



---

**INFORME FINAL DEL EMBALSE DE CUEVA FORADADA**  
**AÑO 2009**

---



**UTE DBO5, SL-ICA, SL-ENTECSA**  
C/MIGUEL MENÉNDEZ BONETA, 2 Puerta 8  
28460 LOS MOLINOS (MADRID)  
CIF: G-84535319

**CONSULTOR:**  
**UTE RED BIOLÓGICA EBRO**

Oficinas UTE Madrid: c/ Miguel Menéndez Boneta 2-4, puerta 8  
28460 Los Molinos, Madrid TF y FAX 91 855 00 29 E-mail: [consultoria@ica1.e.telefonica.net](mailto:consultoria@ica1.e.telefonica.net)

**DICIEMBRE 2009**

## ÍNDICE

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE</b>	<b>2</b>
2.1.  Ámbito geológico y geográfico	2
2.2.  Características morfométricas e hidrológicas	2
2.3.  Usos del agua	4
2.4.  Registro de zonas protegidas	4
<b>3. TRABAJOS REALIZADOS</b>	<b>5</b>
<b>4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>6</b>
4.1.  Características físico-químicas de las aguas	6
4.2.  Hidroquímica del embalse	8
4.3.  Fitoplancton y concentración de clorofila	9
4.4.  Zooplancton	10
<b>5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO</b>	<b>11</b>
<b>6. DIAGNOSTICO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO</b>	<b>12</b>

ANEXO I. REPORTAJE FOTOGRÁFICO

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de los trabajos realizados en el embalse de Cueva Foradada durante los muestreos de 2009 y la interpretación de los mismos, a efectos de proporcionar una referencia que facilite la consulta y explotación de la información obtenida.

En general, se recurre a presentaciones gráficas y sintéticas de la información, acompañadas de un texto conciso, lo que permitirá una consulta ágil y rápida del documento.

En el **Anexo I** se presenta un reportaje fotográfico que refleja el estado del embalse durante el periodo estudiado (verano 2009, correspondiente al año hidrológico 2008-2009).

En apartados sucesivos se comentan los siguientes aspectos:

- Resultados del estudio en el embalse (FASE DE CARACTERIZACIÓN) de todos los aspectos tratados (hidrológicos, fisicoquímicos y biológicos), que culminan en el diagnóstico del grado trófico.
- Clasificación del "Potencial Ecológico", tras la aplicación de los indicadores biológicos y fisicoquímicos propuestos en la Directiva Marco del Agua.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE

### 2.1. Ámbito geológico y geográfico

El embalse está situado en el extremo occidental del dominio Ibérico Maestrazgo Catalánides. El área engloba los macizos mesozoicos de la terminación oriental de la Cordillera Ibérica y su enlace con la Cordillera Costero-Catalana.

Destacar que los materiales donde se sitúa el embalse de Cueva Foradada pertenecen a la Era del Mesozoico: Triásico, facies Keuper como el Grupo Renales (brechas; calizas dolomíticas y calizas) y el Grupo Ablanquejo (margas y margocalizas). Pertenecientes al Jurásico son la Formación carbonatada de Chelva (con calizas; dolomías; calizas oolíticas y con nódulos de sílex); y al Cretácico Inferior las Formaciones: Alacón; Forcall y Oliete, Calizas y margas de la Cubeta de Oliete.

El embalse de Cueva Foradada se sitúa dentro del término municipal de Oliete, en la provincia de Teruel. Regula las aguas del río Martín.

### 2.2. Características morfométricas e hidrológicas

Se trata de un embalse de geometría irregular y sinuosa.

La cuenca vertiente al embalse de Cueva Foradada tiene 66525,36 ha, de las cuales 600 km<sup>2</sup> se corresponden a su cuenca de drenaje.

El embalse tiene una capacidad total de 22,08 hm<sup>3</sup>, que coincide con su capacidad útil. Tiene una profundidad media de 12,7 m, mientras que la profundidad máxima alcanza los 43 m.

En el **Cuadro 1** se presentan las características morfométricas del embalse.

