método del molibdato de Murphy y Riley, el cual consiste en hacer reaccionar el molibdato con el fósforo, dando a la muestra una tonalidad azul.

Para la medición de la **concentración de nitrito** se emplea el método de la sulfanilamida, que es muy similar al anterior, pero emplea reactivos distintos, que son la sulfanilamida que reacciona con el nitrito para dar un compuesto orgánico que posteriormente reacciona con N-NEDA para dar lugar a una amina aromática que tiene un color rosa.

Para la obtención de la **concentración de nitrato** se emplea el método de reducción del nitrito, el cual consiste en reducir el nitrato a nitrito mediante cadmio y posteriormente se mide ese producto con la técnica anterior.

La medida del **nitrógeno total** se realiza mediante una transformación en nitrato gracias a un proceso de oxidación a alta presión, de manera que por espectrofotometría se puede obtener el resultado, que en este caso sería la suma del nitrógeno orgánico e inorgánico. Para la medición del **fósforo total** se sigue un proceso similar, transformándolo mediante alta presión en fosfato y midiéndolo como se explica anteriormente, para obtener la suma del fósforo reactivo soluble y del fósforo orgánico disuelto.

No se pudo analizar la concentración de amonio ya que la salinidad produce interferencia en la metodología existente.

### 5.3 Parámetros biológicos

Para medir la concentración de **Carbono Orgánico Disuelto (COD)** y de **Carbono Orgánico Total (COT)**, las muestras se enviaron a un laboratorio de Barcelona y fueron analizadas mediante un analizador elemental TOC.

En el caso de la **clorofila** el proceso consta de distintas fases. Mediante el muestreo de perifiton se determinó el estado trófico de la masa de agua en cada punto de muestreo, utilizando la concentración de clorofila por unidad de área (Dodds et al., 1998). Las muestras se extrajeron y analizaron siguiendo los protocolos estándar (Elosegui & Sabater, 2009). Se recogió una piedra para cada punto de la laguna, la cual se rasco con un molde que delimitaba 25cm<sup>2</sup> de la roca. Lo resultante de ese proceso se recogió en un vial cubierto con una capa aislante para que no recibiera luz.

Tras la toma de muestra se lleva a cabo la extracción de la clorofila, mediante el uso de acetona al 90% y un periodo de entre 8-12h a una temperatura de entre 0-10°C en el que el disolvente está en contacto con la muestra. Posteriormente se puede llevar a cabo la medición de la clorofila a en el espectrofotómetro, para lo que se utilizará diferentes longitudes de onda:

665nm que es la longitud de onda que la clorofila a absorbe.

750nm para eliminar la turbidez que puede alterar los resultados de la muestra.

430nm es el rango para obtener la concentración de carotenoides.

Tras esta medida para obtener la concentración de este parámetro se emplea la siguiente fórmula:

$$Chl\ a = 11,4 (A_{665} - A_{750})V / (LS) \quad (12.3)$$

donde  $Chl\ a$ : clorofila a ( $mg/m^2$ ),  $A_x$ : absorbancia a  $x$  nm,  $V$ : volumen del extracto (mL),  $L$ : longitud de la cubeta del espectrofotómetro (cm), y  $S$ : superficie de sustrato muestreado ( $cm^2$ ).

**Figura 12:** Fórmula para la obtención de clorofila a. **Fuente:** Artículo: La biota de los ríos.

## 5.4 Análisis estadístico

Una vez obtenidos todos los datos fisicoquímicos y biológicos, se procedió al análisis estadístico de los mismos. Se contaba con 3 muestras de cada una de las lagunas, las cuales fueron tratadas tanto en campo como en laboratorio como se explica anteriormente para obtener los resultados de los siguientes parámetros-fisicoquímicos: Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Fósforo total, Nitrógeno total, Clorofila, Oxígeno, pH, Conductividad, Temperatura, Carbono Orgánico Total (TOC), Carbono Orgánico Disuelto (DOC) y Carbono Orgánico Particulado (POC).

Se emplearon diversos programas informáticos, entre los que destacan Excel, Past, QGis y R commander.

En primer lugar, se organizaron los parámetros fisicoquímicos de cada laguna en Excels independientes para ser tratados con el programa R commander, el cual se empleó principalmente para obtener los resultados del dron como se detallará en el último apartado.

Tras esto, se utilizó el programa Excel para comenzar a ordenar todos los datos propios y todos aquellos que se obtuvieron mediante la revisión bibliográfica. Estos datos se trataron con el programa Past para poder sacar datos y gráficas de los Análisis multivariados de Componentes Principales (PCA). Se realizaron PCAs para el conjunto de ambas lagunas y para cada una de ellas individualmente, para así poder ver las diferencias más relevantes entre ambas lagunas, pero también su evolución temporal.

A su vez en Excel se fueron obteniendo gráficos simples de líneas y combinados de columnas y líneas para poder hacer comparaciones de los nutrientes a lo largo del registro de datos. También se realizaron gráficos de la profundidad del disco de Secchi y con datos de precipitaciones para estudiar cómo afectan estos parámetros en las variaciones de las concentraciones de nutrientes.

Con ese programa informático se procedió a calcular la evolución de la relación de Redfield para ambas lagunas y poder así analizar sus necesidades. Estas se calcularon mediante el Fósforo Reactivo Soluble (PRS), el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) y el

Carbono Orgánico Disuelto (COD), para así obtener unas relaciones entre nutrientes que reflejaban el exceso o ausencia de cada uno en el registro temporal.

Posteriormente se obtuvo un valor para cada dato de clorofila mediante una división del valor de referencia de cada una de las lagunas ( $3,5\text{ mg/m}^3$  en L-T20 (Sariñena) y de  $3\text{ mg/m}^3$  en L-T22 (Chiprana)) entre el valor de clorofila de la laguna para cada uno de los años. Mediante un gráfico de líneas se colocó ese valor y se establecieron los límites de calidad marcados por el Real Decreto 817/2015 para los distintos niveles de catalogación de la clorofila. Se obtuvo un gráfico similar con las concentraciones de fósforo total y los distintos valores de los niveles de calidad que establece el Decreto para las concentraciones de este nutriente. Mediante estos gráficos se podía visualizar como ha ido variando la eutrofia de nuestras lagunas en base a los criterios establecidos por ese Real Decreto.

Por último, mediante el uso de QGis se analizaron las variaciones de los usos del suelo en el entorno de las cuencas. Para obtenerlas se realiza a cada una de las lagunas un buffer (ventana) de 2km del centroide de la masa de agua con QGis, para lo cual se cuentan con datos obtenidos del IGN de la serie CORINE Land Cover de 4 etapas distintas: 1990, 2006, 2012 y 2018. Con los datos de las capas se pueden realizar mapas y obtener información sobre las hectáreas de usos dedicados a cada actividad. Cabe resaltar que se empleó QGis para obtener gran parte de mapas e información del apartado área de estudio.

## 5.5 Revisión bibliográfica y comparativa histórica

Tras el análisis de los datos, se procedió a la búsqueda de información para comparar los resultados obtenidos, el cual es un proceso clave en la investigación y por ello necesita de una correcta planificación. Es necesario saber que buscar, donde buscarlo y como buscarlo, y posteriormente evaluar la información obtenida para seleccionar la mejor posible.

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda general mediante el uso de páginas web y noticias para comenzar a planificar la estrategia de búsqueda y poder ver el volumen de información disponible sobre el tema. Tras esto se comenzaron a emplear fuentes de información que contenían la información necesaria para el desarrollo de la investigación. Se empleó principalmente Google Scholar, AlcorZe, WorldWideScience y otras bases de datos de desarrollo científico como el CSIC, Dialnet, DOAJ y OAIster Worldcat.

Se obtuvo mucha información científica proveniente de artículos y libros, aunque también se obtuvo información valiosa de foros, noticias y revistas y asociaciones

dedicadas a la divulgación científica. También se encontró mucha información en páginas web de organismos oficiales como Gobierno de Aragón, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico o Confederación Hidrográfica del Ebro, que elaboran informes mensuales y recopilan datos e información científica.

Una vez encontrada la información hay que evaluar las fuentes, seleccionando aquellas que presenten el tema con mayor objetividad, posean la información más actualizada y cuenten con un adecuado proceso de edición y revisión por científicos u organismos cualificados.

## 5.6 Análisis de correlación con datos del dron

Este apartado consistía en transformar los valores obtenidos de emisión de las aguas captados por el dron que sobrevolaba las lagunas, en valores de clorofila que puedan ser representados en GIS tras ser transformados mediante una ecuación.

Para la obtención de dicha ecuación, adquirida a través de una recta de calibrado, había que relacionar los valores de clorofila obtenidos en las lagunas de Gallocanta, Chiprana y Sariñena, con los diferentes valores de emisión de agua que se registraban en dichos puntos. El dron obtuvo valores de emisión en distintas bandas longitudes de onda: 475nm (B2), 531nm (B3), 560nm (B4), 650nm (B5), 668nm (B6), 705nm (B7), 717nm (B8), 740nm (B9) y 842nm (B10).

A partir de este planteamiento surgen dos ideas. La primera que dependiendo de la banda de longitud de onda que se escojan, al hacer la regresión con la clorofila nos saldrán unos coeficientes de determinación mayores o menores. La segunda que al realizar una ventana cuadrada de distintos perímetros en torno al punto en el que se tiene ese valor, se podría ver modificado también los coeficientes de determinación. Las ventanas que se escogieron para analizar en torno al punto de muestreo son cuadrados con distintas longitudes: 1m<sup>2</sup>, 3m<sup>2</sup>, 5m<sup>2</sup> y 10m<sup>2</sup>. Los puntos de muestreo aparecen en las Figuras 39 y 40 de los Anexos.

El proceso estadístico de este apartado se realizó mediante análisis de regresión a través del programa informático Rcommander. Se crearon distintas Hojas Excel para introducir en el programa, las cuales contenían los valores de clorofila de las tres lagunas juntas, no se hacía distinción, y los distintos valores de emisión de agua en función de las distintas Bandas de longitud de onda. De esta manera se realizaban análisis de regresión entre la clorofila y cada una de las bandas, obteniendo así valores distintos para cada una de ellas. Además, a eso había que sumarle que se obtendrían esos mismos valores con la

diferenciación de la aplicación de un búfer de en torno a esos puntos de distintos valores de perímetro.

Los valores obtenidos que se seleccionaron de entre todos que facilitaba el programa son:

Valor p (p-value): Este dato nos indica si existen evidencias estadísticamente significativas para establecer una relación entre las dos variables. Esa relación se produce para un valor inferior a 0,05.

Coeficiente de determinación (R-squared): Este valor representa la variación entre la variable Y con respecto a una o más variables X, de manera que cuanto mayor sea ese valor, mejor representada estará esa relación mediante la ecuación.

Ecuación de calibrado ( $Y=mX+n$ ): Es la ecuación que se obtiene de la regresión para obtener los valores de la variable explicativa (X) o de la variable explicada (Y), conociendo también la pendiente de la regresión (m) y la ordenada en el origen (n).

Se obtuvieron un total de 10 valores (1 por cada Banda de longitud de onda) en cada una de las ventanas seleccionadas, por lo que se obtuvieron 50 valores distintos, de los cuales cada uno contenía sus propios valores de significancia, coeficiente de determinación y ecuación de calibrado.

Una vez se obtuvo la recta de regresión que mejor se ajustaba a nuestros datos se procedió al análisis y representación mediante la aplicación de QGis. El objetivo de esta fase era inferir los valores de clorofila mediante la regresión con la recta de calibrado obtenida de los valores de emisión del agua que capto el dron en los diversos puntos de la laguna.

En primer lugar, se abrieron las capas de ambas lagunas que se obtuvieron gracias al CSIC, las cuales constaban para cada una de las lagunas de tres mosaicos y tres reports: RGB, TER y MIC. Para realizar esta transformación de valores se seleccionó la capa MIC de cada una de las lagunas, y se recortó con una capa de mascara del contorno de las láminas de agua. Posteriormente se aplicó la recta de regresión que mejor se ajustaba utilizando la calculadora de ráster con la ecuación:  $y = (550,93 \cdot x) - 28,9$ .

# 6 RESULTADOS

---

## 6.1 Evolución temporal de los parámetros físicos, químicos y biológicos en las lagunas

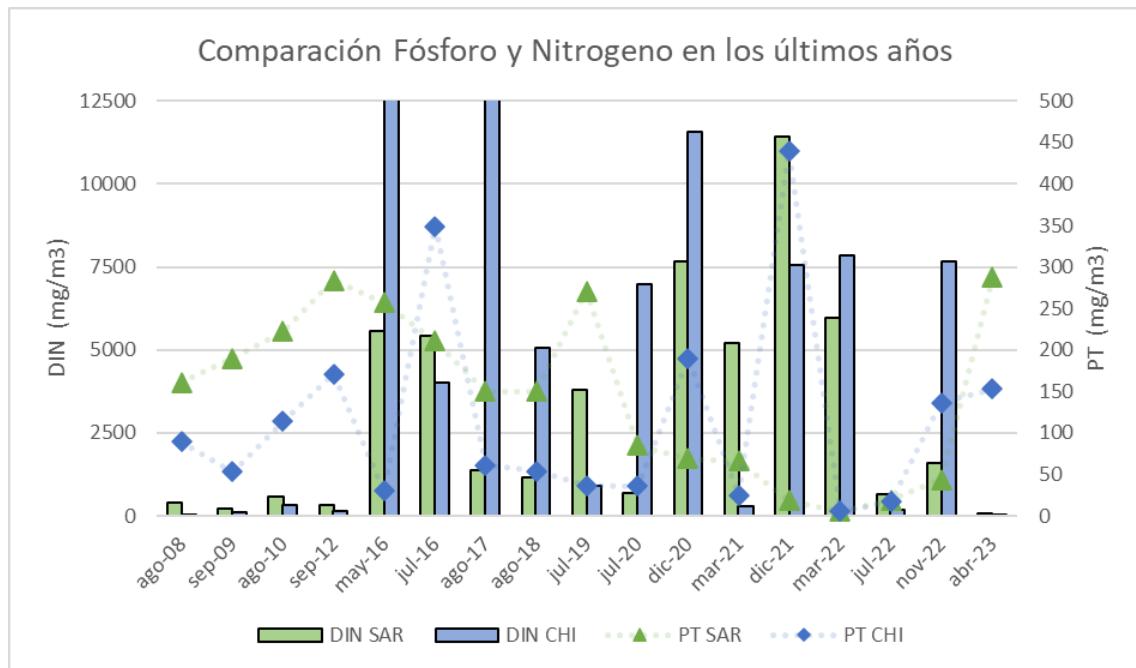
### 6.1.1 Comparación entre la laguna de Sariñena y Chiprana

La laguna de Sariñena y la salada de Chiprana son dos lagunas de gran importancia en el territorio en el que se ubican. Con el paso del tiempo, sobre el territorio han ido cambiando los usos del suelo con los cambios en la actividad económica, principalmente con el desarrollo de la actividad agropecuaria. Estas actividades pueden tener un gran impacto en las características de las lagunas, incrementando los niveles de Nitrógeno y Fósforo de las masas de agua. En la Figura 13 se muestra la variación gráfica de dos parámetros que suelen verse muy afectados por el desarrollo de la actividad agropecuaria, que son la concentración de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) y el Fósforo Total (PT). El DIN es el resultado de la suma de las concentraciones de Nitratos, Nitritos y Amonios que llegan de manera externa a una masa de agua, debido a su alta solubilidad, mientras que el fósforo total hace referencia a la concentración de fosfato que se van acumulando en una laguna con el paso del tiempo, en forma orgánica e inorgánica.

Comenzando con la concentración de DIN, como se puede observar en la figura 13, se observan valores muy bajos en ambas lagunas en el periodo entre 2008-2012. A partir de 2016, se produjo un incremento de concentración en ambas lagunas, pero registraron dos valores, el de mayo del 16 y julio del 17, en los que la concentración de DIN de Chiprana fue muy superior a la de Sariñena, alcanzando valores que se encuentran por encima de los 20.000 mg/m<sup>3</sup>. En el resto de mediciones las lagunas se alternaron, con concentraciones superiores en Chiprana en las mediciones de agosto de 2008, julio de 2020 o marzo de 2022, y con concentraciones mayores en Sariñena en julio de 2016, julio de 2019 o marzo de 2021. En la última medición de abril del 2023 se ve una gran disminución de concentración de DIN en ambas lagunas, presentando un valor mayor en el caso de Sariñena.

