

Extinción de la luz en los embalses españoles. Relaciones con la concentración de clorofila y las partículas en suspensión.

VALENTÍ RULL,¹ TERESA VEGAS¹ y JOSÉ NAVARRO

Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Diagonal, 645. Barcelona-28.

¹Dirección actual: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Centro de Ecología. Apartado 1827. Caracas (Venezuela).

INTRODUCCIÓN

En limnología y oceanografía se suele emplear la profundidad de visión del disco de Secchi para estimar la transparencia e, indirectamente, la concentración de clorofila en el agua. Así por ejemplo SHAPIRO (1975) propuso, para lagos, la expresión:

$$D_s \cdot Cl^{0,68} = 7,7$$

Posteriormente, CARLSON (1980), a la busca de un índice del estado trófico en lagos, utilizó una expresión similar a aquella

$$D_s \cdot Cl^{0,68} = 2,04$$

Estas suposiciones, referentes a la relación entre D_s y clorofila han sido criticadas por otros autores (LORENZEN, 1980; EDMONSON, 1980), los cuales destacan la importancia en la extinción de la luz de otros materiales disueltos o en suspensión, además de las algas. Por ejemplo, LORENZEN (1980) propone

$$I_z/I_0 = e^{-(x+yC)z}$$

expresión en la que I = intensidad de la luz, x = extinción total de lo que no es clorofila, y = extinción por unidad de clorofila, C = concentración de clorofila, y z = profundidad.

En definitiva, la extinción de la luz es debida a causas distintas e independientes, de manera que el coeficiente de extinción global (K_t) se puede descomponer de la siguiente forma:

$$K_t = K_{\text{agua}} + K_{\text{clorofila}} + K_{\text{partículas}}$$

En el presente trabajo se propone un estudio directo de la extinción de distintas longitudes de onda, medida por separado. Esta forma de enfocar el problema resulta muy útil, puesto que, con medidas de una sola naturaleza, fáciles de obtener, se puede reunir información cualitativa y cuantitativa de todos los factores que atenúan la luz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo es un estudio sobre los datos de iluminación, tomados en los embalses españoles durante las campa-

ñas efectuadas en los años 1973, 1974 y 1975. La publicación que recoge los resultados obtenidos en estas campañas (MARGALEF *et al.*, 1976) anticipa un posterior estudio de los datos de luz, que no se había hecho hasta ahora. En las mediciones de intensidad luminosa, se utilizó una fotorresistencia MINIWATT RPY 20, empleando tres filtros distintos CHANCE: OB10, azul; OG1, verde y OR2, rojo; cuyas características, en tanto por ciento de luz transmitida para las distintas longitudes de onda, se reflejan en la figura 1.

Las medidas de intensidad luminosa se realizaron en superficie y a cada metro de profundidad hasta la extinción casi total, para cada filtro y para cada embalse. Las curvas así obtenidas eran de trazado aproximadamente exponencial y rectificadas mediante transformación logarítmica. Las pendientes corresponden a los coeficientes de extinción de cada sector del espectro luminoso según el filtro empleado (ver fig. 2).

Los datos con que trabajamos se muestran en el apéndice. Las variables indicadas corresponden a: D_s = profundidad de visión del disco de Secchi; K_t = coeficiente de extinción de la luz total; K_v = coeficiente de extinción usando el filtro verde; K_r = coeficiente de extinción usando el filtro rojo; K_a = coeficiente de extinción usando el filtro azul; Cl = concentración media de clorofila en mg/m calculada después de integrar los valores obtenidos entre la superficie y la profundidad de visión del disco de Secchi.

Las mediciones indicadas se efectuaron en 63 embalses. Algunos de ellos poseen dos series de datos, que corresponden a otros tantos períodos estacionales distintos, lo que constituye un total de un centenar de observaciones.

Dado que no todos los embalses presentan una serie completa de datos, para los estudios relacionados con los coeficientes de extinción se ha prescindido de los embalses n.º 35 y el n.º 41. Al trabajar con los datos de clorofila, se han suprimido el n.º 13 y el n.º 62. Estos números se refieren al código utilizado en la monografía a que se ha hecho referen-

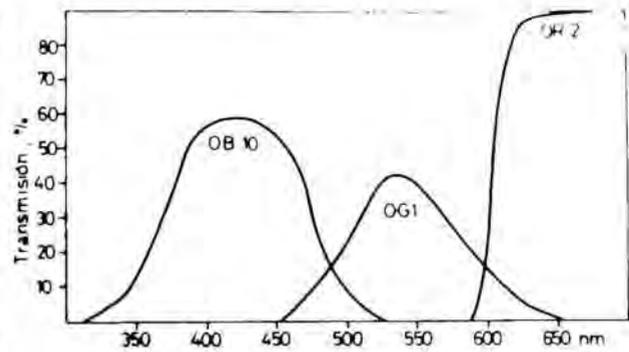


Fig. 1. Porcentaje de luz transmitida por los filtros empleados según distintas longitudes de onda. (De MARGALEF *et al.*, 1976.) - Percentage of light transmitted by the adopted filters for different wave-lengths.

cia (MARGALEF *et al.*, 1976), adoptado también en el apéndice.