**CUADRO 1**  
 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DEL EMBALSE DE CUEVA FORADADA

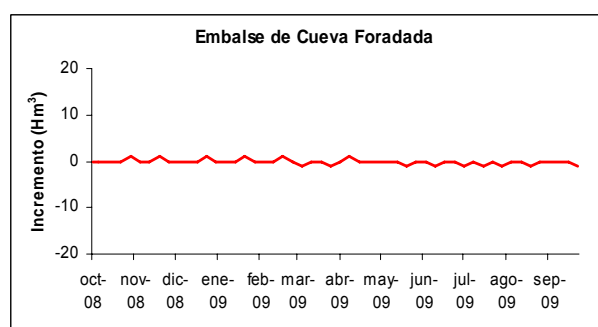
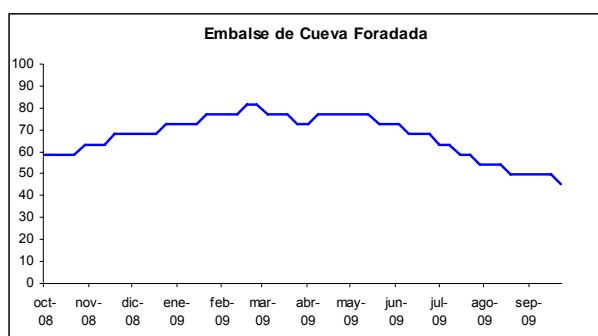
Superficie de la cuenca	600 km <sup>2</sup>
Capacidad total N.M.N.	22,08 hm <sup>3</sup>
Capacidad útil	22,08 hm <sup>3</sup>
Aportación media anual	31 hm <sup>3</sup>
Superficie inundada	229 ha
Cota máximo embalse normal	579,93 m

Se trata de un embalse monomítico. En el momento del muestreo la termoclina se sitúa entre los 5 y 7 metros de profundidad. El límite inferior de la capa fótica en verano se encuentra alrededor de los 14,50 metros de profundidad.

El tiempo de residencia hidráulica media en el embalse de Cueva Foradada para el año hidrológico 2008-2009 fue de 12,1 meses.

En el **GRÁFICO 1** se presentan los valores semanales del porcentaje de volumen embalsado correspondientes al año hidrológico 2008-2009, así como los incrementos semanales en Hm<sup>3</sup>.

**GRÁFICO 1**  
 VOLUMEN EMBALSADO (%) E INCREMENTOS SEMANALES (Hm<sup>3</sup>) DURANTE EL AÑO  
 HIDROLÓGICO 2008-2009



### **2.3. Usos del agua**

Las aguas del embalse se destinan principalmente al abastecimiento a la población y los regadíos. También se destinan para actividades recreativas, como es la navegación (a remo con condiciones poco favorables, y no apto para vela y motor).

### **2.4. Registro de zonas protegidas**

El embalse de Cueva Foradada forma parte del Registro de Zonas Protegidas elaborado por la Confederación Hidrográfica del Ebro, en contestación al artículo 6 de la Directiva Marco del Agua, dentro de las categorías de zona de extracción de agua para consumo humano y zonas de protección de hábitats o especies (Punto Red Natura 2000: LIC ES2420113 “Parque Cultural del Río Martín” y ZEPA ES0000303 “Desfiladeros del río Martín”).

### 3. TRABAJOS REALIZADOS

Para acometer la caracterización del embalse se ha ubicado una estación de muestreo en las inmediaciones de la presa (ver **Figura 1**). Se ha completado una campaña de muestreo el 4 de Junio de 2009, en la que se midieron *in situ* los parámetros físico-químicos y el Disco de Secchi en la columna de agua, se tomó una muestra de agua integrada para los análisis químicos y se realizaron muestreos de fito y zooplancton.