En cuanto a la concentración de fósforo total, en todo el registro temporal fue superior en Sariñena, aunque a partir del 2016 se observaron valores que se asemejan más, alternando, con concentraciones superiores de fósforo en Chiprana en mediciones como julio de 2016, diciembre de 2020 o diciembre de 2021, y concentraciones superiores en Sariñena en mediciones como julio de 2018, julio de 2019 o marzo de 2021. En la última

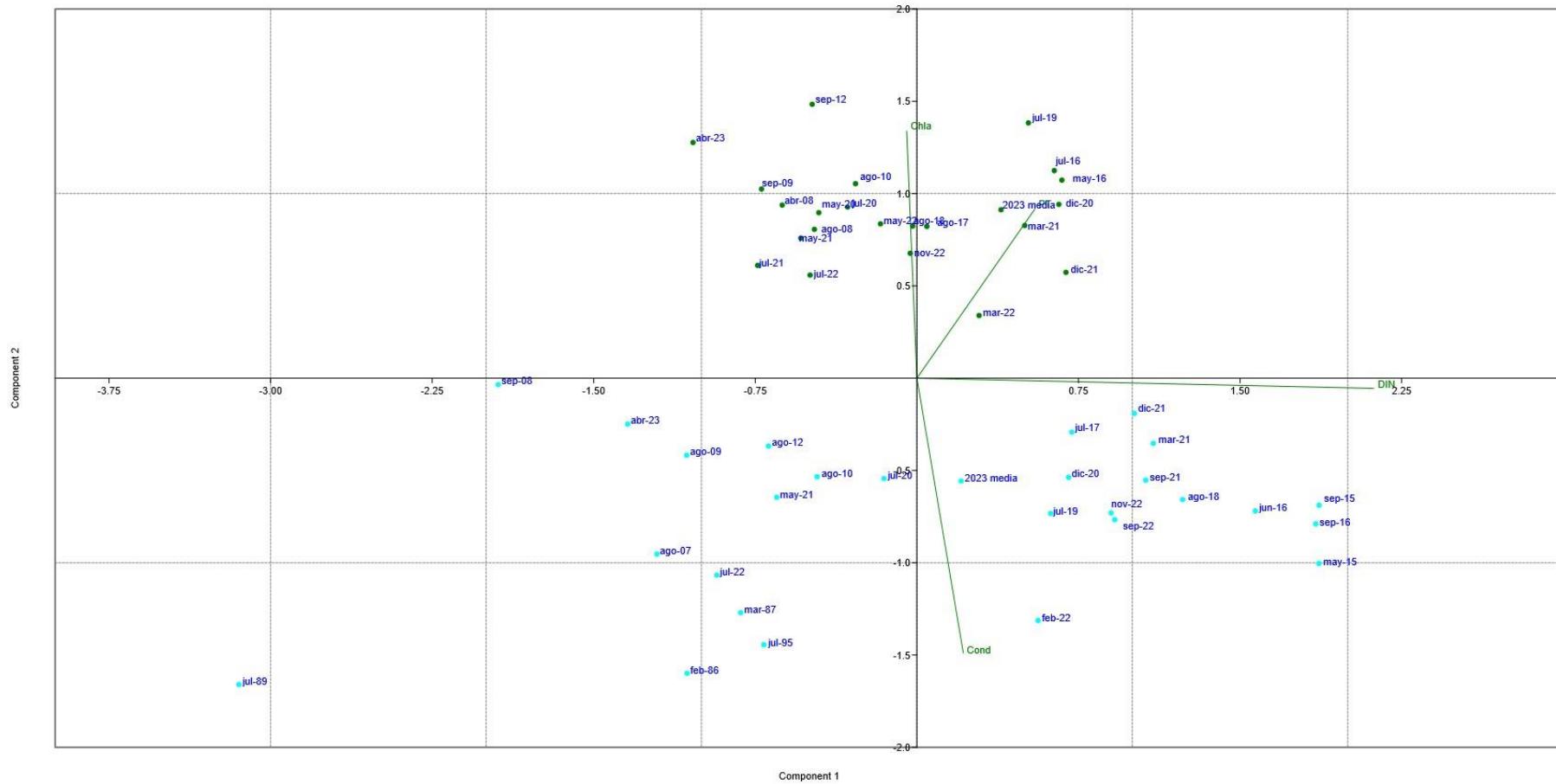
medición de abril de 2023 se puede ver como la laguna de Sariñena llega a duplicar la concentración de fósforo total de la salada de Chiprana.



**Figura 13:** Comparación del Fósforo total y el Nitrógeno Inorgánico Disuelto de ambas lagunas en los últimos años. **Fuente:** Elaboración propia.

Con el objetivo de resumir la información y poder comparar la evolución de las lagunas, se realizó un análisis de componentes principales, a partir de ahora PCA, en el que se incluyeron cuatro variables. Estas fueron la concentración de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN), la concentración de fósforo total (PT), la concentración de clorofila y la conductividad. Estas variables mostraron tener una gran importancia en la diferenciación de las características entre las dos lagunas objeto de estudio (Figura 14). Toda la información de datos de las lagunas se encuentran en las figuras 33 y 34 de Anexos.

El primer eje, esta correlacionado en positivo principalmente el Nitrógeno Inorgánico Disuelto, aunque también algo con el fósforo total, explicó el 45% de los datos, mientras que el eje secundario correlacionado con el fósforo total y la clorofila en positivo, y con la conductividad en negativo, explicó el 36% de los datos, es decir, entre ambos ejes se encontraba representada el 81% de la varianza de los datos.



**Figura 14:** Representación del test PCA en el que se incluyen los datos de la laguna Sariñena y Chiprana entre los años 1986 y 2023. **Fuente:** Elaboración propia.

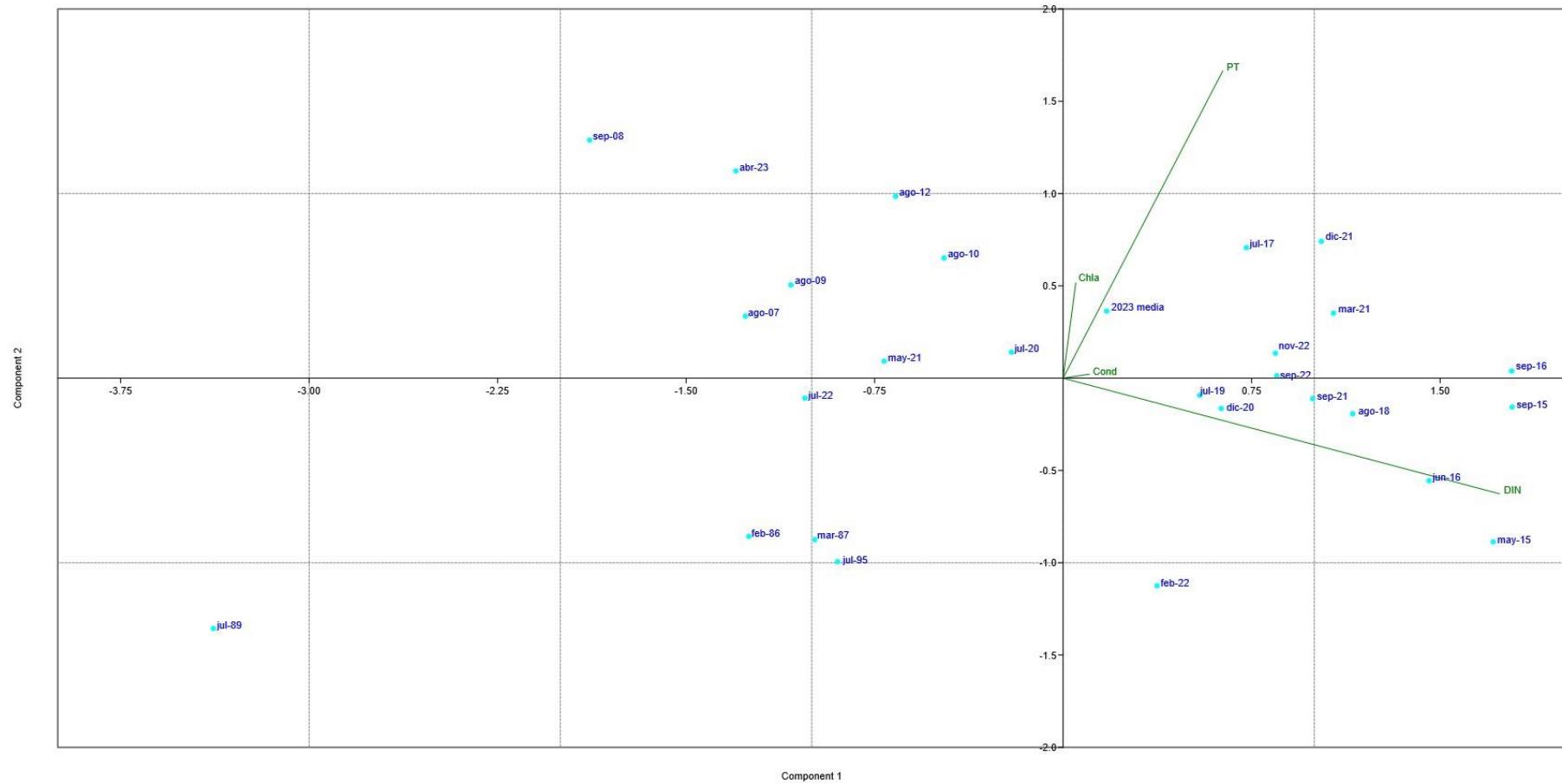
En la Figura se puede apreciar que Chiprana tiene una conductividad muy superior a Sariñena, distribuyendo de manera contraria los valores de las lagunas en el eje. Además, las muestras de Sariñena presentan una mayor concentración de clorofila que las de Chiprana, lo que se puede observar en la representación del eje secundario. En cuanto a la concentración de fósforo y nitrógeno totales se puede apreciar similitud entre Sariñena y los valores más recientes de Chiprana

### 6.1.2 Laguna de Chiprana

Tras el análisis conjunto de las dos lagunas, se realizó el mismo análisis multivariable con los datos por separado de cada una de ellas con el objetivo de entender la evolución, en el gradiente de eutrofia y salinidad, de cada laguna a lo largo de las últimas décadas.

En Chiprana, al realizar el análisis PCA el primer eje se correlacionó, principalmente, con el nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), explicando el 74% de la varianza de los datos mientras que el eje secundario, muy correlacionado con el fósforo total y la clorofila en positivo y la concentración de DIN en negativo, explicó el 21% de la varianza de los datos, es decir, entre los dos primeros ejes explicaron el 95% de la varianza.

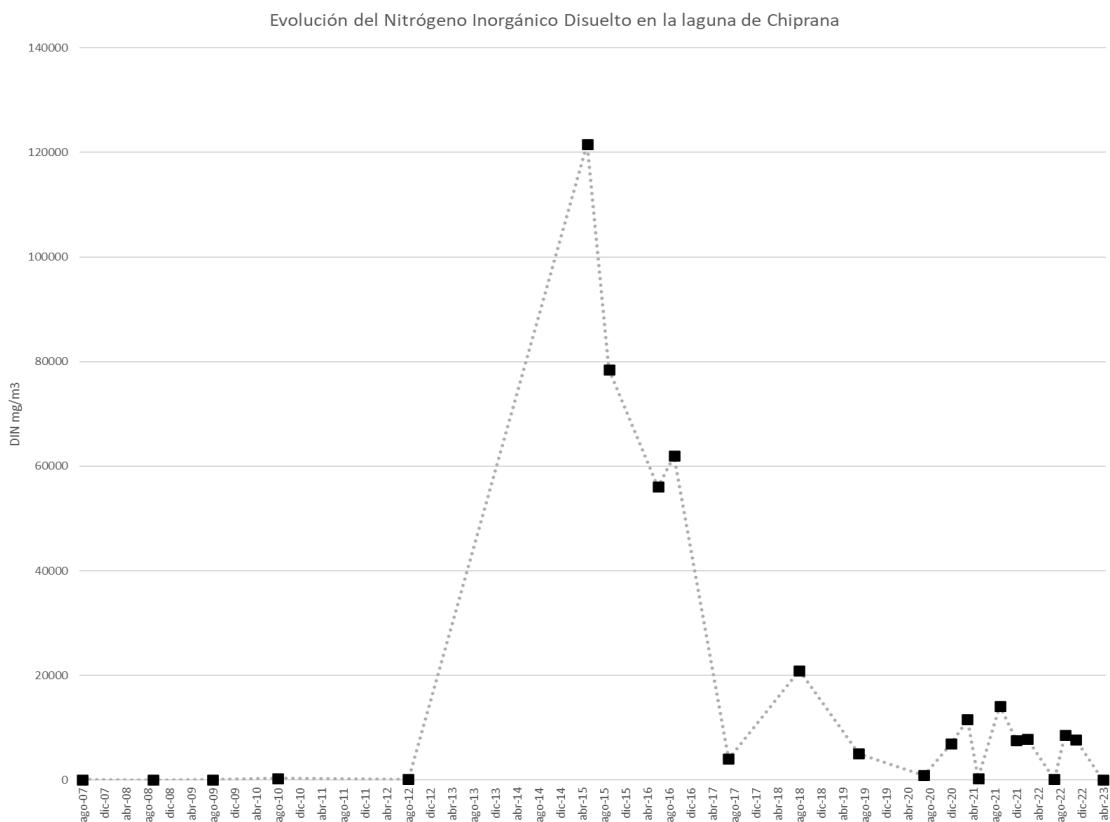
En la figura 15 se aprecia bien la evolución temporal de la laguna de Chiprana. Se puede observar que los valores de Chiprana más antiguos se quedan a la izquierda del eje horizontal, apartados, mientras que los más recientes se sitúan centrados. Las muestras con más concentración de DIN se encuentran en el extremo derecho y corresponden a los años entre 2015 y 2022. Estos resultados muestran que, a lo largo de los años, la concentración de nitrógeno inorgánico en Chiprana ha ido aumentando, sin embargo, la variación de la conductividad, aunque ha aumentado levemente, es muy poca. Además, los cambios en la biomasa de fitoplancton, asociada a la concentración de clorofila, están correlacionados con la concentración de fósforo total.



**Figura 15:** Representación de los dos primeros ejes del análisis de componentes principales de las variables ambientales en la laguna de Chirpana para los años (1986-2023). **Fuente:** Elaboración propia.

Como ya se ha explicado, la conductividad se mantiene bastante constante con el paso del tiempo, sin embargo, los nutrientes van sufriendo un aumento con el paso de los años. Mediante los siguientes gráficos (figuras 16, 17 y 18) se muestran las variaciones de estos parámetros en el desarrollo temporal.

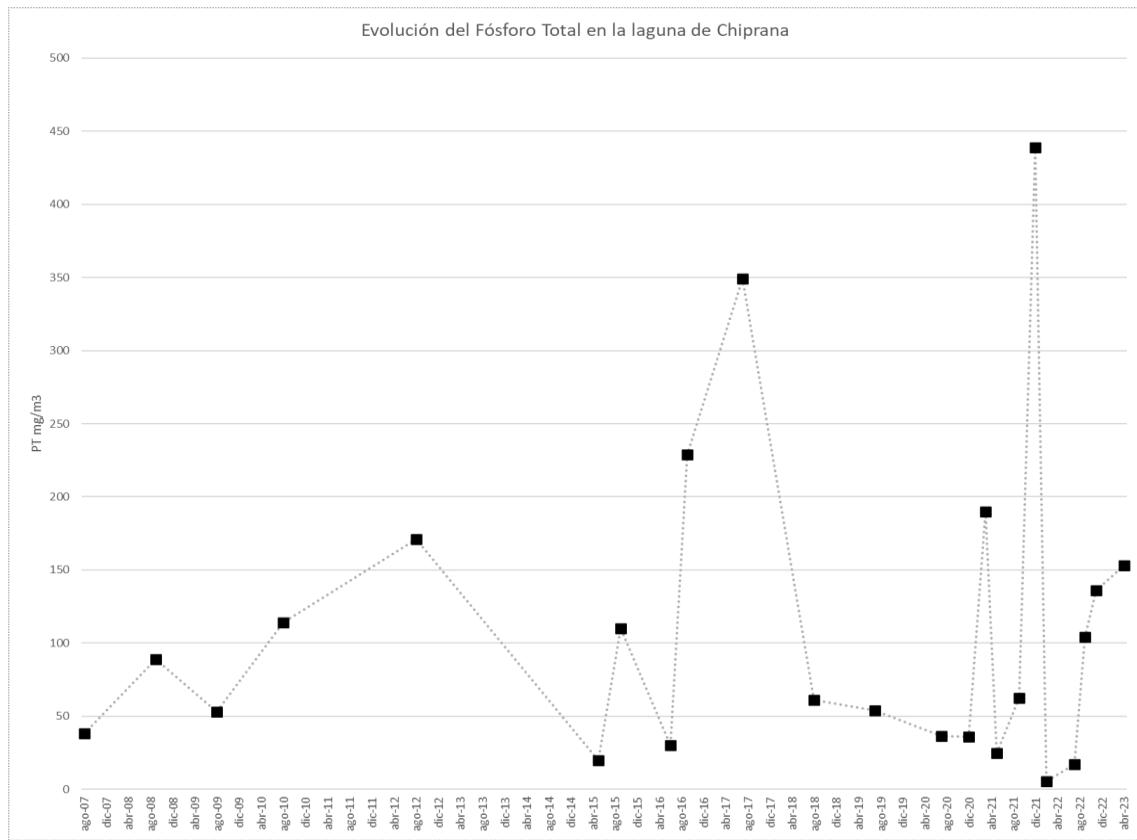
Comenzando con la concentración del nitrógeno inorgánico disuelto, se puede observar estabilidad y valores bajos en las primeras mediciones, hasta 2012, y posteriormente un aumento de la concentración, alcanzando el valor máximo en mayo de 2015 que superaba los 121000 mg/m<sup>3</sup>, hasta un último descenso en abril de 2023 dando un valor de 37 mg/m<sup>3</sup>. El valor mínimo de toda la secuencia se registra en 2008 con un valor de 10 mg/m<sup>3</sup>. En el cómputo global de la escala temporal, se ha visto un incremento importante en la concentración de nitrógeno inorgánico en los últimos 15 años, caracterizado por variaciones bruscas de concentración desde el máximo de 2015 (Figura 16).



**Figura 16:** Evolución del nitrógeno inorgánico disuelto en la Laguna de Chiprana (2007-2023). **Fuente:** Elaboración propia.