RESULTADOS

DISCO DE SECCHI Y COEFICIENTES DE EXTINCIÓN

Se acepta que la relación entre la profundidad de visión del disco de Secchi (D_s) y el coeficiente de extinción total (K_t) es sencilla, de la forma:

$$D_s = N/K_t \quad (1)$$

$$1/D_s = K_t(1/N) \quad (2)$$

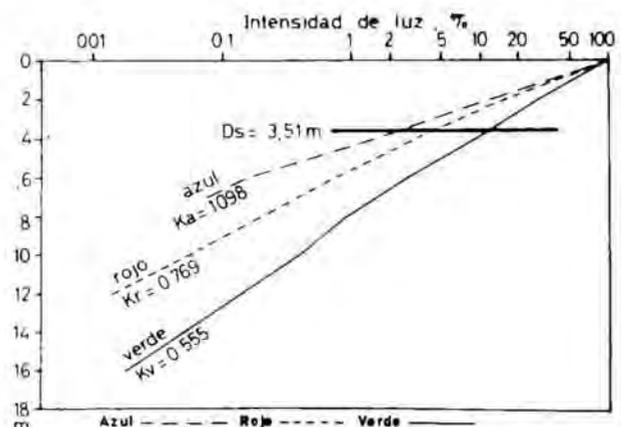


Fig. 2. Embalse de San Juan. Fecha de muestreo: 23-5-1974. - Reservoir of San Juan. Date of sampling: 23-5-1974.

El valor de la «constante» (N) se deduce empíricamente, y sus valores oscilan entre 0,6 y 2,3 en los estudios efectuados hasta el momento. Utilizando la ecuación (1) en cada embalse obtenemos 98 valores de N, cuya media es de 1.7455, siendo la variancia 0,4476. Utilizando la ecuación (2), la regresión entre las variables $1/D_s$ y K_t es:

$$1/D_s = 0,647 \cdot K_t + 0,014 \quad (3)$$

$$(r = 0,872)$$

De aquí podemos deducir N suponiendo que la correlación fuese 1 y olvidando el término independiente:

$$N = 1/0,647 = 1,5456$$

Por otra parte, al sustituir en (1), D_s y K_t por sus valores medios, obtenemos el valor de $N = 2,281$, siendo $\text{var.}(D_s) = 1,851$ y $\text{var.}(K_t) = 0,185$.

Nuestro propósito es estudiar y utilizar los coeficientes de extinción parciales, correspondientes a cada filtro, y a tal fin en la ecuación (2) sustituimos el segundo miembro por una expresión en la que figuren K_v , K_r y K_a . $1/D_s$ es la variable dependiente y hemos ajustado los coeficientes de las variables independientes, obteniendo la siguiente regresión múltiple:

$$1/D_s = 0,4749 \cdot K_v + 0,2426 \cdot K_r - 0,0416 \cdot K_a - 0,0859 \quad (4)$$

$$r = 0,919$$

En la tabla I se presentan y comparan varias ecuaciones que relacionan $1/D_s$ con los coeficientes de extinción totales y parciales para cada longitud de onda y combinaciones diferentes entre ellos.

Como se ve en la tabla, se obtiene mejor correlación cuando se trabaja con el filtro verde que con cualquier otro, e incluso sin filtro. La correlación mejora, pero no sustancialmente, al añadir el filtro rojo; si trabajamos con los tres coeficientes conjuntamente, el aumento del coeficiente de correlación es insignificante:

TABLE I. Ecuaciones que relacionan el inverso de la profundidad de visión del disco de Secchi con los coeficientes de extinción que se obtienen con distintos filtros (k_v , k_r , k_a) o sin ellos (k_t). - *to the extinction coefficients that are obtained Equations relating the inverse of the Secchi-disk with (k_v , k_r , k_a) or without (k_t) different filters.*

$1/D_s = 0,647 \cdot K_t + 0,014$	$r=0,872$	(3)
$1/D_s = 0,613 \cdot K_v + 0,003$	$r=0,906$	(5)
$1/D_s = 0,499 \cdot K_r + 0,037$	$r=0,880$	(6)
$1/D_s = 0,132 \cdot K_a + 0,274$	$r=0,785$	(7)
$1/D_s = 0,404 \cdot K_v + 0,257 \cdot K_r - 0,095$	$r=0,918$	(8)
$1/D_s = 0,475 \cdot K_v + 0,246 \cdot K_r - 0,048 \cdot K_a + 0,079$	$r=0,919$	(4)

Ya que es más común la obtención de datos de extinción total de la luz (K_t), tiene interés conocer la relación que existe entre ésta y las tres extinciones, tanto conjunta como separadamente (tabla II).

En las ecuaciones (9), (10) y (11) de la tabla II se toman como variables dependientes las extinciones parciales a fin de poder calcularlas a partir de la extinción total. Las estimaciones que se obtienen son aceptables, a juzgar por las correlaciones, que son bastante buenas.