**Figura 1.** Localización de la estación de muestreo en el embalse.

## 4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

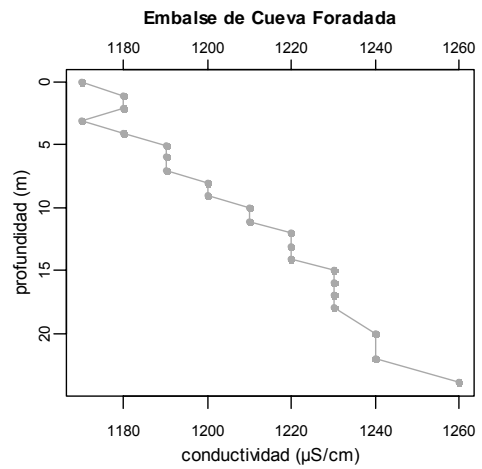
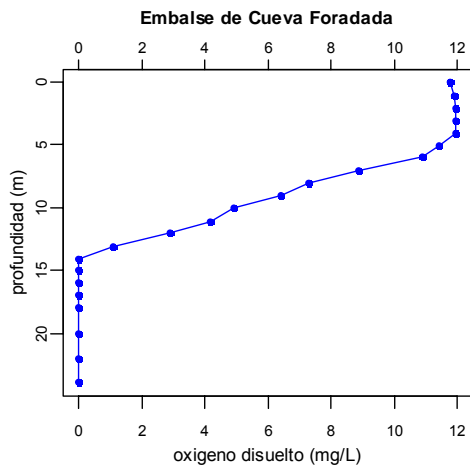
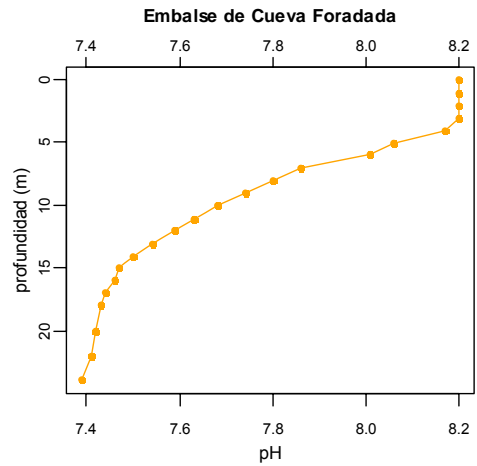
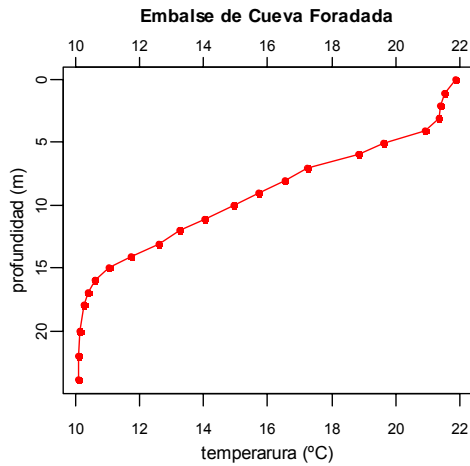
### 4.1. Características físico-químicas de las aguas

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes apreciaciones:

- La temperatura del agua oscila entre los  $- 10,09$  °C en el fondo- y los  $21,89$  °C - máximo registrado en superficie-. En el momento del muestreo (Junio 2009) la termoclina se sitúa entre los 5 y 7m.
- El pH del agua en superficie es de 8,2. En el fondo el pH es de 7,39.
- La transparencia del agua registrada en la lectura de disco de Secchi es de 5,80 m, lo que supone una profundidad de la capa fótica en torno a 14,50 metros.
- Las condiciones de oxigenación de la columna de agua en el epilimnion alcanzan en el muestreo una concentración media de 11,89 mg/L. La concentración media alcanzada en el hipolimnion son de 1,91 mg/L. Se han detectado condiciones anóxicas ( $<2$  mg  $O_2/L$ ) a profundidades superiores a 13 m.
- La conductividad del agua es de 1170  $\mu S/cm$  en la superficie y de 1260  $\mu S/cm$  en el fondo, coincidente con el máximo registrado.



**GRÁFICO 2**  
PERFILES FÍSICO-QUÍMICOS DEL EMBALSE DE CUEVA FORADADA



## 4.2. Hidroquímica del embalse

De los resultados analíticos obtenidos en la campaña de 2009 en la muestra integrada, se desprenden las siguientes apreciaciones:

- La concentración de fósforo total (PT) en la muestra integrada (zona fótica) fue de 16,06 µg P/L.
- La concentración de P soluble fue de 2,22 µg P/L.
- La concentración de nitrógeno total (NT) fue de 1,03 mg N /L.
- La concentración de nitrógeno inorgánico oxidado (nitrato + nitrito, NIO) tomó un valor de 0,73 mg N /L.
- La concentración de amonio (NH<sub>4</sub>) resultó inferior al límite de detección (0,1 mg N/L).
- La concentración de sílice tomó un valor de 0,97 mg SiO<sub>2</sub>/L.
- La alcalinidad en este embalse (zona fótica) fue de 5,1 meq/L.