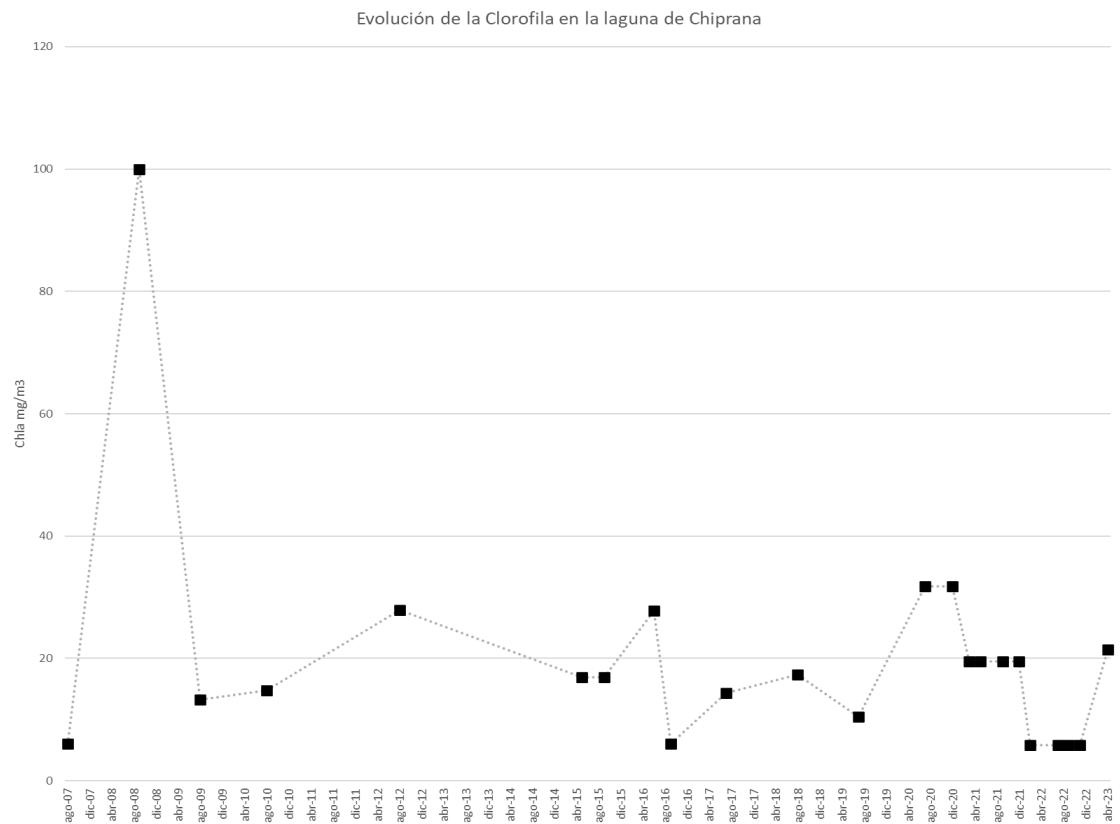
En cuanto a la concentración de fósforo total, en la figura 17 se aprecia un patrón de fuertes variaciones, alcanzando en este caso los valores máximos en julio de 2017 y diciembre del 2021, llegando hasta valores 349 y 439 mg/m<sup>3</sup> respectivamente. En la última

medición de abril de 2023 se obtuvo una concentración de 153 mg/m<sup>3</sup>. En el cómputo global de la escala temporal se ha visto un incremento en el fósforo, principalmente los últimos 10 años.



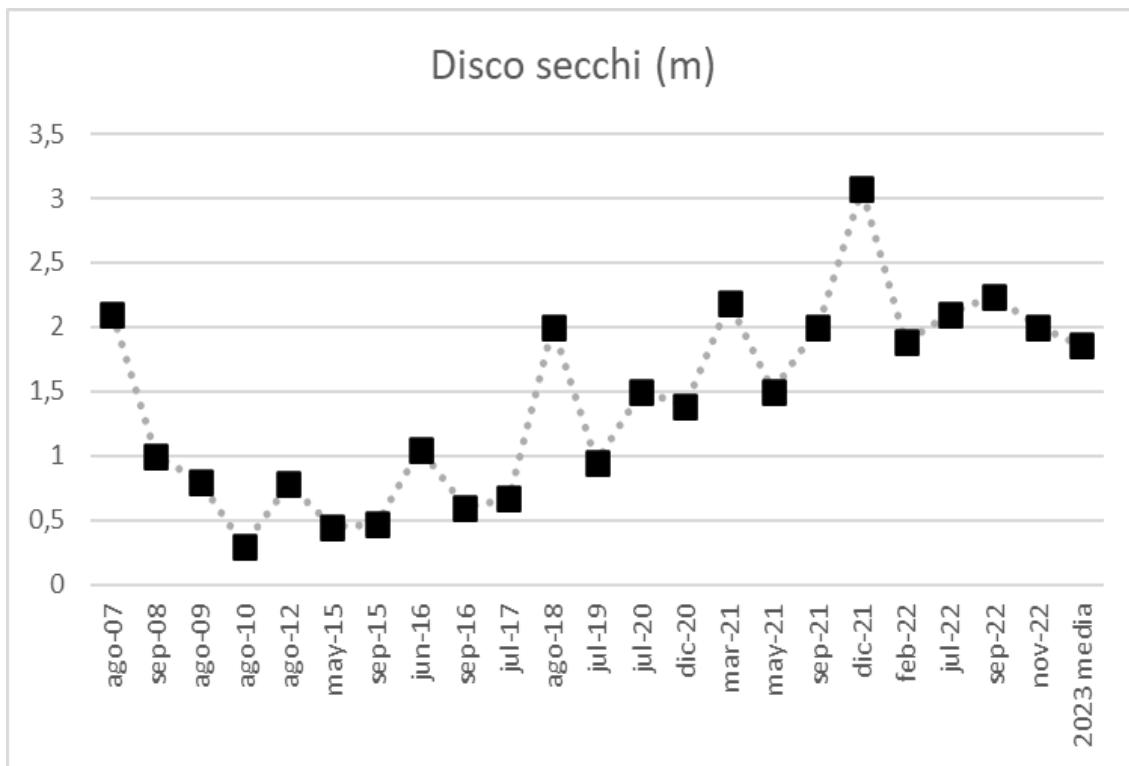
**Figura 17:** Evolución del Fósforo total en la Laguna de Chiprana (2007-2023). **Fuente:** Elaboración propia.

La concentración de clorofila mostró un incremento más progresivo, aunque hay un valor anormalmente grande de 100 mg/m<sup>3</sup> en 2008 (considerado un error en el informe de la DGA), y también algunos picos máximos en julio y diciembre de 2021 con 31,8 mg/m<sup>3</sup> en ambas mediciones. En la medición de abril se observó un valor bastante elevado de 21,48 mg/m<sup>3</sup>.



**Figura 18:** Evolución de la concentración de clorofila en la Laguna de Chiprana (2007-2023). **Fuente:** Elaboración propia.

El grado de penetración de la luz es un factor que actúa como limitante de la producción primaria, ya que delimita la zona donde puede realizarse la fotosíntesis. La estima de este factor se realizó mediante el método visual de medida de la transparencia del agua por el disco de Secchi. Su valor depende fundamentalmente de la materia en suspensión y de la concentración de pigmentos fotosintéticos (Montes, C. et al, 1982). En la Figura 19 se muestran las variaciones de la profundidad del disco de Secchi a lo largo de más de 10 años. Se puede observar dos grandes picos de profundidad en la laguna, en agosto de 2007, diciembre de 2021 o septiembre de 2022. Se pueden apreciar grandes variaciones a lo largo del registro, llegando a tener datos de disco de 30 centímetros, dando una media total de 143 centímetros, corte que estaría por debajo del último valor de medición de la laguna, lo cual nos indicaría que en 2023 hay una profundidad aceptable de la capa fótica en comparación con el registro. En general, se observa una tendencia al aumento de la profundidad del disco de Secchi.

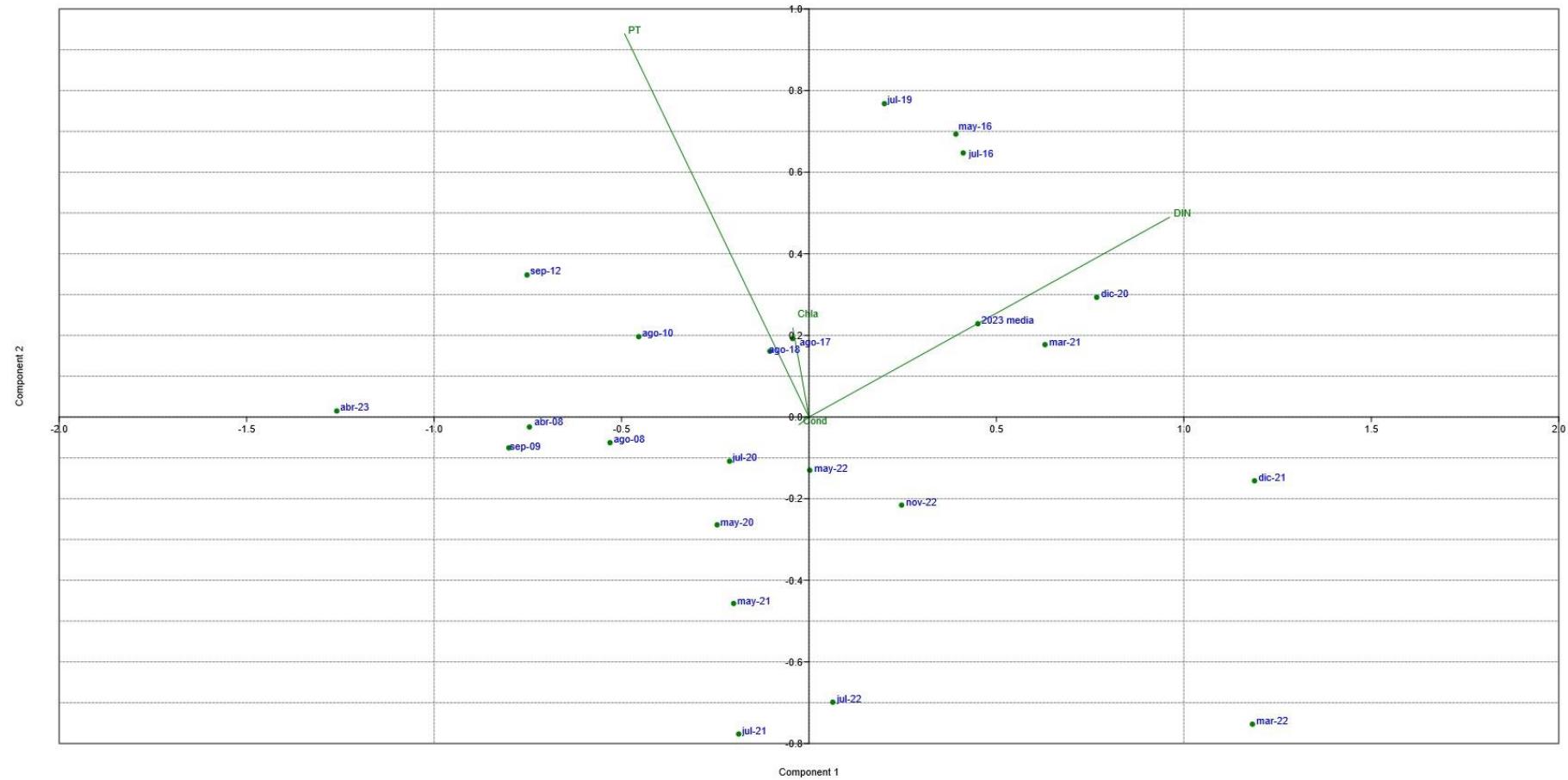


**Figura 19:** Evolución de la profundidad del disco de Secchi en la Laguna de Chiprana.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 6.1.3 Laguna de Sariñena

Igual que en el caso de Chiprana, se realizó el análisis multivariable PCA únicamente de los datos de Sariñena para ver la evolución del nivel trófico de la laguna a lo largo del tiempo. Al realizar el análisis, el primer eje se relacionó positivamente con el nitrógeno inorgánico disuelto y negativamente el fósforo total y explicó el 61% de la varianza de los datos, mientras que el eje secundario, se correlacionó en positivo con la concentración de PT y de DIN principalmente, explicando el 28% de la varianza de los datos, es decir, entre los dos primeros ejes explicaron el 89% de la varianza. La conductividad solo se correlacionó con el tercer eje.

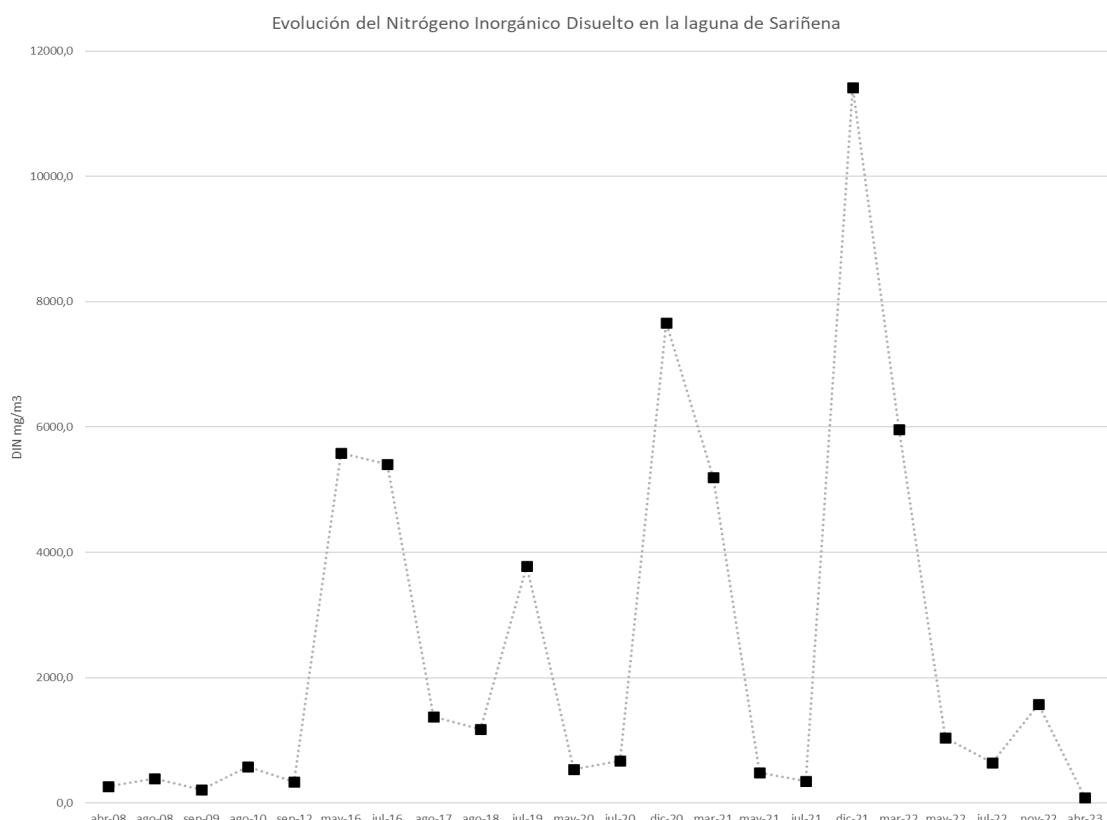
Se puede apreciar que los valores más recientes se ubican en la zona izquierda del eje. En la zona de la derecha se encuentran gran parte de las mediciones realizadas en 2020-2021, coincidiendo con una mayor concentración de DIN, aunque existe alta variabilidad temporal en esta variable. En mitad de arriba, se encuentran los registros que presentan una mayor concentración de fósforo total y clorofila, entre los que encontramos las muestras entre 2012 y 2019 (Figura 20).



**Figura 20:** Representación de los dos primeros ejes del análisis de componentes principales de las variables ambientales en la laguna de Sariñena para los años (2008-2023). **Fuente:** Elaboración propia.

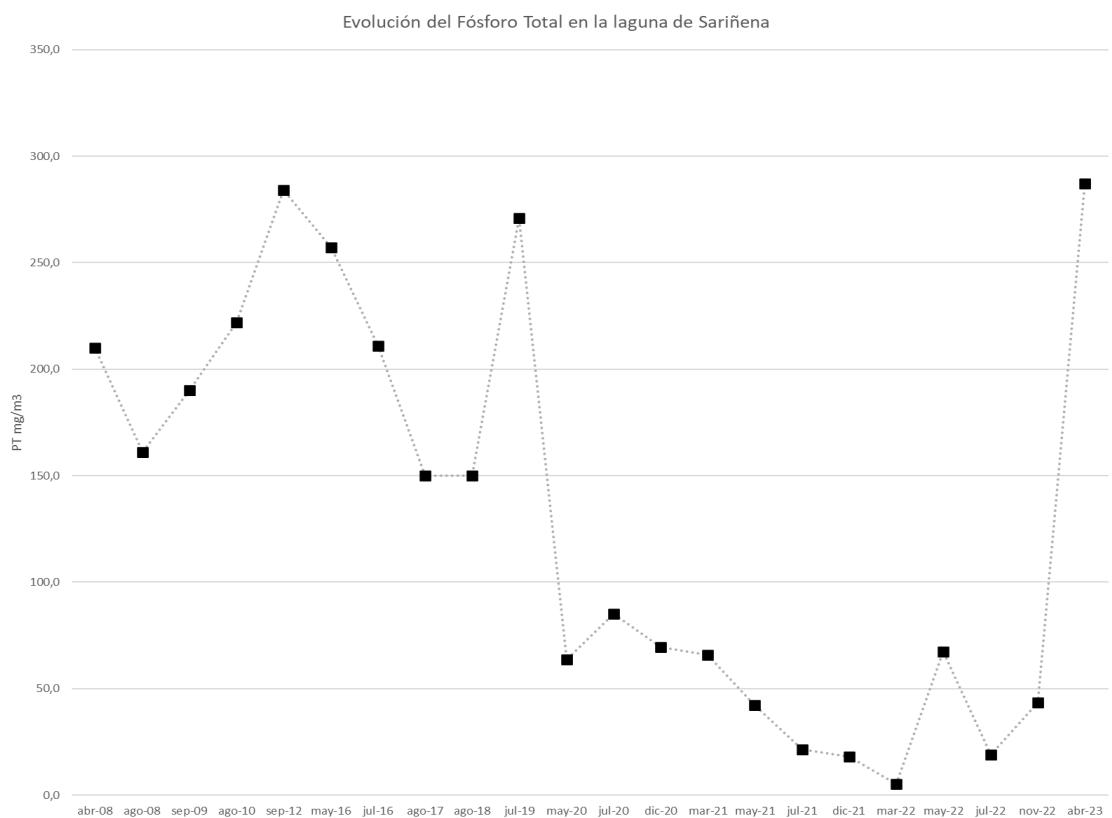
De nuevo, la conductividad se mantiene bastante constante con el paso del tiempo, sin embargo, los nutrientes van sufriendo un aumento con el paso de los años. Mediante los siguientes gráficos se muestran las variaciones de estos parámetros en el desarrollo temporal.

Comenzando con el nitrógeno inorgánico (Figura 21), se puede observar mucha inestabilidad, con concentraciones máximas en 2016, diciembre de 2020 y diciembre de 2021, cuando se alcanzó un máximo 11419 mg/m<sup>3</sup>, valores que se encuentran muy por debajo a los máximos alcanzados Chiprana. En la última medición de 2023 aparece un valor más bajo de 87,8 mg/m<sup>3</sup>.