En la ecuación (12) se expresa la relación existente entre K_t y K_v , K_r y K_a conjuntamente. El coeficiente de correlación correspondiente es el más alto de todos los expuestos.

Se puede así deducir un modelo que describa el orden de extinción parcial (K_i) para cada valor de K_t , si se representan conjuntamente las ecuaciones (9), (10) y (11) (fig. 3).

TABLE II. Relación entre las extinciones medidas con distintos filtros. - *Relationship between extinction coefficients measured with different filters.*

$K_v = 0,976 \cdot K_t + 0,033$	$r=0,946$	(9)
$K_r = 0,871 \cdot K_t + 0,334$	$r=0,874$	(10)
$K_a = 1,576 \cdot K_t + 0,084$	$r=0,857$	(11)
$K_t = 0,725 \cdot K_v + 0,140 \cdot K_r + 0,017 \cdot K_a + 0,024$	$r=0,948$	(12)

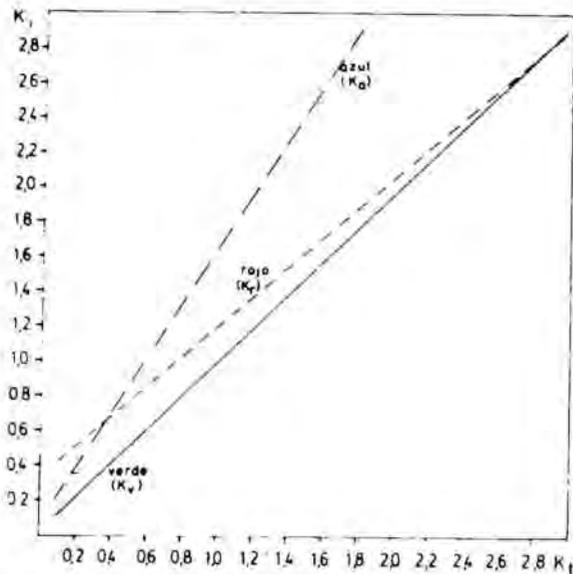


Fig. 3. Representación gráfica de las ecuaciones 9, 10 y 11 conjuntamente.

A partir de esta representación, se pueden establecer cinco grupos de embalses, basándonos en los intervalos de K_t para los cuales las extinciones parciales medidas con los distintos filtros siguen distinta ordenación (tabla III). En esta tabla se incluyen valores de D_s estimados a partir de las ecuaciones (5) y (6).

Al orden de extinción parcial a que hace referencia el grupo I° pertenecen el 10 % de los embalses muestreados; el valor de K_t (así como la estimación de D_s) previsto por el modelo en este caso, debe tomarse como una extrapola-

TABLA III. Extinción total, profundidad de visión del disco de Secchi y relación cuantitativa entre las extinciones obtenidas con distintos filtros, para cinco grupos de embalses. - *Extinction coefficients of total visible light. Secchi-disk depth and the quantitative relationship among the extinction coefficients obtained with different filters for 5 groups of reservoirs.*

Grupo	K_t (m^{-1})	D_s (m)	K_a, K_r, K_v (m^{-1})
I°	$\sim 2,25$	$\sim 1,58$	$K_a > K_r = K_v$
II°	$> 0,35$	$< 3,5$	$K_a > K_r > K_v$
III°	$\sim 0,35$	$\sim 3,5$	$K_a = K_r > K_v$
IV°	$< 0,35$	$> 3,5$	$K_r > K_a > K_v$
V°	$\ll 0,35$	~ 5	$K_r > K_a = K_v$

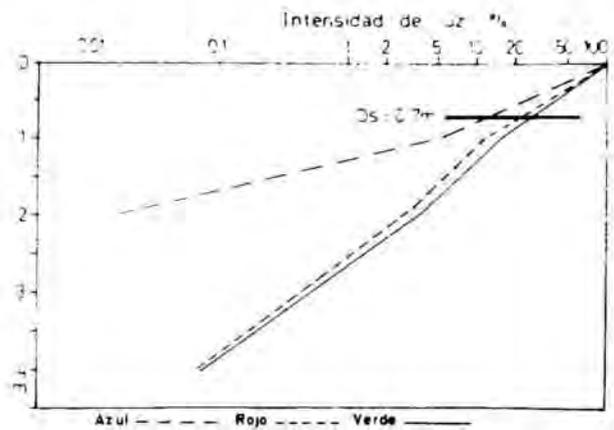


Fig. 4. Embalse de Flix. Fecha de muestreo: 21-2-1975. - *Reservoir of Flix. Date of sampling: 21-2-1975.*

ción. De hecho, el valor de K_t para el que se produce en la realidad la ordenación de extinciones parciales prevista ($K_a > K_r = K_v$), es inferior al previsto y cercano a $1,5 m^{-1}$ como se puede comprobar en la figura 4, que corresponde el embalse de Flix. En este caso el valor de D_s es aproximadamente de 1 m.

El orden de extinciones referido en el grupo II.° ($K_a > K_r > K_v$, agrupa a un 50 % de los embalses muestreados (figura 5); mientras que un 7 % se incluyen en el grupo III.° y un 25 % en el IV.° (fig. 6) (véase el orden de extinción parcial para cada longitud de onda en la tabla III).