### 4.3. Fitoplancton y concentración de clorofila

En el análisis de fitoplancton realizado se han identificado un total de 8 especies, distribuidas en los siguientes grupos taxonómicos:

- 4 Bacillariophyceae
- 2 Chlorophyta
- 1 Chryptophyta
- 1 Euglenophyta

La composición y estructura de la comunidad, en el periodo estival de 2009, está caracterizada por la alta densidad de clorófitas (72%). Entre las especies más abundantes, encontramos la clorofita *Pedinomonas* sp (46,9% de la densidad total). En cuanto al porcentaje de biovolumen total, destacan las bacilariofíceas, con un 68%. La bacilariofícea *Nitzschia vermicularis* (Kütz.) Grunow, proporciona gran parte del biovolumen total (54,4%).

En cuanto a diversidad de especies, el grupo de las bacilariofíceas es el mejor representado, con 4 especies.

La concentración de clorofila fue de 2,09 µg/L.

#### 4.4. Zooplancton

En el análisis de zooplancton de la muestra del embalse de Cueva Foradada se han identificado un total de 9 especies, distribuidas en los siguientes grupos taxonómicos:

- 3 Rotifera
- 3 Copepoda
- 3 Cladocera

La estructura y composición de la comunidad de zooplancton se resume en el siguiente cuadro (**Cuadro 2**)

**CUADRO 2**  
 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE ZOOPLANCTON

EMBALSE DE CUEVA FORADADA		FECHA DE MUESTREO	04/06/2009
		<b>CODIGO PUNTO DE MUESTREO</b>	
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUE</b>	
<b>PROFUNDIDAD</b>	m	10	
<b>DENSIDAD TOTAL</b>	individuos/L	183	
<b>BIOMASA TOTAL</b>	µg/L	374	
<b>CLASE PREDOMINANTE (% DENSIDAD)</b>		COPÉPODA (85%)	
individuos/L		155	
<b>ESPECIE PREDOMINANTE (% DENSIDAD)</b>		<i>Neolovenula alluaudi</i> (80%)	
individuos/L		147	
<b>CLASE PREDOMINANTE (% BIOMASA)</b>		COPÉPODA (78%)	
µg/L		292	
<b>ESPECIE PREDOMINANTE (% BIOMASA)</b>		<i>Neolovenula alluaudi</i> (77%)	
µg/L		289	

La composición y estructura de la comunidad, en el periodo estival de 2009, está caracterizada por la alta densidad del copépodo *Neolovenula alluaudi* con un 85 % de la densidad total y un 77 % de la biomasa total.

## 5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO

Se han considerado los indicadores especificados en el **Cuadro 3** para los valores medios en el embalse, estableciéndose el estado trófico global del embalse según la metodología descrita en la sección 5 de la MEMORIA DEL ESTUDIO (pág. 120).

**CUADRO 3**  
 PARÁMETROS INDICADORES Y RANGOS DE ESTADO TRÓFICO

Parámetros   Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración P ( $\mu\text{g P /L}$ )	0-4	4-10	10-35	35-100	>100
Disco de Secchi (m)	>6	6-3	3-1,5	1,5-0,7	<0,7
Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ) epilimnion	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Densidad algal (cel/ml)	<100	100-1000	1000-10000	10000-100000	>100000

En el **Cuadro 4** se incluye el estado trófico indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según la valoración de este estado trófico final.