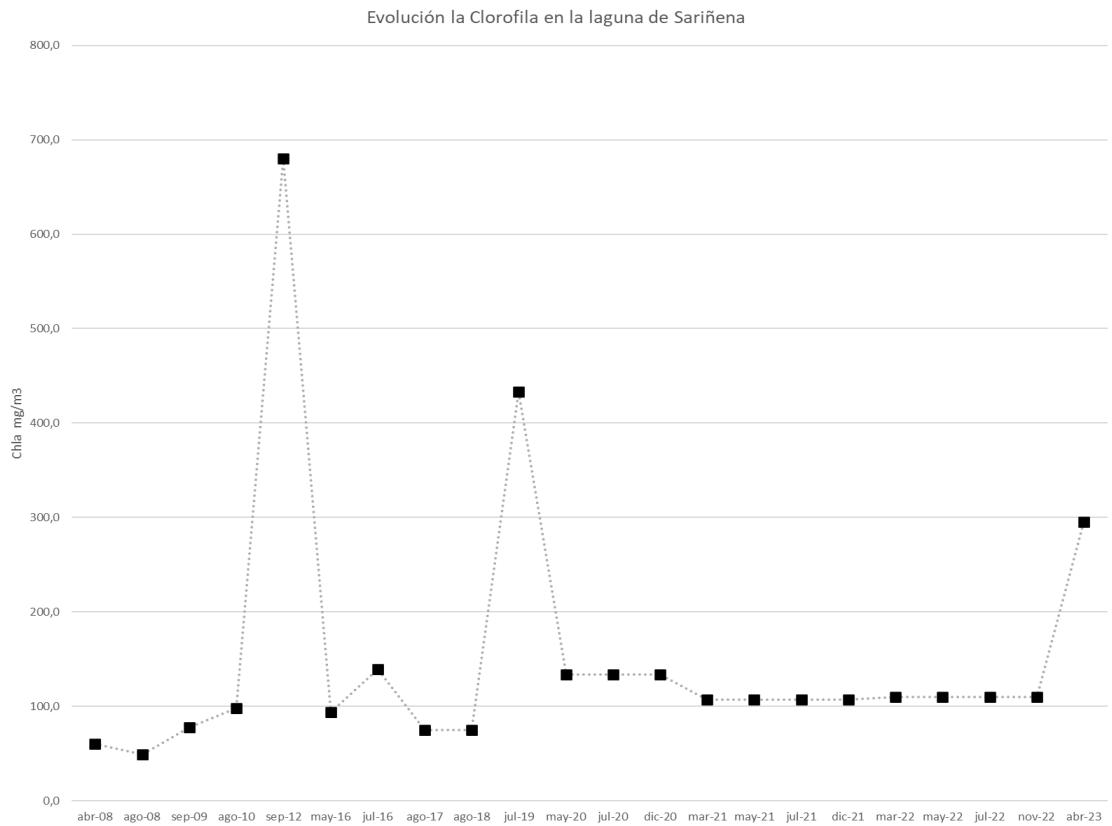
**Figura 21:** Evolución del nitrógeno inorgánico disuelto en la Laguna de Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a la concentración de fósforo total (Figura 22), se aprecia unos resultados bastante elevados en los primeros años con valores superiores a los 100 mg/m<sup>3</sup>, y llegando a valores máximos de 284 mg/m<sup>3</sup> en 2012 y 271 mg/m<sup>3</sup> en 2019, año a partir del cual disminuyen los resultados de concentración de fósforo hasta alcanzar el mínimo de 5,22 mg/m<sup>3</sup> en 2022, para después alcanzar el máximo histórico con un valor de 287 mg/m<sup>3</sup> en la última medición de abril de 2023. Los valores máximos de fósforo son muy inferiores a los valores máximos de este nutriente observados de Chiprana.



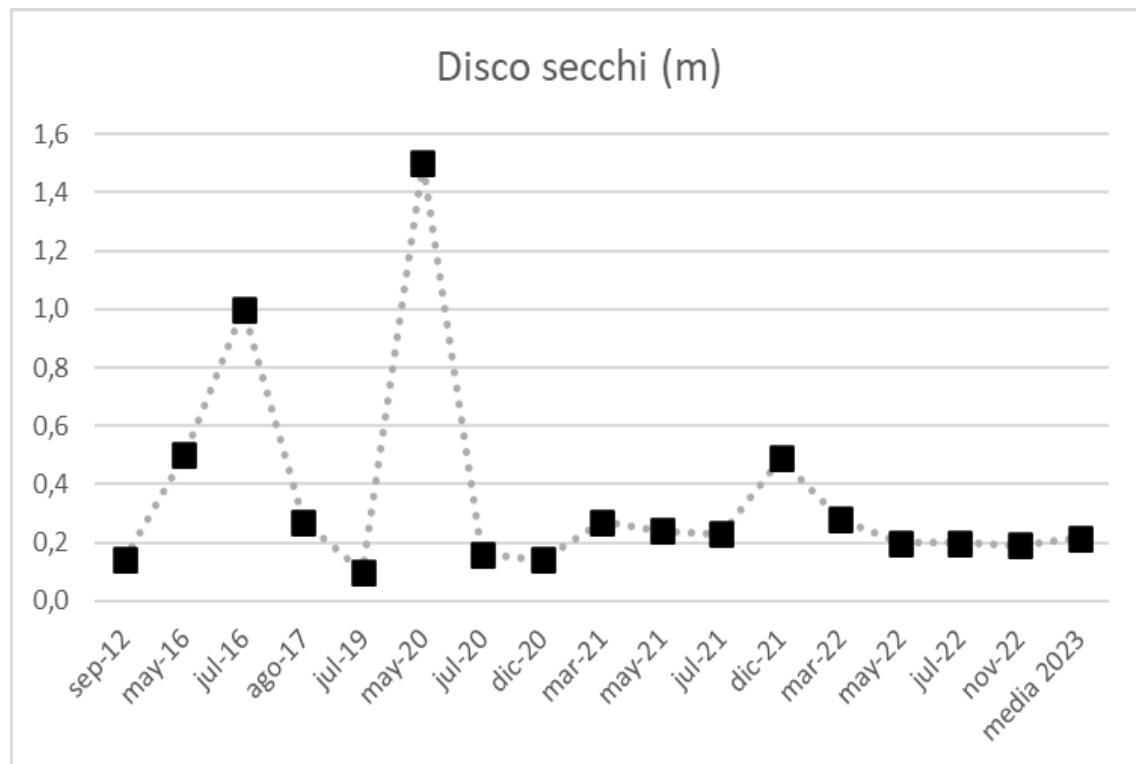
**Figura 22:** Evolución del fósforo total en la Laguna de Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.

La concentración de clorofila muestra tres picos más elevados que el resto de los resultados como se puede ver en la Figura 23, alcanzando el valor máximo con 679,9 mg/m<sup>3</sup> en 2012, y posteriormente los valores de 433,4 mg/m<sup>3</sup> en las mediciones entre 2019 y 2020 y 295,2 mg/m<sup>3</sup> en la última medición de abril de 2023. Estos tres picos coinciden con los picos de concentración de fósforo total observados en la figura anterior. La concentración de clorofila fue mucho más elevada en la laguna de Sariñena que en la de Chiprana.



**Figura 23:** Evolución de la concentración de clorofila en la Laguna de Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.

La Figura 24 muestra las variaciones de la profundidad del disco de Secchi a lo largo de 10 años. Se puede observar dos grandes picos de aumento de profundidad en la laguna, en julio de 2016 y en mayo de 2020, coincidiendo con dos momentos en que la concentración de clorofila era baja. A excepción de estos máximos, se puede observar que en la laguna encontramos unas profundidades de disco de entre 14 y 50 centímetros, dando una media total de 36 centímetros, corte que estaría por encima del último valor de medición de la laguna, lo cual nos indicaría que en 2023 hay una menor profundidad de la capa fótica.



**Figura 24:** Evolución de la profundidad del disco de Secchi en la Laguna de Sariñena.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 6.2 Comparación de los valores obtenidos con los establecidos en el Real Decreto 817/2015

En este apartado se han analizado y comparado la concentración de clorofila (mg/m<sup>3</sup>) y fósforo total (mg/m<sup>3</sup>) de ambas lagunas por separado con los valores establecidos por el Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

En el caso de las lagunas de estudio la tipología correspondiente es “L-T20 Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, permanente” para la laguna de Sariñena, y “L-T22 Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino y permanente” para la laguna de Chiprana.

### 6.2.1 L-T22: Laguna de Chiprana

En el caso del fósforo total, la normativa establece los intervalos “Muy bueno” para concentraciones inferiores a 40 mg/m<sup>3</sup>, y “Bueno” para concentraciones de entre 40-100 mg/m<sup>3</sup> y “Moderado/Deficiente” para concentraciones superiores a los 100 mg/m<sup>3</sup>. En el caso de la concentración de clorofila es necesario aplicar un valor de condición específica para poder determinar el valor de nuestra laguna, que en este caso es 3 dividido entre la concentración de clorofila (mg/m<sup>3</sup>), para así obtener un valor de referencia que se establecerá entre los siguientes intervalos de calidad: “Muy bueno” para valores superiores a 0,58, “Bueno” para valores de entre 0,58 y 0,38, “Moderado” para valores entre 0,38 y 0,26, “Deficiente” para valores que estén entre 0,26 y 0,13, y “Malo” para valores inferiores a 0,13.

Por otra parte, hasta 2021, los valores de referencia para discriminar el estado trófico de los lagos se basaban en el criterio del OCDE (OCDE, 1982. Tabla 6), a partir de 2022, la Confederación Hidrográfica del Ebro y la Dirección General de Aragón, adoptan los criterios de la tabla 7 como referencia.

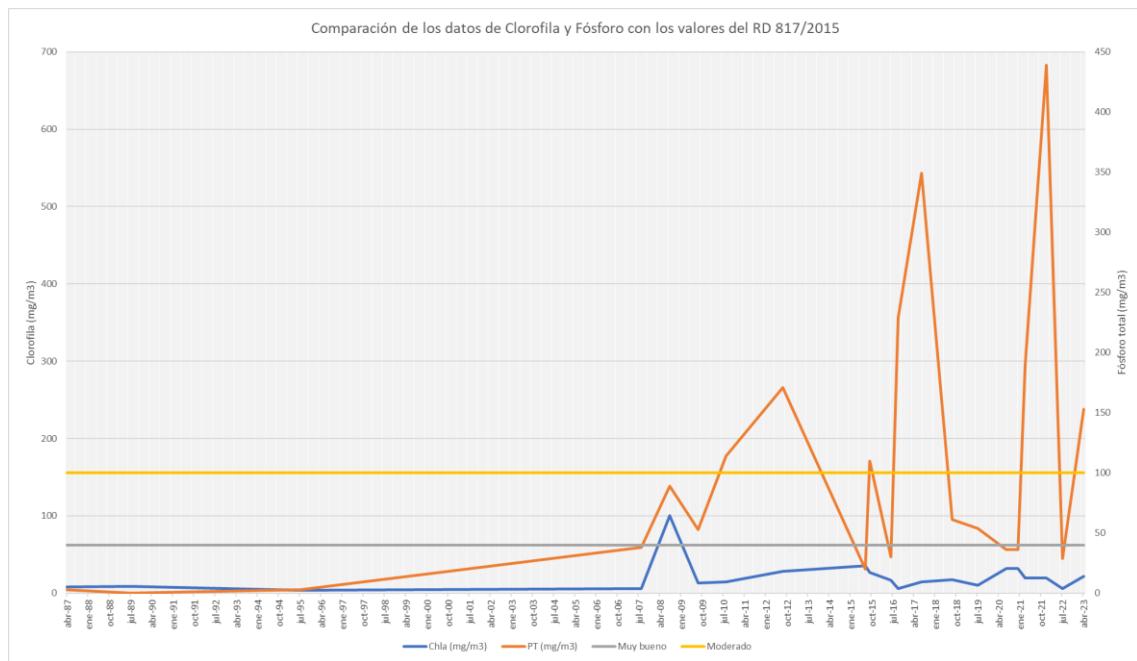
**Tabla 6:** Clasificación trófica basada en criterios establecidos por la OCDE (1982). **Fuente:** Asociación Ibérica de Limnología.

	PT (mg/m <sup>3</sup> )	Chla (mg/m <sup>3</sup> )	Chla máx. (mg/m <sup>3</sup> )	Secchi (m)
Ultra oligotrófico	≤ 4	≤ 1	≤ 25	≥ 12
Oligotrófico	≤ 10	≤ 2,5	≤ 8	≥ 6
Mesotrófico	10-35	2,5-8	8-25	6-3
Eutrófico	35-100	8-25	25-75	3-1,5
Hipereutrófico	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1,5

**Tabla 7: Clasificación trófica basada en criterios establecidos por la OCDE (1982). Fuente:**  
Asociación Ibérica de Limnología.

Umbrales para clasificar el estado trófico de las masas de agua en aguas continentales		
<b>EUTROFIA</b>	Fósforo total (anual de medios)	Clorófilo a (anual de medios)
	> 0,035 mg/l	> 8 $\mu$ g /l
	Clorófilo a (máximo anual)	Transparencia disco Secchi (anual de medios)
	> 25 $\mu$ g /l	< 2 m

En la Figura 25 se representan los valores de concentración clorofila y fósforo con los umbrales marcados por el Real Decreto para la calidad en función del fósforo. Se puede apreciar que la concentración de este parámetro se encuentra por debajo del valor de 40 mg/m<sup>3</sup> otorgando así la calidad de “muy bueno” de las aguas, hasta alcanzar septiembre del 2008 que de manera aislada presenta un valor inusualmente superior llegando hasta la categoría “bueno”. Las siguientes mediciones realizadas en agosto de 2010 y agosto de 2012 muestran una calidad “Deficiente”. En 2015 encontramos una primera medición en mayo con categoría “Muy buena” pero la siguiente de septiembre vuelve a la categoría “Deficiente”. Encontramos dos grandes picos máximos en septiembre de 2016 y julio de 2017 llegando a duplicar y triplicar respectivamente la concentración límite, posteriormente entre 2018-2020 hay valores “buenos” y “muy buenos” hasta llegar a diciembre de 2021 donde se alcanza el máximo de concentración de todo registro con 439 mg/m<sup>3</sup>. Para finalizar, las dos últimas mediciones nos dan una calidad “muy bueno” para julio de 2022, y una calidad de nuevo de “deficiente” en el último muestreo realizado en abril de 2023.



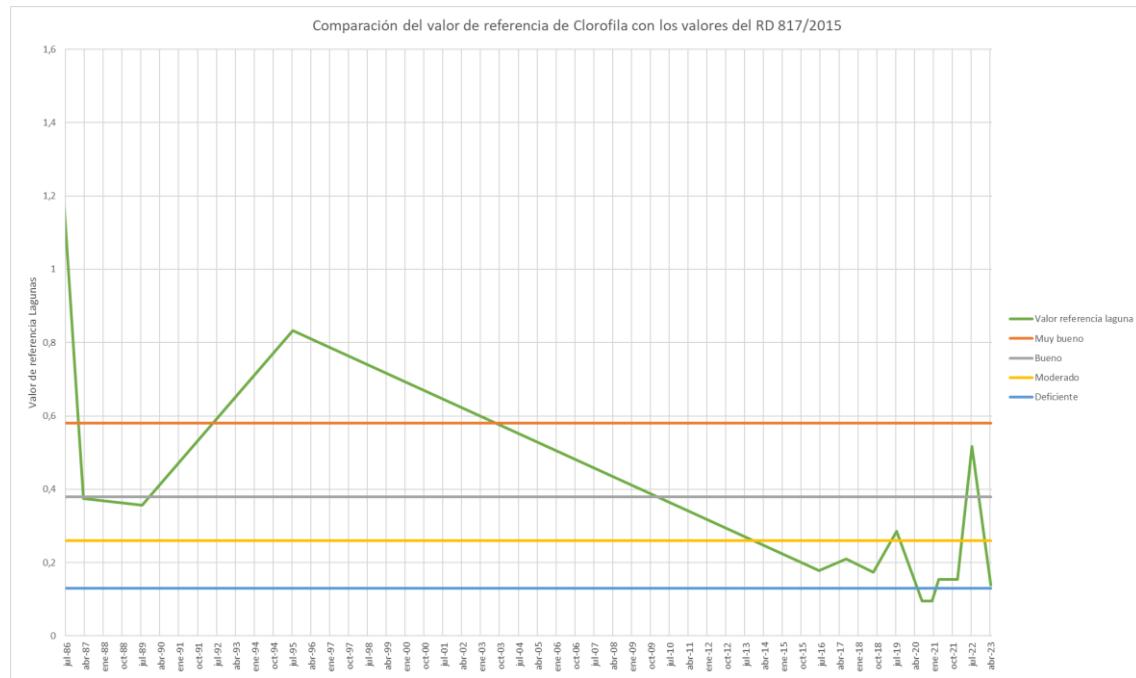
**Figura 25:** Evolución de la clorofila y el fósforo total en la Laguna de Chiprana, y los valores establecidos por el Real Decreto para el PT. **Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a la calidad en función de la concentración de clorofila observada en Chiprana mediante el valor de referencia calculado, se aprecia que se presenta de manera muy irregular a lo largo del registro temporal (Figura 26). En general, el patrón que sigue la laguna es a aumentar la concentración de clorofila y por lo tanto el nivel trófico. Comienza en febrero de 1986 con un valor de clorofila de calidad “muy bueno”, posteriormente en marzo de ese mismo año y en julio de 1989 disminuye la calidad hasta “moderado” para de nuevo en julio de 1995 volver a aumentar hasta calidad “muy bueno” de nuevo. A partir de ahí la calidad disminuye hasta “deficiente” en junio de 2016, julio de 2017 y agosto de 2018, hasta alcanzar la calidad de “moderado” de manera muy justa en julio de 2019. En las dos mediciones siguientes, de julio y diciembre de 2020 la calidad baja por primera y única vez a “malo”, y las dos siguientes mediciones a su vez en marzo y diciembre de 2021, mejoran a calidad “deficiente”. Para finalizar en julio de 2022 la calidad llega a mejorar hasta la calidad de “bueno” pero el último dato del registro disminuye de nuevo hasta una calidad “deficiente” muy baja.