El grupo III se define por $K_a = K_r > K_v$ y se ha de limitar al entorno del cruce de las funciones K_a y K_r (fig. 3)

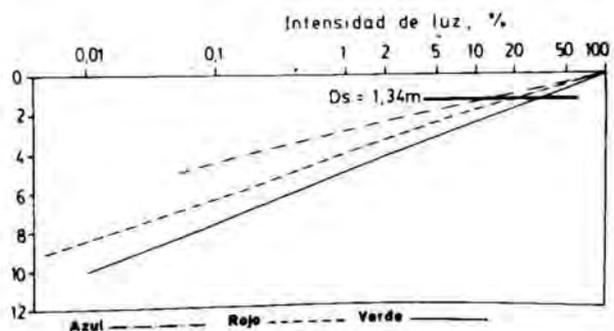


Fig. 5. Embalse de Guajaraz. Fecha de muestreo: 7-3-1974. - *Reservoir of Guajaraz. Date of sampling: 7-3-1974.*

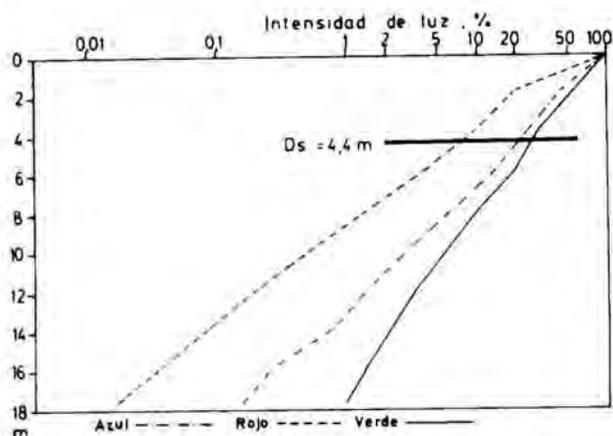


Fig. 6. Embalse de Tranquera. Fecha de muestreo: 28-4-1974. - *Reservoir of Tranquera. Date of sampling: 7-3-1974.*

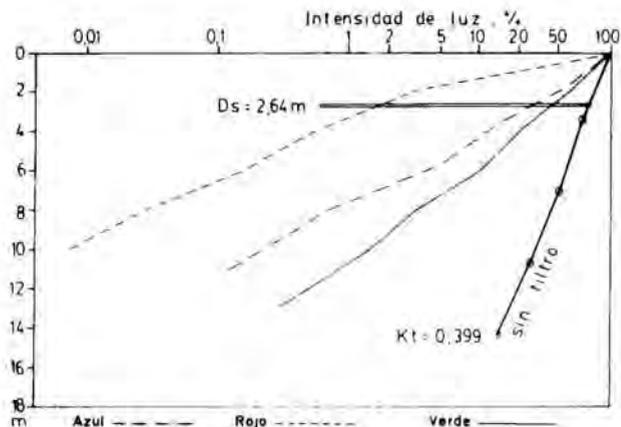


Fig. 8. Embalse de Yesa. Fecha de muestreo: 2-5-1974. - *Reservoir of Yesa. Date of sampling: 2-5-1974.*

en la zona de más transparencia, donde la relación entre D_s y K_t puede ser variable (figs. 7 y 8).

Por último, el orden de extinción del grupo IV ($K_t > K_a > K_v$) sólo se ha observado en el 4 % de los embalses, de agua transparente ($D_s > 5 \text{ m}$), y los valores previstos para K_t caen fuera del modelo como en el grupo 1.º (fig. 9).

mo la de SHAPIRO y col. (1975):

$$D_s \cdot Cl^{0,68} = 7,7 \quad (13)$$

En este caso, utilizando la misma regresión para los valores de los embalses estudiados, se obtiene:

$$D_s \cdot Cl^{0,17} = 3,5 \quad (14)$$

DISCO DE SECCHI Y CLOROFILA

Habitualmente se intenta aproximar la relación existente entre profundidad de visión del disco de Secchi (D_s) y contenido de clorofila (Cl) con expresiones co-

El grado de correlación es en nuestro caso, bastante bajo, ya que la dispersión de los valores reales alrededor de la curva teórica es importante (fig. 10).