**CUADRO 4**  
 DIAGNOSTICO DEL ESTADO TROFICO DEL EMBALSE DE CUEVA FORADADA

INDICADOR	VALOR	ESTADO TRÓFICO
P TOTAL	16,06	Mesotrófico
CLOROFILA A	2,09	Oligotrófico
DISCO SECCHI	5,80	Oligotrófico
DENSIDAD ALGAL	89	Ultraoligotrófico
<b>ESTADO TROFICO FINAL</b>	4	<b>OLIGOTRÓFICO</b>

Atendiendo a los criterios seleccionados, el fósforo total (PT) indica un estado de mesotrofia. La concentración de clorofila a, y la transparencia (DS) caracterizan el embalse como oligotrófico. Mientras que, los resultados obtenidos según la densidad algal clasifican al embalse como ultraoligotrófico. El estado trófico final para el embalse de CUEVA FORADADA se ha propuesto como **OLIGOTRÓFICO**.

## 6. DIAGNOSTICO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO

### a) Aproximación experimental (*PE<sub>exp</sub>*)

Se han considerado los indicadores especificados en el **Cuadro 5**, estableciéndose el potencial ecológico del embalse según la metodología descrita en la sección 6.3, apartado a) de la MEMORIA DEL ESTUDIO (pág. 157).

**CUADRO 5**

PARÁMETROS Y RANGOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO

Indicador	Elementos	Parámetros	Óptimo	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Biológico	Fitoplancton	Densidad algal (cel/ml)	<100	100-10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup>
		Biomasa algal, Clorofila a (µg/L)	0-1	1-2,5	2,5-8	8,0-25	>25
		Biovolumen algal (mm <sup>3</sup> /L)	<0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
		<i>Phytoplankton Assemblage Index (Q)</i>	>4	3-4	2-3	1-2	<1
		<i>Trophic Index (TI)</i>	<2,06	2,06-2,79	2,79-3,52	3,52-4,25	>4,25
		<i>Phytoplankton Trophic Index (PTI)</i>	>4,2	3,4-4,2	2,6-3,4	1,8-2,6	<1,8
	<i>Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI)</i>	<3,8	3,8-6,6	6,6-9,4	9,4-12,2	>12,2	
Zooplancton	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>	<3,8	3,8-6,6	6,6-9,4	9,4-12,2	>12,2	
<b>INDICADOR BIOLÓGICO (1)</b>			4, 2 -5	3, 4 -4, 2	2,6-3,4	1, 8 -2, 6	1-1, 8
Fisicoquímico	Transparencia	Profundidad Disco de Secchi (m)	>6	3-6	1, 5 -3	0, 7 -1,5	<0, 7
	Oxigenación	Concentración O <sub>2</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	>8	8-6	6-4	4-2	<2
	Nutrientes	Concentración de PT (µg P /L)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO (2)</b>			>4,2	3,4-4,2	<3,4		

(1) La valoración del indicador biológico se obtiene asignando la calificación del elemento fitoplancton y zooplancton.

(2) La valoración del indicador fisicoquímico se obtiene realizando la media de las puntuaciones obtenidas para los distintos elementos. Si la media de los 3 elementos es

igual o superior a 4,2 se considera que se cumplen las condiciones fisicoquímicas propias del máximo potencial ecológico (MPE). Si se alcanzan o superan los 3,4 puntos, se considera que las condiciones fisicoquímicas aseguran el funcionamiento del ecosistema (AS.FUN). Si no se alcanzan los 3,4 puntos, el estado fisicoquímico no asegura el funcionamiento del ecosistema (NO AS.FUN).

En el **Cuadro 6** se incluye el potencial indicado por cada uno de los parámetros e indicadores, así como la catalogación de la masa de agua según el potencial ecológico final.

### CUADRO 6

#### DIAGNOSTICO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO DEL EMBALSE DE CUEVA FORADADA.

Indicador	Elementos	Parámetros	Valor	Potencial
Biológico	Fitoplancton	Densidad algal(cel/ml)	89	Óptimo
		Clorofila a (µg/L)	2,09	Bueno
		Biovolumen algal(mm <sup>3</sup> /L)	0,03	Óptimo
		<i>Phytoplankton Assemblage Index (Q)</i>	2,59	Moderado
		<i>Phytoplankton Trophic Index (PTI)</i>	4,00	Bueno
		<i>Trophic Index (TI)</i>	3,03	Moderado
		<i>Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI)</i>	5,5	Bueno
	Zooplancton	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>	10,0	Deficiente
<b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>			2,0	<b>DEFICIENTE</b>
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi(m)	5,80	Bueno
	Oxigenación	O <sub>2</sub> hipolimnética (mg/LO <sub>2</sub> )	1,91	Malo
	Nutrientes	Concentración de P(µg/LP)	16,1	Moderado
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b>			2,7	<b>NO AS FUN</b>
<b>POTENCIAL ECOLÓGICO</b>				<b>DEFICIENTE</b>