El estado trófico de la laguna en 2023 fue eutrófico según la ODCE, ya que cumple el criterio de clorofila, aunque excede el de fósforo total. Durante el resto de registro de años encontramos generalmente una concentración media de clorofila siempre inferior a 25 mg/m<sup>3</sup>, por lo que en su mayoría de mediciones se encuentra en estado eutrófico a pesar del fósforo,

salvo en algunas mediciones como son las de 2008, 2012 y 2020, que se encuentra en estado hipertrófico.

Según el criterio actual, en el año 2023 la laguna estaba catalogada como eutrófica. Para el resto del registro temporal la laguna está clasificada como eutrófica salvo las mediciones de 1986, 1995 y 2022.



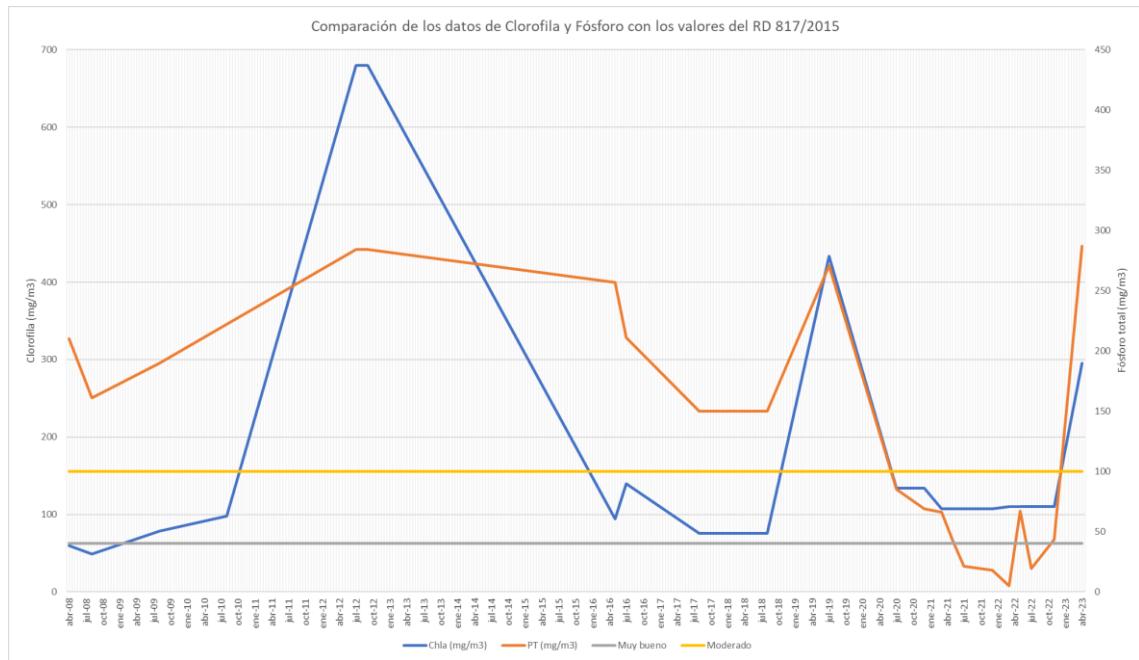
**Figura 26:** Evolución del valor de referencia calculado en la Laguna de Chiprana, y los valores establecidos por el Real Decreto para este tipo de laguna. **Fuente:** Elaboración propia.

### 6.2.2 L-T20: Laguna de Sariñena

En el caso del fósforo total, la normativa establece los intervalos “Muy bueno” para concentraciones inferiores a 40 mg/m<sup>3</sup>, y “Bueno” para concentraciones de entre 40-100 mg/m<sup>3</sup> y “Moderado/Deficiente” para concentraciones superiores a los 100 mg/m<sup>3</sup>. En el caso de la concentración de clorofila es necesario aplicar un valor de condición específica para poder determinar el valor de nuestra laguna, que en este caso es 3 dividido entre la concentración de clorofila (mg/m<sup>3</sup>), para así obtener un valor de referencia que se establecerá entre los siguientes intervalos de calidad: “Muy bueno” para valores superiores a 0,61, “Bueno” para valores de entre 0,61 y 0,37, “Moderado” para valores entre 0,37 y 0,25, “Deficiente” para valores que estén entre 0,25 y 0,13, y “Malo” para valores inferiores a 0,13.

En primer lugar, se representan la concentración de clorofila y fósforo total de la laguna de Sariñena con los umbrales marcados por el Real Decreto para la calidad en función del fósforo total. En la figura 27 se aprecia que el nivel de fósforo total de la laguna de Sariñena

se ha encontrado por encima de 100 mg/m<sup>3</sup> la mayoría de los años de los que existen datos, exceptuando entre 2020 y 2022, en que bajo a categoría de “bueno” y puntualmente en 2021 en que se alcanzó una concentración inferior a 40 mg/m<sup>3</sup>. El último dato recogido en el muestreo de abril de 2023 muestra de nuevo una calidad deficiente, siendo el valor más alto de todo el registro. La concentración de clorofila aumentó siguiendo un patrón similar al de la concentración de fósforo total.



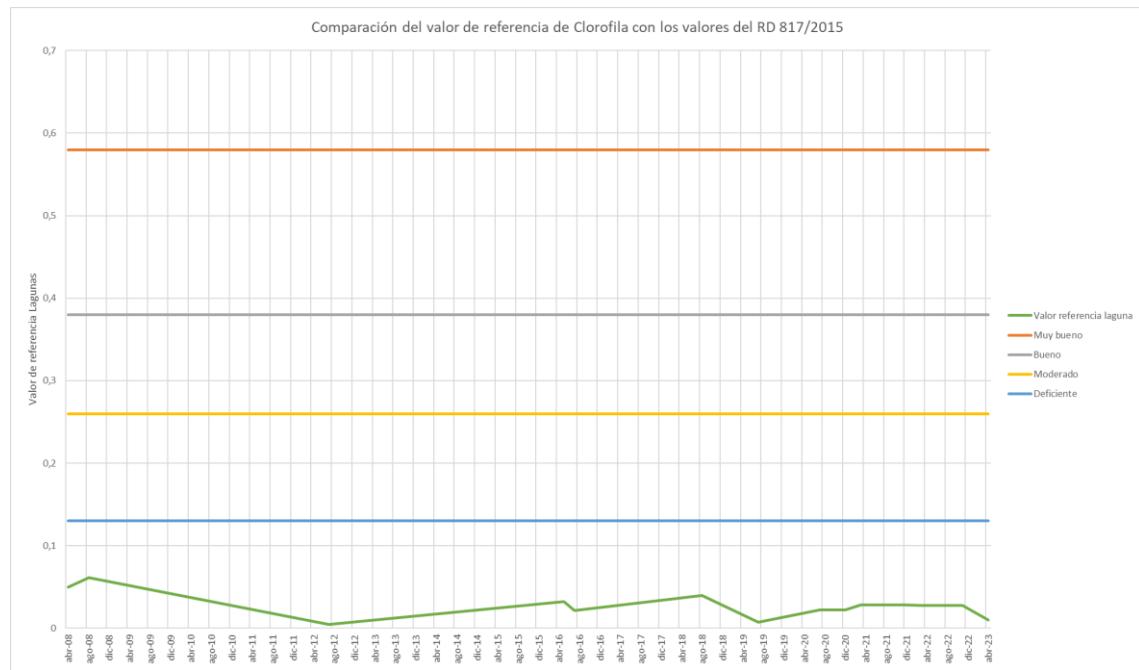
**Figura 27:** Evolución de la clorofila y el fósforo en la Laguna de Sariñena, y los valores establecidos por el Real Decreto para el Fósforo. **Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a la calidad determinada a partir de la concentración de clorofila, se puede observar en la figura 28 que la calidad de este parámetro es muy baja, manteniendo la categoría de deficiente durante todo el registro de datos.

El estado trófico de la laguna en 2023 fue hipertrófico según la ODCE, ya que cumple todos los requisitos establecidos en cuanto a fósforo total, clorofila y disco de Secchi, y durante el resto de registro de años a pesar de cumplir el requisito de clorofila de concentraciones superiores a 25 mg/m<sup>3</sup>, la concentración de fósforo total no siempre supera los 100 mg/m<sup>3</sup>. En el periodo entre 2020-2022, la laguna de Sariñena no estaba clasificada como hipereutrófica, sino que, bajo este criterio, en 2020 y 2021 estaba clasificada como eutrófica y en 2022 llegó a estar como mesotrófica.

Según el criterio actual en el año 2023 la laguna estaba catalogada como eutrófica. Para el resto del registro temporal la laguna está clasificada como eutrófica porque todas las

concentraciones medias anuales de fósforo total superan los 35 mg/m<sup>3</sup> y las de clorofila los 8 mg/m<sup>3</sup> establecidos.



**Figura 28:** Evolución del valor de referencia calculado en la Laguna de Sariñena, y los valores establecidos por el Real Decreto para este tipo de laguna. **Fuente:** Elaboración propia.

### 6.3 Evolución en la ratio N:P

La relación de Redfield permite establecer el nutriente limitante para el fitoplancton. Por lo tanto, es común usar las formas inorgánicas disueltas (Nitrógeno Inorgánico Disuelto - DIN) y Fósforo Reactivo Soluble - PRS) para calcular la relación N:P en el agua.

En primer lugar, recopilamos la concentración de DIN y PRS, que son la suma de nitratos, nitritos y amonio, y la suma del fósforo de las lagunas.

**Tabla 8:** Concentraciones de Componentes inorgánicos del muestreo de 2023 en mol/L:

		mg/L	PM (mg/mol)	mol/L
<b>Chiprana</b>	DIN	0,0338	14000	$2,414 \cdot 10^{-6}$
	PRS	0,0028	12000	$9,032 \cdot 10^{-8}$
<b>Sariñena</b>	DIN	0,088	14000	$1,671 \cdot 10^{-6}$
	PRS	0,0039	12000	$1,258 \cdot 10^{-7}$

**Fuente:** Elaboración propia.

Posteriormente, se necesitan dos valores para sacar la relación:

- Nitrógeno inorgánico disuelto (DIN): Incluye las concentraciones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).
- Fósforo inorgánico disuelto (PRS): Generalmente se mide como ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Y la relación entre N:P es simplemente dividir el DIN entre el PRS:

**Tabla 9:** Relación entre N:P del muestreo de 2023:

		mol/L	RELACIÓN N:P
<b>Chiprana</b>	DIN	$2,41 \cdot 10^{-6}$	26,73
	PRS	$9,03 \cdot 10^{-8}$	
<b>Sariñena</b>	DIN	$6,27 \cdot 10^{-6}$	49,84
	PRS	$1,26 \cdot 10^{-7}$	

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar la relación de Redfield en ambas lagunas es superior al valor de la relación establecido de N:P de 16, lo cual nos indica en ambas lagunas que hay un exceso de nitrógeno respecto a la concentración de fósforo disponible para la fotosíntesis y que por lo tanto es el fósforo el nutriente limitante. A pesar de ambas presentar mayor concentración de nitrógeno, para el caso de la laguna de Sariñena se ven unos valores muy superiores de nitrógeno, 3 veces por encima de lo necesario para los procesos biológicos.

Ahora podemos sacar la relación de Redfield metiendo en la ecuación el Carbono Orgánico Disuelto (DOC), que es el carbono que se encuentra disponible para las bacterias.

**Tabla 10:** Relación entre N:P, C:P y C:N del muestreo de 2023:

		mol/L	RELACIÓN (16)	N:P	RELACIÓN C:P	RELACIÓN C:N (6,6)
<b>Chiprana</b>	DIN	$2,41 \cdot 10^{-6}$	26,73	6211,90	232,40	
	PRS	$9,03 \cdot 10^{-8}$				
	DOC	$5,61 \cdot 10^{-4}$				
<b>Sariñena</b>	DIN	$6,27 \cdot 10^{-6}$	49,84	4985,44	100,01	
	PRS	$1,26 \cdot 10^{-7}$				
	DOC	$6,27 \cdot 10^{-4}$				

**Fuente:** Elaboración propia.

En ambas lagunas vemos que hay un exceso de carbono, puesto que la relación es superior tanto a 106 en el caso del fósforo, como a 6,625 en el caso del nitrógeno.

Ahora se obtienen las ratios N:P a lo largo de los años en ambas lagunas, para así poder ver la evolución de las necesidades de la laguna. El procedimiento se puede ver detallado en las figuras 35 y 36 de los Anexos.

**Tabla 11: Evolución de la relación entre N:P:**

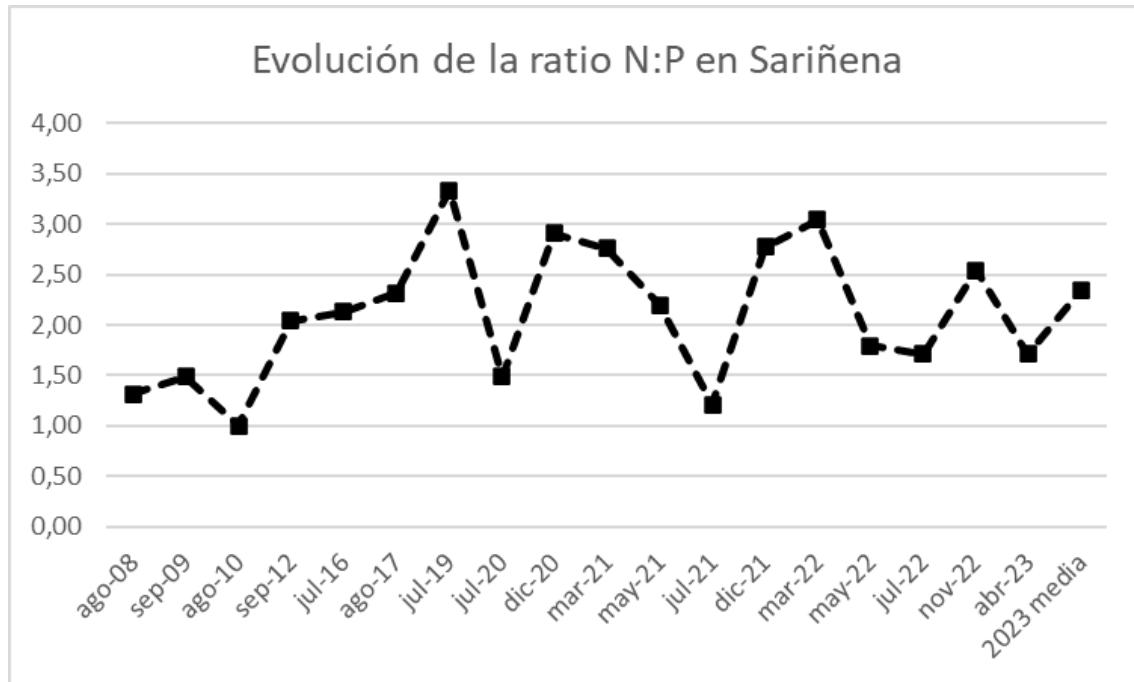
Laguna	Fecha	Relación N:P	Exceso de...
Sariñena	<b>ago-08</b>	20,87	N
	<b>sep-09</b>	30,83	N
	<b>ago-10</b>	9,99	P
	<b>sep-12</b>	109,95	N
	<b>jul-16</b>	134,30	N
	<b>ago-17</b>	209,04	N
	<b>jul-19</b>	2161,03	N
	<b>jul-20</b>	31,01	N
	<b>dic-20</b>	806,80	N
	<b>mar-21</b>	573,59	N
	<b>may-21</b>	157,78	N
	<b>jul-21</b>	16,40	N
	<b>dic-21</b>	591,35	N
	<b>mar-22</b>	1107,91	N
	<b>may-22</b>	62,51	N
	<b>jul-22</b>	51,97	N
	<b>nov-22</b>	349,15	N
	<b>abr-23</b>	49,84	N
	<b>2023 media</b>	217,51	N
Chiprana	<b>ago-07</b>	31,06	N
	<b>sep-08</b>	0,82	P
	<b>ago-09</b>	24,61	N
	<b>ago-10</b>	14,11	P
	<b>ago-12</b>	30,45	N
	<b>may-15</b>	3085,19	N
	<b>sep-15</b>	1992,10	N
	<b>jun-16</b>	1196,00	N
	<b>sep-16</b>	1572,33	N
	<b>jul-17</b>	36,88	N
	<b>ago-18</b>	7978,41	N
	<b>jul-19</b>	1154,68	N
	<b>jul-20</b>	40,61	N
	<b>dic-20</b>	734,43	N
	<b>mar-21</b>	44,47	N
	<b>may-21</b>	10,67	P

<b>sep-21</b>	314,23	N
<b>dic-21</b>	14,05	P
<b>feb-22</b>	2557,35	N
<b>jul-22</b>	15,59	P
<b>sep-22</b>	730,96	N
<b>nov-22</b>	53,13	N
<b>abr-23</b>	26,73	N
<b>2023 media</b>	18,14	N

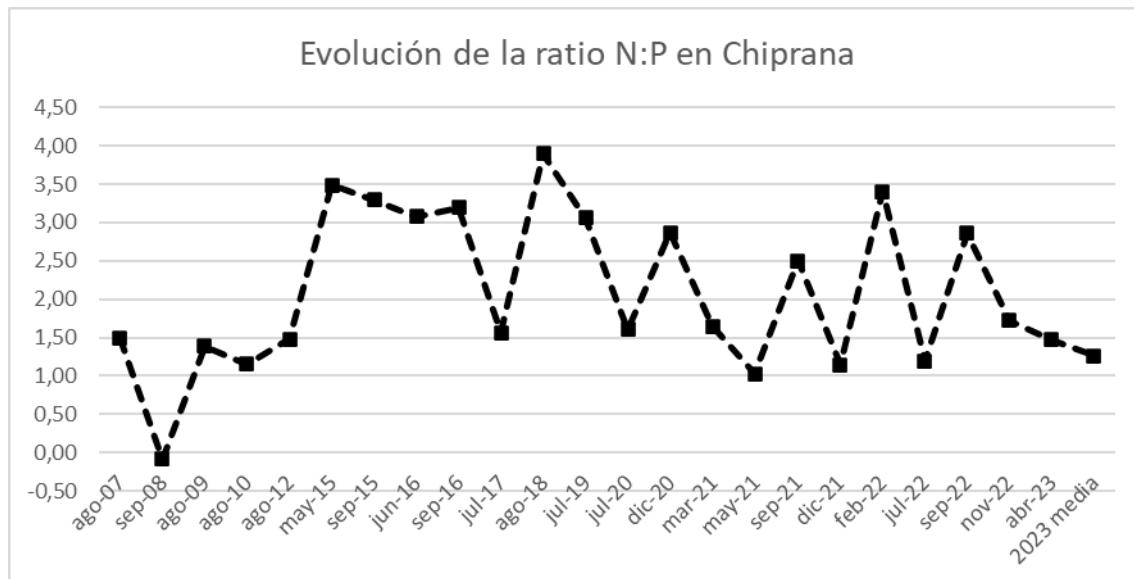
**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a la laguna de Sariñena, como se puede apreciar en la tabla 11, hay una gran predominancia del nitrógeno sobre el fósforo, llegando a dominar este nutriente en prácticamente todo el registro. La única medición en la que hay más fósforo que nitrógeno es en la de agosto 2010, aunque hay otras que está cerca de ser equitativo la concentración de nutrientes y no limitarse, como el caso de agosto de 2008 y 2009, julio de 2021 y 2021 e incluso en la última medición de abril de 2023.