En vista de estos resultados, no tiene mucho sentido hablar de una relación

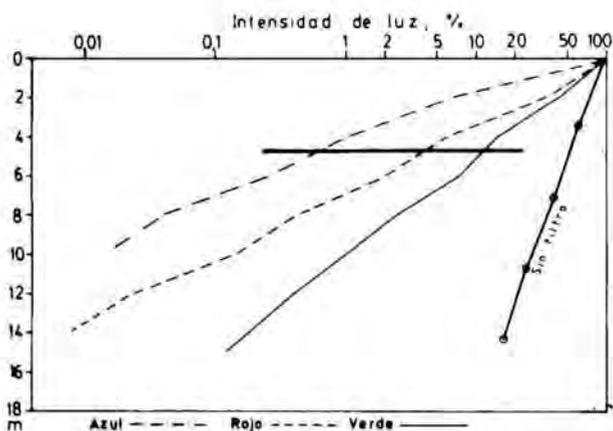


Fig. 7. Embalse de Cernadilla. Fecha de muestreo: 15-5-1974. - *Reservoir of Cernadilla. Date of sampling: 17-5-1974.*

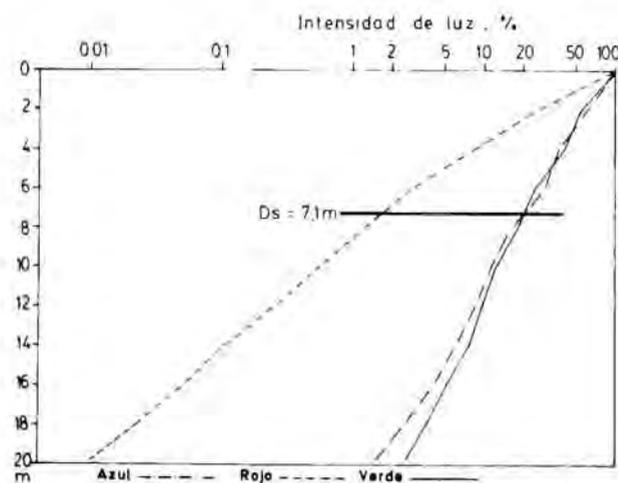


Fig. 9. Embalse de Santa Ana. Fecha de muestreo: 3-4-1974. - *Reservoir of Santa Ana. Date of sampling: 3-4-1974.*

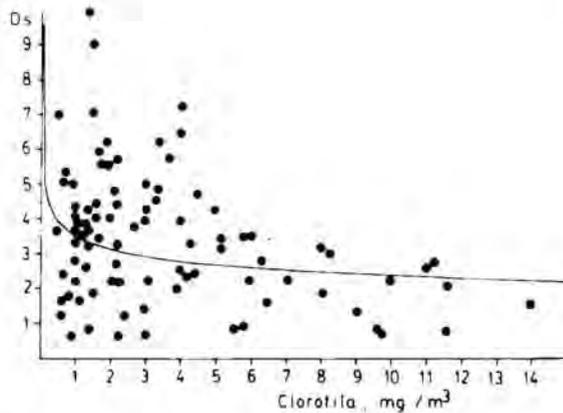


Fig. 10. Relación entre la profundidad de visión del disco de Secchi y la concentración de clorofila, calculada hasta dicha profundidad. - *Secchi-disk depth related to the average chlorophyll concentration, computed from surface down to the same depth.*

constante entre D_s y Cl para todos los embalses y por ello, pareció conveniente buscar grupos que presentaran relaciones particulares.

Puesto que una de las conclusiones del estudio de los embalses españoles fue la tipificación de los embalses en dos grupos, unos de aguas más calizas y por tanto de mayor mineralización y otro de

aguas menos mineralizadas, éstos fueron los grupos elegidos en principio. Ello coincide con el sustrato geológico sobre el que se asientan y constituye la base de una tipología regional (ESTRADA, (1975). Utilizando la ecuación (14) se obtiene una recta de regresión por transformación logarítmica y junto a ella se incluyen los embalses, caracterizados según la división anterior (fig. 11). Se observa que, a pesar de que para valores bajos de D_s y Cl simultáneamente sólo encontramos embalses de aguas más ricas en calcio, en el resto de los casos (que son la mayoría), se encuentran los dos tipos de embalses por un igual. Así pues, no hay separación clara de los dos grupos de embalses por sus coeficientes de extinción respecto de las variables que identifican una mayor o menor mineralización.

Otra separación posible haría referencia a la fecha en que fueron hechas las mediciones. Así, si tomamos separadamente los embalses muestreados en primavera, obtenemos la recta:

$$\ln D_s = -0,44 \ln Cl + 1,72 \quad (15)$$

$(r = -0,5)$

o bien:

$$D_s \cdot Cl^{0,44} = 5,58 \quad (16)$$

El resto de los embalses o sea los muestreados en otoño no se diferencian del modelo general expresado en la ecuación (14) (fig. 12).

Otros trabajos realizados con datos de los embalses obtenidos en verano muestran una relación entre D_s y Cl muy próxima a la de SHAPIRO (ecuación 13).

También podemos estudiar los valores promedio de clorofila y sus variancias para cada intervalo de D_s , lo cual nos puede dar idea de la relación entre estos dos parámetros. Los resultados se exponen en la tabla IV. En la figura 13 se representan estos valores medios de la clorofila y su error típico en función de los intervalos de D_s estudiados en la tabla IV.