**b) Aproximación normativa (PEnorm)**

Se han considerando los indicadores, los valores de referencia y los límites de clase bueno-moderado (B/M), así como sus ratios de calidad ecológica (RCE), especificados en el **Cuadro 7**, estableciéndose el potencial ecológico del embalse según la metodología descrita en la sección 6.3, apartado b) de la MEMORIA DEL ESTUDIO (pág. 163).

**CUADRO 7**

VALORES DE REFERENCIA PROPIOS DEL TIPO ( $VR_t$ ) Y LÍMITES DE CAMBIO DE CLASE DE POTENCIAL ECOLÓGICO (B/M, BUENO-MODERADO) DE LOS INDICADORES DE LOS ELEMENTOS DE CALIDAD DE EMBALSES (*ORDEN ARM 2656*).

Tipo	Elemento	Parámetro	Indicador	$VR_t$	B/M	B/M (RCE)
Tipo 1	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a $mg/m^3$	2	9,5	0,21
			Biovolumen $mm^3/L$	0,36	1,9	0,19
		Composición	Índice de Catalan (IGA)	0,1	10,6	0,97
			Porcentaje de cianobacterias	0	9,2	0,91
Tipo 7	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a $mg/m^3$	2,6	6	0,43
			Biovolumen $mm^3/L$	0,76	2,1	0,36
		Composición	Índice de Catalan (IGA)	0,61	7,7	0,98
			Porcentaje de cianobacterias	0	28,5	0,72
Tipo 9	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a $mg/m^3$	2,6	6	0,43
			Biovolumen $mm^3/L$	0,76	2,1	0,36
		Composición	Índice de Catalan (IGA)	0,61	7,7	0,98
			Porcentaje de cianobacterias	0	28,5	0,72
Tipo 10	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a $mg/m^3$	2,6	6	0,43
			Biovolumen $mm^3/L$	0,76	2,1	0,36
		Composición	Índice de Catalan (IGA)	0,61	7,7	0,98
			Porcentaje de cianobacterias	0	28,5	0,72
Tipo 11	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a $mg/m^3$	2,6	6	0,43
			Biovolumen $mm^3/L$	0,76	2,1	0,36
		Composición	Índice de Catalan (IGA)	0,61	7,7	0,98
			Porcentaje de cianobacterias	0	28,5	0,72



En el **Cuadro 8** se incluye el potencial indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según el potencial ecológico final (*PE<sub>norm</sub>*) tras pasar el filtro del estado fisicoquímico.

**CUADRO 8**  
 DIAGNOSTICO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO (*PE<sub>norm</sub>*) DEL EMBALSE DE CUEVA FORADADA.

Indicador	Elementos	Parámetros	Valor RCE	<i>PE<sub>norm</sub></i>
Biológico	Fitoplancton	Clorofila a (µg/L)	2,09	Óptimo
		Biovolumen algal (mm <sup>3</sup> /L)	0,03	Óptimo
		Índice de Catalán (IGA)	0,01	Óptimo
		Porcentaje de cianobacterias	0,00	Óptimo
<b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>			3,0	<b>ÓPTIMO</b>
Fisicoquímico	Transparencia	Disco de Secchi(m)	5,80	Bueno
	Oxigenación	O <sub>2</sub> hipolimnética (mg O <sub>2</sub> /L)	1,91	Malo
	Nutrientes	Concentración de P(µg P/L)	16,1	Moderado
<b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b>			2,7	<b>NO AS FUN</b>
<b>POTENCIAL ECOLÓGICO <i>PE<sub>norm</sub></i></b>			<b>MODERADO</b>	

---

**ANEXO I**  
**REPORTAJE FOTOGRÁFICO**

---



**Foto 1:** Vista general del embalse



**Foto 2:** Toma de muestras fitoplancton



**Foto 3:** Panorámica del embalse



**Foto 4:** Presa del embalse de Cueva Foradada