En Chiprana se puede observar una distribución distinta, ya que la dominancia de los nutrientes se encuentra más repartida. En las primeras mediciones se puede ver un equilibrio de nutrientes en los que se va alternando la dominancia, pero siempre con concentraciones equitativas. En el periodo entre 2015-2019 hay una gran dominancia de del nitrógeno, a excepción de 2017, y de 2020 hasta la última medición se puede ver de nuevo cierta estabilidad en el reparto de las concentraciones entre nutrientes, con dominancia del nitrógeno, pero sin grandes excedentes de estos nutrientes salvo excepciones, como en diciembre de 2020, septiembre de 2021 o febrero de 2022.



**Figura 29:** Evolución del Log<sub>10</sub> de la ratio entre N:P en la laguna de Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 30:** Evolución del Log<sub>10</sub> de la ratio entre N:P en la laguna de Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.

## 6.4 Aproximación del estado trófico mediante el uso de dron

En la segunda campaña de muestreo, las muestras se cogieron mediante dron y al mismo tiempo las dos lagunas se fotografiaron, también con dron, para diferentes longitudes de onda. Se calculó la regresión entre la concentración de clorofila-a y el valor del píxel obtenido para cada una de las bandas en el mismo punto.

En la regresión se buscaba que cumplieran dos requisitos principales: Un valor p que sea por lo menos inferior a 0,05 y que tenga un valor de coeficiente de determinación lo más elevado posible.

En primer lugar, se sacaron los valores de p, del coeficiente de determinación y la ecuación de la regresión de los puntos exactos de los que cogió agua el dron, sin hacer un margen alrededor (buffer), para los distintos valores de longitud de onda. Salieron 4 longitudes de onda que cumplían el primer requerimiento del valor p, sin embargo, los coeficientes de correlación eran muy bajos, ya que el más alto era de 0,36, para la banda 8 (717 nm), lo que significa que solo el 36% de los datos se encontraban representados por esta regresión.

**Tabla 12:** Test de correlación de los datos:

	MIC-B2 475nm	MIC-B3 531nm	MIC-B4 560nm	MIC-B5 650nm	MIC-B6 668nm	MIC-B7 705nm	MIC-B8 717nm	MIC-B9 740nm	MIC-B10 842nm
p-value	0,19	0,13	0,041	0,05	0,22	0,003	0,0009	0,022	
Ecuación	$y=(224,91*x)+19,78$	$y=(136,84*x)+21,24$	$y=(188*x)+12,34$	$y=(234,78)+11,59$	$y=(171,75*x)+22,39$	$y=(284,34*x)+0,409$	$y=(328,497*x)-1,923$	$y=(282,79*x)+14,38$	
R2	0,034	0,059	0,132	0,115	0,0231	0,293	0,3596	0,173	

**Fuente:** Elaboración propia.

Con el objetivo de mejorar el ajuste, como ya se ha comentado en la metodología, posteriormente se obtuvieron los mismos datos situando ventanas (buffers) de 1m, 3m, 5m y 10m alrededor de los puntos de los que tomó muestras el dron.

Para los datos con 1m de margen, se obtuvieron 7 longitudes de onda correlacionadas positivamente con la concentración de clorofila, entre los cuales en las bandas B7 y B8 se obtenían los valores de coeficiente de determinación más altos, con 0,50 y 0,57 respectivamente.

**Tabla 13:** Test de correlación de los datos 1 metros:

	MIC-B2 475nm	MIC-B3 531nm	MIC-B4 560nm	MIC-B5 650nm	MIC-B6 668nm	MIC-B7 705nm	MIC-B8 717nm	MIC-B9 740nm	MIC-B10 842nm
p-value	0,077	0,017	0,0067	0,014	0,077	0,0004	0,000086	0,0019	0,0197
Ecuación	$y=(346,021*x)+5,968$	$y=(330,875*x)-6,654$	$y=(359*x)-14$	$y=(377,18*x)-6,17$	$y=(305,39*x)+6,56$	$y=(482,48*x)-27,24$	$y=(501,06*x)-24,63$	$y=(522,17*x)-10,91$	$y=(437,26*x)-1,65$
R2	0,0912	0,19	0,25	0,2	0,0922	0,5	0,57	0,32	0,18

**Fuente:** Elaboración propia.

En los de 3m de margen, se obtuvieron al igual que en el anterior 7 longitudes de onda con un p valor inferior a 0,05, y los coeficientes más elevados también aparecían en las longitudes de onda de 705nm y 717nm, con valores de 0,55 y 0,61 respectivamente.

**Tabla 14:** Test de correlación de los datos 3 metros:

	MIC-B2 475nm	MIC-B3 531nm	MIC-B4 560nm	MIC-B5 650nm	MIC-B6 668nm	MIC-B7 705nm	MIC-B8 717nm	MIC-B9 740nm	MIC-B10 842nm
p-value	0,064	0,013	0,005	0,0096	0,058	0,000014	0,000002	0,00072	0,0063
Ecuación	$y=(392,37*x)+2,5$	$y=(369,72*x)-10,93$	$y=(391,96)-18,12$	$y=(442,55*x)-13,15$	$y=(366,67*x)+0,71$	$y=(535,66*x)-33,01$	$y=(550,93*x)-28,9$	$y=(607,61*x)-16,22$	$y=(561,64*x)-10,64$
R2	0,1	0,21	0,26	0,22	0,11	0,55	0,61	0,37	0,25

**Fuente:** Elaboración propia.

En los datos de 5m de margen encontramos de nuevo 7 longitudes de onda que cumplen el valor p requerido, y los coeficientes de determinación más altos de nuevo en la B7 y B8, de 0,53 y 0,58 respectivamente.

**Tabla 15:** Test de correlación de los datos 5 metros:

	MIC-B2 475nm	MIC-B3 531nm	MIC-B4 560nm	MIC-B5 650nm	MIC-B6 668nm	MIC-B7 705nm	MIC-B8 717nm	MIC-B9 740nm	MIC-B10 842nm
p-value	0,07	0,016	0,006	0,011	0,06	0,000021	0,0000059	0,0018	0,014
Ecuación	$y=(381,687*x)+3,76$	$y=(357,93*x)-9,09$	$y=(382,13*x)-16,46$	$y=(434,86*x)-11,87$	$y=(359,71*x)+1,746$	$y=(528,27*x)-31,99$	$y=(536*x)-27,22$	$y=(559,49*x)-12,04$	$y=(497,29*x)-5,04$
R2	0,096	0,19	0,25	0,21	0,1	0,53	0,58	0,33	0,2

**Fuente:** Elaboración propia.

Por último, para los de 10m de margen también se encuentran también 7 longitudes de onda que cumplen con el requisito de valor p establecido, y de nuevo son las bandas de B7 y B8 de las que se obtiene el valor más elevado de coeficiente de determinación, de 0,53 y 0,58 respectivamente.

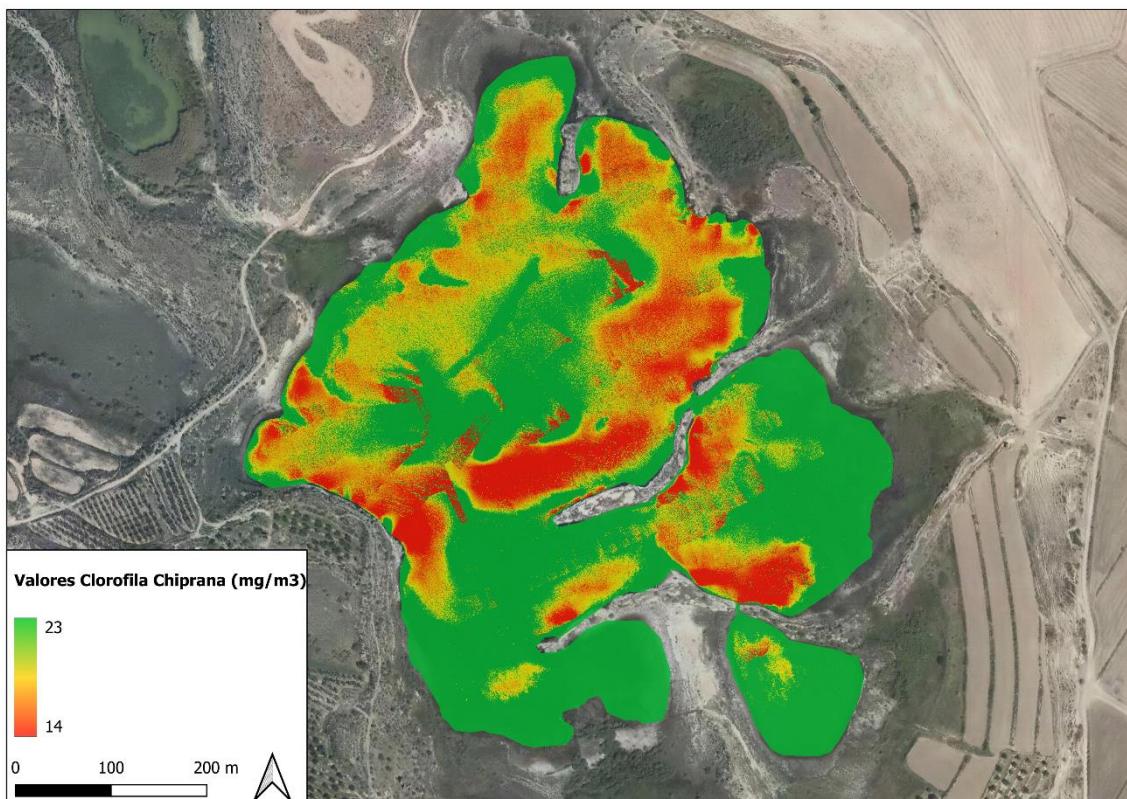
**Tabla 16:** Test de correlación de los datos 10 metros:

	MIC-B2 475nm	MIC-B3 531nm	MIC-B4 560nm	MIC-B5 650nm	MIC-B6 668nm	MIC-B7 705nm	MIC-B8 717nm	MIC-B9 740nm	MIC-B10 842nm
p-value	0,076	0,017	0,006	0,01	0,059	0,000019	0,000006	0,0019	0,014
Ecuación	$y=(381,40*x)+4,16$	$y=(356,32*x)-8,44$	$y=(381,81*x)-15,92$	$y=(442,08*x)-11,99$	$y=(369,78*x)+1,236$	$y=(533,43*x)-31,96$	$y=(542,31*x)-27,47$	$y=(564,7*x)-12,4$	$y=(504,19*x)-5,712$
R2	0,092	0,19	0,25	0,22	0,11	0,535	0,581	0,31	0,199

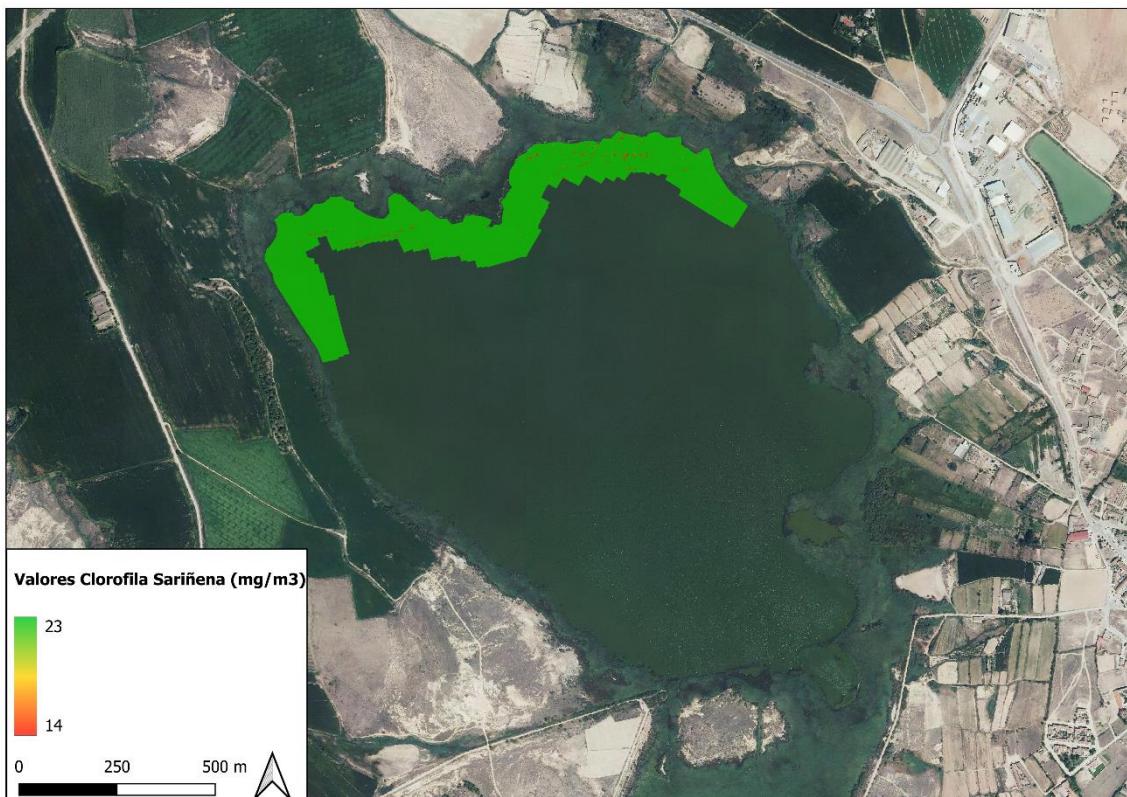
**Fuente:** Elaboración propia.

De los 50 valores obtenidos, el que tiene el menor valor p y el mayor coeficiente de correlación, es el que corresponde a la banda B8 con la ventana de 3 metros. Una vez obtenido el ajuste, ya se podían transformar los valores de longitud de onda en valores de clorofila con la calculadora Raster mediante QGis.

Se obtuvo un mapa de cada laguna (Figura 31 y 32) en los que se pueden ver las variaciones espaciales de las concentraciones de clorofila-a en la laguna. En la laguna de Sariñena se aprecia claramente que prácticamente todos los puntos de muestreo tienen valores de clorofila muy superiores a 23 mg/m3. En Chiprana se aprecia un patrón irregular a lo largo de la laguna, con una gran franja en la zona central que presenta una baja concentración de clorofila, y con valores inferiores también en la zona Este y Noroeste de la laguna.



**Figura 31:** Valores de Clorofila en la Laguna de Chiprana. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 32:** Valores de Clorofila en la Laguna de Sariñena. Fuente: Elaboración propia.

## 7 DISCUSIÓN

---

### 7.1 Evolución histórica del estado trófico en las lagunas de Chiprana y Sariñena y su relación con la gestión de la cuenca

#### 7.1.1 Nivel trófico y estado ecológico de las lagunas:

En los Monegros, hay un elevado número de lagunas endorreicas, entre las que se pueden encontrar desde lagunas oligotróficas hasta hipereutróficas, debido al amplio rango de concentración de clorofila-a existente (Piazuelo, 2017). Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan un aumento significativo de la concentración de nutrientes en el agua de las lagunas de Chiprana y Sariñena las últimas décadas, un fenómeno asociado con la actividad agrícola intensiva en Aragón.

Los resultados del trabajo muestran un aumento considerable, a lo largo del registro de datos existente, de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el agua de las lagunas, los cuales son elementos clave en el proceso de eutrofización.

La laguna de Chiprana es un espacio RAMSAR y una masa de agua sometida a gestión. Sin embargo, tras el último muestreo, en 2023, la laguna de Chiprana quedó clasificada como eutrófica según el criterio de la OCDE (OCDE, 1982), con una concentración de clorofila de 25,5 mg/m<sup>3</sup>. Esto se extiende a gran parte de los muestreos realizados en esta laguna, que incluso alcanza un estado de hipereutrofia en ocasiones. Desde 2017, la laguna de Chiprana ha estado en un estado de eutrofia o hipereutrofia hasta el último muestreo de abril de 2023, aunque ya desde el 2009 se aprecia un aumento en la concentración de clorofila.

Respecto al estado ecológico calculado a partir de la concentración de clorofila-a, la laguna de Chiprana estaba catalogada con estado “Bueno”, acorde a los criterios establecidos por el Real Decreto 817/2015, hasta 2016. A partir de ese año comienza a variar en cada muestreo obteniendo distintos niveles de calidad (entre 2016 y 2023).

La laguna de Sariñena actualmente es una laguna hipereutrófica en su registro completo de datos según el criterio OCDE, esto es desde 2008 hasta 2023. En la última medición, de abril de 2023, se alcanzó el máximo en concentración de clorofila, con 295,2 mg/m<sup>3</sup>.

En cuanto al estado ecológico de Sariñena, se ha observado que todos los años la catalogación fue de estado “Deficientes” según los criterios del Real Decreto 817/2015.

Los humedales están desapareciendo tres veces más rápido que los bosques y son el ecosistema más amenazado del planeta. En España, hay un total de 75 humedales recogidos en el Convenio de Ramsar de 1971. Sus más de 300.000 hectáreas, a pesar de estar en régimen de protección internacional, atraviesan el peor momento de su historia, con un 85% en una situación pobre o muy pobre (SEO BirdLife, 2022).