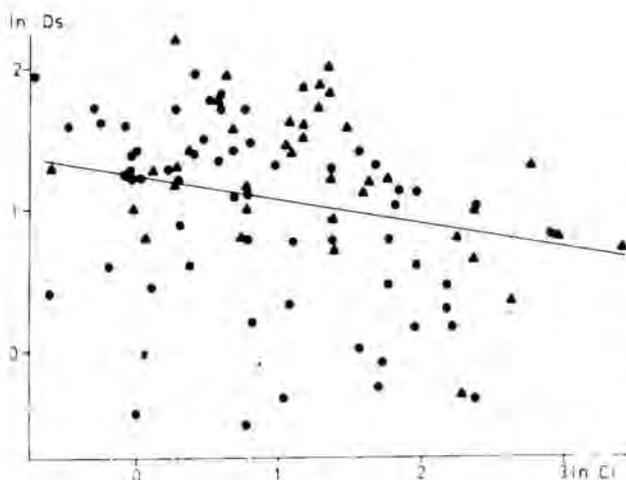


Fig. 11. Distribución de los embalses de la parte silíceica ▲ y de la parte cálcica ● de España, respecto a la recta de regresión resultante de tomar logaritmos en la ecuación (14). - *Relation between log. Secchi-disk depth and log. chlorophyll concentration for the reservoirs of the siliceous regions ▲ and the limestone ● regions of Spain.*

RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE CLOROFILA Y LA EXTINCION DE LA LUZ CON FILTRO ROJO (K_r)

Los resultados obtenidos al considerar por separado los embalses muestreados en primavera, sugirieron aplicar el mismo procedimiento al estudio de la relación entre la clorofila y la extinción parcial de la luz con filtro rojo (K_r).

Así, se obtuvieron para la totalidad de los embalses y para los embalses muestreados en primavera, respectivamente, las siguientes ecuaciones:

$$\ln K_r = 0,09 \ln Cl - 0,24 \quad r = 0,21$$

$$\ln K_r = 0,19 \ln Cl - 0,44 \quad r = 0,38$$

Como puede verse, la correlación es muy pequeña en ambos casos, presentando el grupo de primavera una correlación ligeramente mayor a la total que no es, sin embargo, suficientemente significativa.

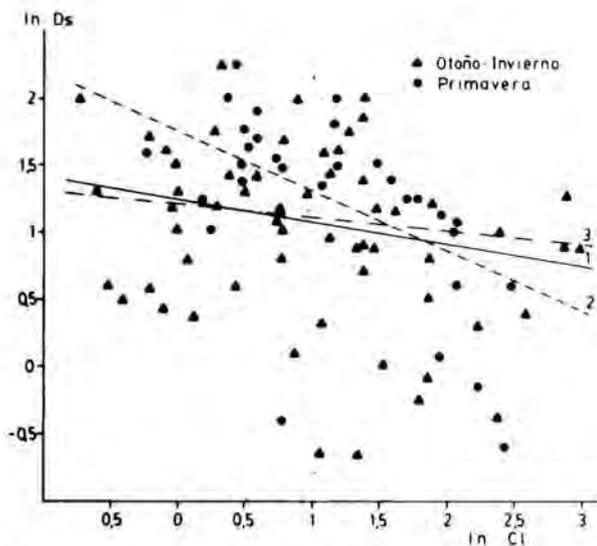


Fig. 12. Distribución de los embalses según la época de muestreo. La recta 1 se refiere a todos los datos en conjunto. La recta 2 está construida tomando sólo los embalses muestreados en primavera. La recta 3 se refiere a los embalses de otoño. - Relation between log. Secchi-disk depth and log. chlorophyll concentration. Line 1 refers the data altogether; line 2 refers only to the observations made in the spring; line 3 refers to the observations made in autumn.

TABLA IV. Medida y varianza de la concentración de clorofila para distintos grupos de embalses separados en función de la profundidad de visión del disco de Secchi. - Mean and variance of the chlorophyll concentration for different groups of reservoirs separated according to Secchi-disk depth.

D _s	Clorofila, mg/m ³		n°embalses
	media	variancia	
<1	5,52	15,92	9
1-2	4,97	20,64	13
2-3	7,24	46,39	20
3-4	3,69	13,31	26
4-5	2,68	1,63	13
5	3,39	1,24	17

CONCLUSIONES

Como se ha visto, hay una constante de proporcionalidad entre la extinción de la luz (K_i) y la profundidad de visión del Disco de Secchi (D_s). Según los autores se le atribuyen toda clase de valores entre 0,61 y 1,9 (OTTO, 1966), pero se considera más adecuado un valor próximo a 1,7 (PLANAS, 1973). Estudios fisiológicos de la visión humana apuntan hacia un valor próximo a 2. Por último, algunos limnólogos utilizan 2,3, y se supone que a la profundidad de visión del disco de Secchi llega el 10 % de la luz.

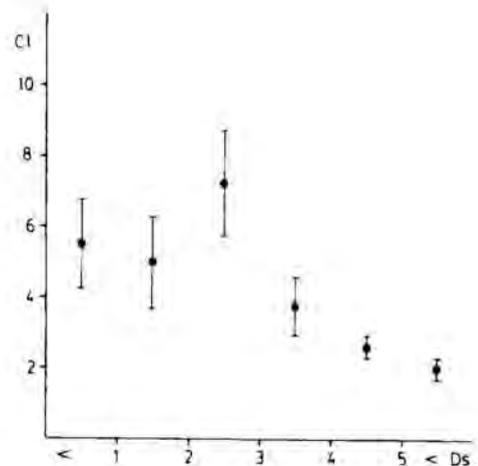


Fig. 13. Representación de los valores promedio y su error típico de clorofila, respecto a ciertos intervalos de D_s. - Chlorophyll in function of Secchi-disk depth; representation of average values and standard errors.

En el presente estudio, nos inclinamos por el valor 1,75, que es el promedio de los calculados en estos embalses, con un error típico de $\pm 0,07$.

El hecho de que la correlación más alta con $1/D_s$, se obtenga utilizando un filtro verde, indica que este tipo de luz es el que tiene mayor y más regular penetración en las aguas de los embalses. Igualmente significativo resulta el hecho de que no aumente la correlación entre $1/D_s$ y los coeficientes de extinción parciales al añadir la extinción de la luz un filtro azul (K_a). Esto es debido a la gran variancia de este último parámetro, así como al hecho de que es la luz que más menguada llega a la profundidad de visión del disco de Secchi.

El modelo representado en la figura 3 confirma lo dicho sobre la extinción de la luz con filtro verde (K_v), así como el hecho de que la luz azul podría llegar a ser la más penetrante en aguas muy transparentes (como ocurre en el mar).

Puesto que el 95 % de los embalses se sitúa entre unos valores de K_t que van de 0,14 a 1,5, sólo en este rango podemos hallar una buena correspondencia con la realidad. En el modelo propuesto (tabla III), se observan tres puntos en los que la relación entre las distintas extinciones varía. De los tres, solamente el que ocurre en el valor $K_t = 0,35$ es del todo fiable, por estar comprendido en el intervalo mencionado. Así pues, como norma general, el orden de extinción es: azul, rojo y verde; y en un porcentaje menor: rojo, azul y verde. Los embalses incluidos en el grupo V.^o son los que más se asemejan a las aguas oligotróficas; sin embargo, la luz azul nunca es la más penetrante.

Se ha observado que la correlación entre la profundidad de visión del disco de Secchi y la concentración de clorofila no es satisfactoria, pero es mejor en las muestras tomadas en primavera —con probable inicio de estratificación— que

en las de otoño e invierno, que son épocas de mezcla vertical. La buena correlación obtenida en verano, aplicando el modelo de Shapiro (Manuel Crespo, comunicación personal), permite entrever la mejora y la relación con la creciente estratificación. Si se tiene en cuenta el aporte de partículas en suspensión que recibe un embalse, es fácil suponer que el efecto de las partículas sobre la extinción de la luz en época de mezcla es mayor que el efecto de la clorofila, mientras que al disminuir la turbulencia y sedimentarse las partículas, la mayor parte de la luz es absorbida por el fitoplancton.

De la tabla IV se puede deducir que sólo a partir de valores de D_s superiores a 4 m podemos predecir valores de concentración de clorofila con cierta seguridad. Para valores inferiores de D_s es muy arriesgado, dada la elevada variancia que presenta los valores de clorofila, y que es consecuencia de la mayor proporción de partículas en los embalses menos transparentes.

Tampoco utilizando la longitud de onda más absorbida por la clorofila hallamos una clara diferenciación estacional, pero los resultados parecen seguir la tónica anterior. Es evidente, pues, que la competencia por la absorción de la luz entre partículas y clorofila se realiza también en este rango de longitudes de onda, que corresponde al rojo (WETZEL, 1975).

Esta técnica para medir la extinción de la luz puede ser una vía indirecta para llegar a conocer la calidad de las partículas en suspensión en el agua si se complementa con el estudio de las dimensiones de las partículas. Es decir, conociendo el efecto de las diferentes partículas sobre la luz, bastaría medir los coeficientes K_a , K_v y K_r para entender cómo y por qué causas disminuye la penetración luminosa en una masa de agua.

SUMMARY

LIGHT ATTENUATION IN SPANISH RESERVOIRS. RELATIONSHIP WITH CHLOROPHYLL AND SUSPENDED PARTICULATE MATERIAL. Secchi disc depths (D_s), and extinction coefficients of total visible light (K_t) and of light transmitted by three different kinds of filters (fig. 1; OB10, OG1, OR2), K_a , K_v , K_r , were obtained in 63 Spanish reservoirs. The best estimate of the constant relating D_s and K_t is given by $K_t = 1.75/D_s$. Light attenuation of green light (K_v) is low and regular, as expected. A multiple regression has been computed to relate Secchi

disc depth to the extinction coefficients for total light using the different filters (table I) Once again K_v has more weight and is the best predictor. A number of types of water are identified, according to the relative values of the different partial extinction coefficients.

The relation between Secchi disc depth and chlorophyll concentration is, in general, $D_s \cdot Cl^{0.17} = 3.5$ and, in spring, $D_s \cdot Cl^{0.44} = 1.72$. The prediction of chlorophyll concentration from Secchi disc readings is reliable only for $D_s > 4$ m.