La situación de las lagunas objeto de estudio se puede observar en otras muchas, con mayor reputación cultural y con el mismo régimen de protección. En Doñana ya se lleva tiempo alertando de la eutrofización de las aguas y del riesgo de sus ecosistemas. La investigación del CSIC señala que la contaminación de sus aguas ha aumentado en los últimos años debido a la agricultura intensiva y a la gestión de los residuos industriales (Retema, 2021). El humedal cada vez recibe menos agua, a causa en parte de una menor aportación de aguas subterráneas del acuífero por a la sobreexplotación para uso agrícola, y el agua presente está muy contaminada por fertilizantes y herbicidas, que están contaminando tanto el agua superficial como la subterránea de Doñana (WWF, 2024), lo que le ha llevado a estar sometida a un proceso de eutrofización acelerado, con incrementos exponenciales de fósforo y nitrógeno en los últimos 5 años (WWF, 2016).

Un complejo que, aunque no es de naturaleza endorreica, si tiene una gran importancia ecológica y cultural son las Tablas de Daimiel, las cuales han sufrido un proceso de eutrofización en algunas zonas. Estas en los últimos años han experimentado un incremento de turbidez, de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y de clorofila, llegando a alcanzar los 40 mg/m<sup>3</sup> (IGME, 2019). Algunos ejemplos de lagunas endorreicas que han visto reducida su calidad en los últimos años son la Laguna Fuente de Piedra, que es la más grande de Andalucía y un sitio clave para flamencos y otras aves acuáticas. Hay estudios que registran concentraciones elevadas de fósforo y nitrógeno total y clorofila, llegando a alcanzar una concentración máxima de 170 mg/m<sup>3</sup> (Junta de Andalucía, 2003). Otro ejemplo es la Laguna de Gallocanta, la cual registraba un valor medio de concentración de clorofila de 16,5 mg/m<sup>3</sup>, y unas concentraciones de nitrógeno y fósforo totales de 1734 mg/m<sup>3</sup> y 256 mg/m<sup>3</sup> respectivamente (López-Flores et al., en preparación). A pesar de estar declarada desde 1997 como Zona Vulnerable a los Nitratos, continúa teniendo grandes problemas con la cantidad y estabilidad de estos nutrientes por las actividades agropecuarias realizadas en su cuenca, debido a medidas complejas de aplicar (Orellana Macías, 2022).

### 7.1.2 Evolución de la concentración de nutrientes en las lagunas a lo largo del tiempo

Las variaciones en los nutrientes, tanto nitrógeno como fósforo, vienen ligadas a las actividades agropecuarias. En la agricultura se emplean fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo para aumentar el rendimiento de los cultivos, que, con las precipitaciones o el exceso de riego, se ven arrastrados subterránea y superficialmente. Este enriquecimiento nutricional de las masas de agua causa un desequilibrio ecológico por el incremento en el crecimiento del fitoplancton y las algas, que suele degenerar en un proceso de eutrofización (SeoBirdLife, 2012). En la ganadería se da el mismo proceso que en la agricultura debido a los excrementos de origen animal que son muy ricos en nitrógeno y fósforo, y además poseen un gran contenido de materia orgánica que al llegar al agua reduce considerablemente el oxígeno en su proceso de descomposición.

El nitrógeno tiene una alta solubilidad en agua, llegando grandes concentraciones de este compuesto que se transformará en nitratos, nitritos y amoníaco en función de las características de la masa de agua, como el pH y el oxígeno. El fósforo tiene una gran facilidad para adherirse a los suelos, mediante adsorción y retención. Es por ello que suele ser un recurso limitante en ecosistemas acuáticos, que únicamente alcanza el agua mediante procesos de erosión (Ministerio de Transición Ecológica).

Así, el incremento de la concentración de clorofila-a es el resultado de un incremento en concentración de nitrógeno y fósforo en las lagunas, que genera un aumento en la biomasa de fitoplancton. La disponibilidad de luz y la concentración de nutrientes inorgánicos son los dos factores limitantes para la producción primaria, por lo que los aportes externos procedentes de escorrentía en la cuenta son muy relevantes para el nivel trófico y el estado ecológico de las lagunas.

En este trabajo se observó que, en Chiprana la concentración máxima de nitrógeno inorgánico se registró entre los años 2015 y 2017. Sin embargo, la evolución general muestra un incremento con el paso del tiempo. La concentración de fósforo en Chiprana es más difícil de interpretar, puesto que se producen oscilaciones de la concentración, con un incremento entre 2008 y 2012, y posteriormente en el registro se ven dos valores máximos (año 2017 y 2021) y un pequeño aumento al final de la serie de datos (año 2022 y 2023).

En la laguna de Sariñena, la evolución de la concentración de nitrógeno inorgánico fue muy irregular a lo largo del registro, aunque desde 2016 hasta 2022 se observan

concentraciones más elevadas que los años anteriores, a excepción de la última medición de 2023 que muestra un valor inferior. En la laguna se aprecia un descenso en la concentración de fósforo total entre las mediciones de 2020 y 2022, aunque en 2023 se alcanza el valor máximo de toda la serie.

En 2023, en Chiprana, se calculó la relación de Redfield la cual dio una ratio nitrógeno-fósforo de 26,7, la cual nos indica un exceso del primer nutriente frente al segundo, que está actuando como recurso limitante para el desarrollo de la biomasa algal de la laguna. También nos aparece con la relación de Redfield un exceso de Carbono frente al fósforo y frente al nitrógeno, siendo el Carbono Orgánico Disuelto el recurso más abundante de esta laguna. En cuanto a la evolución de las ratios a lo largo del registro de datos, hay un exceso de nitrógeno en la mayoría de los muestreos, con una clara dominancia entre 2012 y 2021, aunque hay varios muestreos en los que salía carencias de este nutriente.

En la laguna de Sariñena, en 2023, encontramos una situación similar a la de Chiprana, solo que en este caso hay una mayor concentración de Nitrógeno Inorgánico Disuelto y de fósforo. La ratio entre nitrógeno y fósforo en este caso es superior, de 49,8, prácticamente duplicando a la de Chiprana. Continúa habiendo un exceso de Carbono frente al fósforo y al nitrógeno, pero estos nutrientes presentan menos limitación. En cuanto a la variación de las ratios en esta laguna es diferente a la de Chiprana, habiendo un exceso de fósforo únicamente en uno de los muestreos del registro, en 2010. Cabe resaltar que, aunque en Sariñena prácticamente todas las medidas del registro hay una dominancia del nitrógeno, la ratio máxima de Chiprana es casi cuatro veces superior a la de Sariñena.

### 7.1.3 Variación de los usos del suelo en las cuencas de Chiprana y Sariñena

El análisis de los usos del suelo es de vital importancia para alcanzar los objetivos del presente estudio, ya que las variaciones en las características fisicoquímicas de la laguna van ligadas a los usos que se desarrollan en su cuenca. Los datos detallados se recogen en la figura 37 de Anexos.

En la salada de Chiprana se encuentran algunas noticias sobre la gestión de los usos de las superficies que la rodean. En el plan de Conservación de Chiprana se detalla como amenaza la Intensificación agrícola ligada a la implantación de nuevos regadíos (Gobierno de Aragón, 2015). Ya entre 2012 y 2014 salen algunas noticias de grupos como Seo Bird Life y Chunta Aragonesista alertando del mal estado de conservación de la salada por la mala gestión de la actividad agropecuaria que se desarrolla en sus alrededores. En el catálogo Nacional de reservas protegidas del Ministerio de Transición ecológica, aparece

información acerca de los aportes de Chiprana, los cuales proceden una parte importante de los excedentes de riego (en torno al 18%), destacando el aporte subterráneo (en torno al 64%) y la precipitación directa (cerca de un 22%).

En Chiprana ha habido más variaciones en los usos del suelo. La lámina de agua, al contrario que en Sariñena, se ha reducido entre 2006 y 2012, pasando de 66 a 33 hectáreas. La superficie destinada a secano muestra una disminución gradual con el paso de los años entre 1990 y 2012 de 150 hectáreas, aunque en 2018 vuelve a estar destinado el mismo porcentaje que al principio, a costa de la superficie de vegetación natural. El regadío tiene un aumento progresivo, principalmente en las primeras etapas, porque entre 2012 y 2018 no hay un aumento excesivo de la superficie, llegando casi a triplicar la superficie destinada a estos cultivos en dos décadas. La vegetación natural sufre una gran disminución de su superficie entre 2012 y 2018, la mitad de su superficie formada principalmente por matorrales pasa a ser destinada a cultivos de secano.

Los cultivos de regadío presentes en los alrededores de la laguna de Sariñena son maíz y alfalfa, los cuales son muy rentables para los agricultores locales debido al clima semiárido y las condiciones de suelo. Estos tienen grandes requerimientos de agua en los meses de verano, contribuyendo a la eutrofización en cuerpos de agua cercanos por el uso de fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo. En Chiprana encontramos también maíz y alfalfa, y también cultivos de olivos en las zonas cercanas a la laguna. El riego contribuye indirectamente a la Laguna de Chiprana mediante escorrentías y excedentes que se convierten en aportes hídricos de la laguna, influyendo en la disponibilidad de nutrientes y en la calidad del agua debido al arrastre de fertilizantes y minerales utilizados en la agricultura cercana como pasaba en Sariñena.

En el caso de la laguna de Sariñena, se puede apreciar que los usos del suelo en cuanto a regadío no presentan grandes variaciones desde el primer dato de 1990, debido a que la instauración de los regadíos en sus inmediaciones por parte del Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) data de fechas anteriores (1940, aproximadamente). Se encuentran algunos artículos de autores como César Pedrocchi o Ricardo Segura (citas), que alertan de excedentes de riego que llegan a la laguna y modifican su estructura y composición desde la década de los 70's. Se aprecia un aumento progresivo de la superficie dedicada a infraestructuras urbanas e industriales. También se ve un aumento de la superficie de la laguna entre 2006 y 2012, donde pasa de 115 a 159 hectáreas. La superficie dedicada a cultivos de secano desaparece en 2012, aunque posteriormente en 2018 aumentan con respecto a los valores de 1990 y 2006. El regadío aumentó entre 2006

y 2012 en más de 100 hectáreas, aunque en 2018 disminuye ligeramente su superficie en 15 hectáreas. La superficie natural, formada principalmente por bosques de coníferas y matorrales, se mantiene constante hasta que entre 2006 y 2018 disminuye 50 hectáreas de superficie.

#### 7.1.4 Uso de drones para el seguimiento de la calidad del agua en las lagunas endorreicas.

El objetivo principal de la estrategia de muestreo y captura de datos de humedales de interior de cuenca mediante dron es obtener datos que no se podrían alcanzar mediante muestreos tradicionales. Los resultados del estudio de las lagunas han sido positivos, consiguiendo establecer muy buenas relaciones entre la concentración de clorofila-a y la respuesta espectral del agua, aunque en algunos puntos de muestreo se obtuvieron resultados más elevados que se consideran un error generado por el reflejo de la luz solar sobre la superficie del agua. Esa relación se vuelve más robusta cuando se establece un área alrededor del punto de muestreo, con el mejor resultado en 3m2 de ventana. La relación se optimiza en función de la absorción escogida, con valores máximos para las longitudes de onda B4, B5 y B7 a B9, especialmente con B7 (705 nm) y B8 (717 nm).

El resultado del estudio muestra que todas las lagunas presentaron valores elevados de clorofila para su tipología (L-T22; RD817/2015). Sariñena destacó por los altos valores tanto en clorofila-a como en fósforo total, siendo esta laguna de menor salinidad por los aportes de riego y a su vez la más eutrófica (Castañeda et al., 2023). Los resultados del estudio con dron concuerdan con lo estudiado en los análisis de los componentes fisicoquímicos de las lagunas del presente estudio.

## 8 CONCLUSIONES

---

- Los resultados de este trabajo mostraron que entre 2016 y 2022 hubo un gran aumento de la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en ambas lagunas, alcanzando valores máximos entre 2015-16 en Chiprana y en el 2016, 2020-21 en Sariñena.
- En cuanto las variables analizadas en este estudio, concentración de clorofila-a, fósforo, nitrógeno y conductividad, todas ellas fueron relevantes para diferenciarlas entre ellas la laguna de Sariñena y la salada de Chiprana.
- En general, la laguna de Sariñena presentó una mayor concentración de clorofila y salvo en algunas ocasiones, también presentó más concentración de fósforo, mientras que Chiprana, con mayor conductividad, tuvo una mayor concentración de DIN en la mayoría de las mediciones.
- La concentración de fósforo aumentó en ambas lagunas. En Chiprana se registraron valores máximos a lo largo de toda la serie temporal, mientras que, en Sariñena, se apreció un descenso con dos fases marcadas, valores elevados entre 2008-2019, y valores menores entre 2020-2022, con el máximo de todo el registro en 2023.
- La concentración de clorofila en Sariñena muestra un aumento gradual, con tres picos máximos en 2012, 2019 y 2023. En Chiprana a pesar de haber una menor concentración de clorofila que en Sariñena, también hubo un aumento progresivo con a lo largo del tiempo, coincidiendo con un aumento gradual de la profundidad del Disco de Secchi.
- El nivel de calidad de la masa de agua de Chiprana según los criterios del Real Decreto 817/2015 fue variable a lo largo del tiempo. Sin embargo, tanto la concentración de fósforo como la de clorofila aumentaron, empeorando la calidad con el paso del tiempo.
- En cuanto a la laguna de Sariñena, la reducción de concentración de fósforo ha llevado a la laguna a alcanzar categoría la categoría de calidad “buena” entre 2020 y 2022. A pesar de esto, la concentración de clorofila siempre se mantiene en la categoría de deficiente.
- El estudio de la ratio N:P muestra un exceso de nitrógeno en la mayoría de las mediciones del registro en ambas lagunas, siendo el exceso de nitrógeno habitual en Sariñena.

- El análisis de los usos del suelo que se desarrollan en las cuencas muestra una gran importancia en el estado de las lagunas, coincidiendo un incremento en la actividad agrícola de los últimos años con una disminución en la calidad de las aguas y un incremento en el grado de eutrofia.
- La metodología ensayada para determinar el estado trófico de las lagunas mediante el uso de dron dio buenos resultados. La concentración de clorofila-a se correlacionó significativamente con la banda 8, siendo la mejor metodología la utilización de una ventana de 3x3 metros alrededor del punto donde se tomó el agua.
- Esta metodología debe seguir poniéndose a punto ya que quedan algunos problemas detectados durante su uso que se deben solucionar o corregir, como es el error generado por el reflejo de la luz solar sobre la superficie del agua.

## Agradecimientos

Llegados a este punto, tras un largo camino de formación y trabajo, quiero agradecer a todas aquellas personas que se han molestado en enseñarme algo en cualquier ámbito durante mi vida.

Quiero agradecer en primer lugar a la Doctora Rocío López Flores por todo el apoyo y dedicación en este trabajo, que no habría sido posible sin sus consejos y directrices. Aprovecho para agradecer también a Diego Mota, quién participo en este proyecto y realizó los muestreos y los análisis de laboratorio para que este trabajo fuera posible.

Agradezco tanto a la Doctora Carmen Castañeda, desde la Estación Experimental de Aula Dei, como al Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía, ambos departamentos del CSIC, tanto por los datos obtenidos del dron como por su dedicación y trabajo en el campo de la investigación que permite la creación de proyectos ambientales.

Quiero agradecer a mi familia y amigos por el apoyo durante la realización de este trabajo.

## 9 REFERENCIAS

---

Castañeda, C., López-Flores, R., Román, A., Mota, D., Tierra, M., Abdelrazek, A. y Navarro, G. (2023). *Uso de drones para muestreo de agua y adquisición de datos multiespectrales en humedales protegidos de Aragón afectados por intensificación agrícola*. Proyecto de colaboración entre EEAD-CSIC, Universidad de Zaragoza y ICMAN CSIC.

Conesa Mor, J.A., Castañeda del Álamo, C. y Pedrol Solanes J. (2011). *Las saladas de Monegros y su entorno. Hábitats y paisaje vegetal*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

Cruz-Pizarro, L., de Vicente, I., Moreno-Ostos, E., Amores, V., & El Mabrouki, K. (2003). Estudios de diagnóstico y viabilidad en el control de la eutrofización de las lagunas de la Albufera de Adra. *Limnética*, 22 (1), 135-154. Recuperado de <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-22-1-p-135.pdf>

Gobierno de Aragón. (2015). *Decreto 61/2015, de 21 de abril, por el que se aprueba el Plan de Conservación de la Reserva Natural de las Saladas de Chiprana*. Boletín Oficial de Aragón, 82, 13476-13479. Recuperado de <https://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=851743260909>

Gobierno de Aragón. (2022). *Memoria de gestión: Reserva Natural Dirigida Saladas de Chiprana 2022*. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Recuperado de [https://www.aragon.es/documents/d/guest/memoria2022\\_rnchiprana](https://www.aragon.es/documents/d/guest/memoria2022_rnchiprana)

Doña, C., Caselles, V., Sánchez, JM, Ferril, A., & Camacho, A. (2011). Herramienta para el estudio del estado de eutrofización de masas de agua continentales. *Revista de Teledetección de la Asociación Española de Teledetección*, 36, 27-36. Recuperado de [https://www.aet.org.es/revistas/revista36/Numero36\\_04.pdf](https://www.aet.org.es/revistas/revista36/Numero36_04.pdf)

El Periódico de Aragón. (2007, 5 de julio). Medio Ambiente da luz verde a las obras de la zona regable del nuevo Canal de Civán, en el término de Caspe. Recuperado de <https://www.elperiodicodearagon.com/aragon/2007/07/05/medio-ambiente-da-luz-verde-48012364.html>

Fraile, H., Orive, E. y Pozo, J. (1995). Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (Río Tera,

Zamora). *Limnética*, 11 (2), 29-42. Recuperado de <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-11-2-p-29.pdf>

Fundación Aquae (2021). *Cuenca endorreica*. Recuperado de <https://www.fundacionaqua.org/wiki/cuenca-endorreica-2/>

García Miranda, F.G. y Miranda Rosales, V. (2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <https://ru.iiec.unam.mx/4269/>

Gobierno de Aragón (2023). *Laguna de Sariñena: paraíso para las Aves*. Red Natural de Aragón. Recuperado de <https://www.rednaturaldearagon.com/laguna-de-sarinena/>

Junta de andalucía (2003). *Laguna de Fuente de Piedra*. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Estado\\_Y\\_Calidad\\_De\\_Los\\_Recursos\\_Naturales/Ecosistemas/Humedales/02\\_fuente\\_piedra.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estado_Y_Calidad_De_Los_Recursos_Naturales/Ecosistemas/Humedales/02_fuente_piedra.pdf)

Galindo Martín, L.M. (2012, 3 de septiembre). *Los ecologistas alertan del empobrecimiento del ecosistema de la laguna de Chiprana*. Aragón Digital. Recuperado de <https://www.aragondigital.es/articulo/medio-ambiente/ecologistas-alertan-empobrecimiento-ecosistema-laguna-chiprana/20120903211900673572.html>

López Flores, R. (2023). *Concentración de clorofila en muestras de agua*. Prácticas de Ecosistemas acuáticos, Universidad de Zaragoza.

Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes (2015, 12 de septiembre). *Real decreto 817/2015 por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental*. Boletín Oficial del Estado. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Estado de los nitratos en España*. Gobierno de España. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-nitratos.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Impacto de los nitratos y pesticidas en el uso y calidad de las aguas*. Gobierno de España. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/impacto-calidad-agua.html>

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (2019). *La eutrofización de nuestros humedales idnica la degradación que se está sufriendo*. Gobierno de España. Recuperado de <https://web.igme.es/SalaPrensa/NotasPrensa/2019/11/Tablas%20de%20Daimiel.pdf>

Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes (2022). *Real decreto 47/2022 sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias*. Boletín Oficial del Estado, 20 de enero de 2022, págs. 7077-7096. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2022/01/20/pdfs/BOE-A-2022-860.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Laguna Salada de Chiprana*. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/gl/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/catalogo-nacional-de-reservas-hidrologicas/informacion/ebro/laguna-salada-chiprana.html>

Montes, C., Amat, J.A. y Ramírez Díaz, L. (1982). Distribución temporal de las características Físico-Químicas y Biológicas de las aguas de algunos ecosistemas acuáticos del Bañuelo Guadalquivir (SW. España) a lo largo de un ciclo anual. *Anales de Biología*, (11), 189–203. Recuperado de <https://revistas.um.es/analesumciencias/article/view/101711>

Orellana Macías, J.M. (2022). *Hydrogeology Assessment and Groundwater Risk Analysis of Nitrate Pollution in the Gallocanta Basin (Spain)*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/117927/files/TESIS-2022-141.pdf>

Oroná, C.E. (2012). *Caracterización limnológica de un sistema de agua salada de una cuenca endorreica*. Tesis doctoral, Universidad de la Coruña. Recuperado de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/10327>

Pedrocchi Renault, C. (1998). *Ecología de los Monegros. La paciencia como estrategia de supervivencia*. Instituto de Estudios Altoaragoneses y Centro de Desarrollo de Monegros.

Pedrocchi, C., Ibáñez, M.J., Ascaso, A., Puigdefábregas, J., García Ruiz, J.M., Gómez, D., Montserrat, G., Barrientos, M.C., Vicente, M.C., Espadaler, X., Vives, J. y Falcón, J.M. (1986). *Estudio multidisciplinar de La Laguna, Sariñena (Huesca)*. Colección de Estudios Altoaragoneses (n.º 6). Diputación Provincial de Huesca. Recuperado de [https://issuu.com/diputacionprovincialdehuesca/docs/multidisciplinar\\_laguna\\_sari](https://issuu.com/diputacionprovincialdehuesca/docs/multidisciplinar_laguna_sari)

Piazuelo Mombiela, S. (2017). *Estudio de la comunidad planctónica y del estado de conservación de las saladas monegrinas del conjunto endorreico Bujaraloz-Sástago: contextualización en España*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/63954/files/TAZ-TFG-2017-3655.pdf>

RETEMA (2021). *La calidad del agua en Doñana, en peligro*. Recuperado de <https://www.retema.es/actualidad/calidad-del-agua-donana-peligro>

Segura Graíño, R. (2008). *La creación de un nuevo ecosistema de elevado interés en la Laguna de Sariñena (Huesca) como resultado de la puesta en riego de su cuenca durante el último cuarto del siglo XX*. XXVI Congreso Nacional de Riegos. Recuperado de <https://www.serina.es/empresas/aeryd/sinopsis%20congreso/SINOPSIS%202026%20CNR%20HUESCA/D%20SINOPSIS%20PDF/S-D-01.pdf>

SEO BirdLife (2012). *SEO/BirdLife alerta del estado de conservación de la Reserva Natural de las Saladas de Chiprana (Zaragoza)*. Recuperado de <https://seo.org/seobirdlife-alerta-del-estado-de-conservacion-de-la-reserva-natural-de-las-saladas-de-chiprana-zaragoza/>

SEO Birdlife (2022). *Humedales RAMSAR en España: En alerta*. Recuperado de [https://seo.org/wp-content/uploads/2022/02/HUMEDALES-Ramsar-en-Espan%cc%83a\\_En-Alerta-2022.pdf](https://seo.org/wp-content/uploads/2022/02/HUMEDALES-Ramsar-en-Espan%cc%83a_En-Alerta-2022.pdf)

Velasco, J.L., Soriano, O., Fernández, J. y Rubio, Á. (2004). *Características físicas y químicas de diferentes masas de agua: II Cuenca del Duero (España)*. Organismo Autónomo Parques Nacionales (España). Recuperado de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/74363/1/20130412085002.pdf>

WWF (2024). *Informe: Cinco evidencias científicas del colapso ecológico de Doñana*. Recuperado de [https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_ciencia-para-salvar-donana.pdf?66360/cinco-evidencias-cientificas-del-colapso-ecologico-de-Donana](https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf_ciencia-para-salvar-donana.pdf?66360/cinco-evidencias-cientificas-del-colapso-ecologico-de-Donana)

## 10 ANEXOS

---

FECHA	Cond	DIN	PT	Chla
	microS/cm	mg/m3	mg/m3	mg/m3
abr-08	2510,0	260,0	210,0	60,6
ago-08	2710,0	393,0	161,0	48,9
sep-09	2220,0	216,0	190,0	78,1
ago-10	2620,0	582,0	222,0	98,2
sep-12	4099,0	337,0	284,0	679,9
may-16	2372,0	5580,0	257,0	93,9
jul-16	2522,0	5410,0	211,0	139,7
ago-17	3454,0	1373,0	150,0	75,2
ago-18	3454,0	1173,0	150,0	75,2
jul-19	3421,0	3785,0	271,0	433,4
may-20	2750,0	535,8	63,6	134,0
jul-20	2938,0	679,0	85,1	134,0
dic-20	2257,0	7666,0	69,4	134,0
mar-21	2684,0	5199,0	66,0	107,3
may-21	2818,0	483,6	42,4	107,3
jul-21	3095,0	354,0	21,4	107,3
dic-21	2792,0	11419,0	18,1	107,3
mar-22	3011,0	5967,0	5,2	110,0
may-22	2862,0	1037,3	67,3	110,0
jul-22	3466,0	644,0	19,2	110,0
nov-22	3700,0	1574,7	43,4	110,0
abr-23	4146,7	87,8	287,2	295,2
2023 media	3800,0	3724,0	79,4	189,6

**Figura 33:** Valores parámetros fisicoquímicos Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.

feb-86	55000	175	3,6	2
mar-87	53300	347	2,9	8
jul-89	38790	3	0,14	8,4
jul-95	47420	442	3	3,6
ago-07	72340	68	38	6,01
sep-08	72000	10	89	100
ago-09	28800	97	53	13,27
ago-10	72100	309	114	14,72
ago-12	95967	160	171	27,94
may-15	111317	121582	20	16,9
sep-15	110181	78505	110	16,9
jun-16	87163	56035	30	27,8
sep-16	97122	61962,6	229	6,02
jul-17	55819	4005	349	14,3
ago-18	73947	20961	61	17,3
jul-19	59719	5056	54	10,5
jul-20	70787	889	36,2	31,8
dic-20	63941	6978,4	36	31,8
mar-21	59929	11567	190	19,5
may-21	53270	303,3	24,9	19,5
sep-21	59435	14172,1	62,6	19,5
dic-21	58780	7567,8	439	19,5
feb-22	60458	7838,5	5,44	5,8
jul-22	61459	164,5	17,2	5,8
sep-22	57695	8609,8	104	5,8
nov-22	60230	7677,6	136	5,8
abr-23	49733,3	36,666667	153,05819	21,4835
2023 media	58000	1573,3	108,46667	11,7

**Figura 34:** Valores parámetros fisicoquímicos Chiprana. **Fuente:** Elaboración propia.

FECHA	DIN	PRS	PM (mg/mol)		Moles (mol/m <sup>3</sup> )		DIN	PRS	Relación N:P	Exceso de...
			mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	N	P				
ago-08	393,0	43,0	14000	31973	0,02807143	0,001344885	0,03	0,00	20,87	1,32 N
sep-09	216,0	16,0	14000	31973	0,01542857	0,000500422	0,02	0,00	30,83	1,49 N
ago-10	582,0	133,0	14000	31973	0,04157143	0,00415976	0,04	0,00	9,99	1,00 P
sep-12	337,0	7,0	14000	31973	0,02407143	0,000218935	0,02	0,00	109,95	2,04 N
jul-16	5410,0	92,0	14000	31973	0,38642857	0,002877428	0,39	0,00	134,30	2,13 N
ago-17	1373,0	15,0	14000	31973	0,09807143	0,000469146	0,10	0,00	209,04	2,32 N
jul-19	3785,0	4,0	14000	31973	0,27035714	0,000125106	0,27	0,00	2161,03	3,33 N
jul-20	679,0	50,0	14000	31973	0,0485	0,001563819	0,05	0,00	31,01	1,49 N
dic-20	7666,0	21,7	14000	31973	0,54757143	0,000678698	0,55	0,00	806,80	2,91 N
mar-21	5199,0	20,7	14000	31973	0,37135714	0,000647421	0,37	0,00	573,59	2,76 N
may-21	483,6	7,0	14000	31973	0,03454286	0,000218935	0,03	0,00	157,78	2,20 N
jul-21	354,0	49,3	14000	31973	0,02528571	0,001541926	0,03	0,00	16,40	1,21 N
dic-21	11419,0	44,1	14000	31973	0,81564286	0,001379289	0,82	0,00	591,35	2,77 N
mar-22	5967,0	12,3	14000	31973	0,42621429	0,0003847	0,43	0,00	1107,91	3,04 N
may-22	1037,3	37,9	14000	31973	0,07409286	0,001185375	0,07	0,00	62,51	1,80 N
jul-22	644,0	28,3	14000	31973	0,046	0,000885122	0,05	0,00	51,97	1,72 N
nov-22	1574,7	10,3	14000	31973	0,11247857	0,000322147	0,11	0,00	349,15	2,54 N
abr-23	87,8	3,9	14000	31973	0,00627143	0,000121978	0,01	0,00	51,41	1,71 N
2023 media	3724,0	39,1	14000	31973	0,266	0,001222907	0,27	0,00	217,51	2,34 N

**Figura 35:** Cálculo de ratios N:P en Sariñena. **Fuente:** Elaboración propia.

ago-07	68	5,0	14000	31973	0,00485714	0,000156382	0,00	0,00	31,06	1,49 N
sep-08	10	28,0	14000	31973	0,00071429	0,000875739	0,00	0,00	0,82	-0,09 P
ago-09	97	9,0	14000	31973	0,00692857	0,000281488	0,01	0,00	24,61	1,39 N
ago-10	309	50,0	14000	31973	0,02207143	0,001563819	0,02	0,00	14,11	1,15 P
ago-12	160	12,0	14000	31973	0,01142857	0,000375317	0,01	0,00	30,45	1,48 N
may-15	121582	90,0	14000	31973	8,68442857	0,002814875	8,68	0,00	3085,19	3,49 N
sep-15	78505	90,0	14000	31973	5,6075	0,002814875	5,61	0,00	1992,10	3,30 N
jun-16	56035	107,0	14000	31973	4,0025	0,003346574	4,00	0,00	1196,00	3,08 N
sep-16	61962,6	90,0	14000	31973	4,4259	0,002814875	4,43	0,00	1572,33	3,20 N
jul-17	4005	248	14000	31973	0,28607143	0,007756545	0,29	0,01	36,88	1,57 N
ago-18	20961	6,0	14000	31973	1,49721429	0,000187658	1,50	0,00	7978,41	3,90 N
jul-19	5056	10	14000	31973	0,36114286	0,000312764	0,36	0,00	1154,68	3,06 N
jul-20	889	50	14000	31973	0,0635	0,001563819	0,06	0,00	40,61	1,61 N
dic-20	6978,4	21,7	14000	31973	0,49845714	0,000678698	0,50	0,00	734,43	2,87 N
mar-21	11567	594	14000	31973	0,82621429	0,018578175	0,83	0,02	44,47	1,65 N
may-21	303,3	64,9	14000	31973	0,02166429	0,002029838	0,02	0,00	10,67	1,03 P
sep-21	14172,1	103	14000	31973	1,01229286	0,003221468	1,01	0,00	314,23	2,50 N
dic-21	7567,8	1230	14000	31973	0,54055714	0,038469959	0,54	0,04	14,05	1,15 P
feb-22	7838,5	7	14000	31973	0,55989286	0,000218935	0,56	0,00	2557,35	3,41 N
jul-22	164,5	24,1	14000	31973	0,01175	0,000753761	0,01	0,00	15,59	1,19 P
sep-22	8609,8	26,9	14000	31973	0,61498571	0,000841335	0,61	0,00	730,96	2,86 N
nov-22	7677,6	330	14000	31973	0,5484	0,010321209	0,55	0,01	53,13	1,73 N
abr-23	36,6666667	2,8	14000	31973	0,00261905	8,75739E-05	0,00	0,00	29,91	1,48 N
2023 media	1573,3	198,1	14000	31973	0,11237857	0,006195071	0,11	0,01	18,14	1,26 N

**Figura 36:** Cálculo de ratios N:P en Chiprana. **Fuente:** Elaboración propia.

Porcentajes	1990					2006					
	Usos	Artificial	Lamina de agua	Secano	Regadío	Natural	Artificial	Lamina de agua	Secano	Regadío	Natural
Sariñena	3,7	8,3	1,1	76,1	10,8	5,0	8,3	1,1	74,8	10,8	
Chiprana	0,0	5,3	61,7	9,4	23,6	0,0	5,3	53,6	18,4	22,7	
2012										2018	
	Artificial	Lamina de agua	Secano	Regadío	Natural	Artificial	Lamina de agua	Secano	Regadío	Natural	
	6,9	10,4	0,0	70,3	12,4	7,6	10,4	2,2	69,7	10,1	
	0,0	2,7	49,2	24,1	24,0	0,0	2,7	61,6	24,2	11,6	

**Figura 37:** Evolución de los usos del suelo en las lagunas. **Fuente:** Elaboración propia mediante Corine.

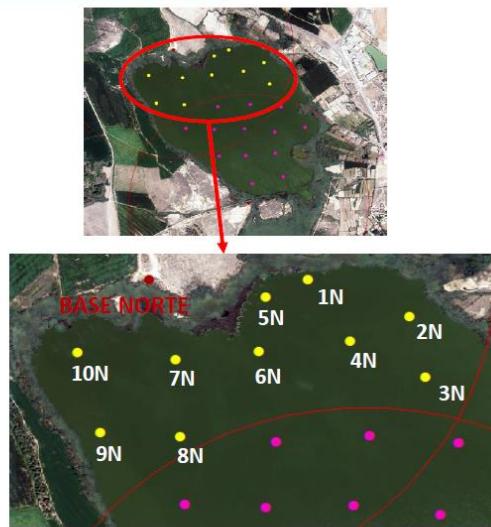
Equipos empleados:

Drones		Condor (Dronetools)		DJI Matrice 300
Sensores y dispositivos		DJI Zenmuse Z30	DJI H20T	MicaSense RedEdge-MX Dual
	Dispositivo tomamuestras de agua. Se empleó una cubeta cilíndrica.	Cámara de grabación de video durante el muestreo. No se hizo ninguna grabación.	Incluye 3 sensores que recogen datos de forma simultánea: RGB, Zoom y Térmico.	Sensor multiespectral de 10 bandas. La resolución espacial es de 8.2 cm/px a 120 m de altura.

**Figura 38:** Características de los equipos empleados en el muestreo con dron. **Fuente:** CSIC.

## Laguna de Sariñena: Previsión de puntos de muestreo (Previa al vuelo)

Vuelo Toma-Muestras



Base norte (puntos amarillos)		
Nº	Latitud	Longitud
1N	41,8026158374272	-0,1792899934308
2N	41,8014628086645	-0,1757986178400
3N	41,7997085840953	-0,1753111994490
4N	41,8008121410166	-0,1778670910074
5N	41,8021542837793	-0,1807735276321
6N	41,8005799769210	-0,1810849882977
7N	41,8004364696350	-0,1839894989912
8N	41,7981814593392	-0,1839355476853
9N	41,7983610638682	-0,1867122931311
10N	41,8007010956738	-0,1873908204216

20

**Figura 39:** Puntos de muestreo Sariñena. **Fuente:** CSIC.

## Laguna Salada de Chiprana: Previsión de puntos de muestreo (Previa al vuelo)

Vuelo Toma-Muestras



Nº	Latitud	Longitud
1	41,241730400	-0,181701557
2	41,242099190	-0,183137958
3	41,240805743	-0,180920488
4	41,240880616	-0,182517878
5	41,240591728	-0,184831755
6	41,239948856	-0,181446670
7	41,240038056	-0,183434891
8	41,239516635	-0,185108383
9	41,238206704	-0,182800116
10	41,238911823	-0,180212703
11	41,237233101	-0,183425971
12	41,237037771	-0,179878186
13	41,238928674	-0,183653230

19

**Figura 40:** Puntos de muestreo Chiprana. **Fuente:** CSIC.