BIBLIOGRAFÍA

- CARLSON, R. E., 1980. More complication in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnol. Oceanogr.*, 25 (2): 379-382.
- CUADRAS, C., RUIZ, C. & OCAÑA, J., 1979. *Apuntes de análisis de la varianza*. Dpto. Bioestadística, Univ. Barcelona. Vol. I.
- EDMONSON, W. T., 1980. Secchi disk and chlorophyll. *Limnol. Oceanogr.*, 25 (2): 378-379.
- ESTRADA, M., 1975. Statistical consideration of some limnological parameters in Spain reservoirs. *Verh. Internat Verein. Limnol.*, -9: 1849-1859.
- ESTRADA, M., FLOS, J., LAVALL, A., MIRACLE, M. R., PLANAS, M. D., RIERA, T., ROS, J. D., VALLESPINÓS, F., 1975. *Prácticas de ecología*. Dpto. Ecología, Univ. Barcelona.
- LORENZEN, M. W., 1980. Use of chlorophyll-Secchi disk relationships. *Limnol. Oceanogr.*, 25 (2): 371-372.
- MARGALEF, R., 1974. *Ecología*. Omega. Barcelona.
- MARGALEF, R., PLANAS, D., ARMENGOL, J., PRAT, N., VIDAL, A., TOJA, J., GUISET, A. & ESTRADA, M., 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Vol. I y II. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio Obras Públicas. Madrid. 421 pág. + tablas.
- MEGARD, R. O., SETTLES, J. C., BOYER, H. A., COMBS, W. S., 1980. Light, Secchi disks, and trophic states. *Limnol. Oceanogr.*, 25 (2): 373-377.
- PLANAS, M. D., 1973. Composición, ciclo y productividad del Lago de Banyoles. *Oecologia aquatica*, 1: 3-106.
- SHAPIRO, J., LUNDQUIST, J. B., CARLSON, R. E., 1975. Involving the public in Limnology. An approach to communication. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 19: 866-874.
- SOKAL, R. R., ROHLF, F. J., 1979. *Biometría*. Blume. Madrid.
- WETZEL, R. G., 1975. *Limnology*. W. B. Saunders Company. Philadelphia.

APÉNDICE: Valores de la profundidad de visión del disco de Secchi (D_s), de los coeficientes de extinción (K_t , K_v , K_r , K_a) y de la concentración de clorofila (Clorof.) en diferentes épocas en diferentes embalses españoles.

Nº embalse	Fecha	D_s	K_t	K_v	K_r	K_a	Clorof.
2 Yesa	2-5-74	2,640	0,399	0,431	1,130	0,568	1,309
2 Yesa	26-1-75	1,180	0,921	1,136	0,862	0,740	0,619
6 Ebro	4-5-74	4,170	0,511	0,578	0,740	0,877	4,990
8 Porma	30-1-75	3,280	0,566	0,492	1,010	1,282	1,030
9 Barrios de Luna	6-5-74	4,390	0,309	0,473	0,653	0,474	1,654
11 Doiras	7-5-74	6,200	0,263	0,304	0,581	0,427	3,427
11 Doiras	31-1-75	6,400	0,406	0,325	0,584	0,523	3,911
13 Forcadás	8-5-74	3,820	0,599	0,621	0,806	1,162	1,352
13 Forcadás	2-2-75	4,840	0,715	0,699	0,699	1,449	-
15 Fervenza	9-5-74	4,740	0,485	0,398	0,666	0,813	2,109
15 Fervenza	3-2-75	2,260	0,894	0,900	1,063	1,612	1,090
17 Velle	12-5-74	4,460	0,543	0,450	0,684	0,826	3,333
17 Velle	6-2-75	3,650	0,698	0,621	0,847	1,098	1,421
18 Belesar	5-2-75	3,820	0,746	0,648	0,813	1,408	1,153
19 Los Peares	6-2-75	9,700	0,448	0,326	0,561	0,666	1,402
20 Las Conchas	8-2-75	2,500	1,126	1,010	1,136	2,631	4,035
21 San Esteban	14-5-74	5,750	0,232	0,444	0,653	0,534	3,750
22 Chandreja	15-5-74	5,570	0,282	0,366	0,362	0,523	1,784
22 Chandreja	9-2-75	4,980	0,467	0,467	0,694	0,694	3,080
24 Cernadilla	17-5-74	4,740	0,331	0,444	0,671	1,063	4,542
24 Cernadilla	12-2-75	4,860	0,465	0,465	0,631	0,877	3,419
25 Sanabria	16-5-74	6,510	0,295	0,346	0,537	0,549	1,891
27 Ricobayo	19-5-74	5,520	0,344	0,344	0,645	0,561	0,923
27 Ricobayo	13-2-75	3,530	0,523	0,497	0,735	0,840	5,790
28 Almendra I	15-2-75	6,240	0,380	0,380	0,729	0,729	1,909
29 Aldeadavila	20-5-74	2,180	0,588	0,806	0,729	1,388	7,030
29 Aldeadavila	15-2-75	3,940	0,606	0,606	0,781	1,123	1,878
30 Saucelle	21-5-74	2,750	0,629	0,787	0,943	1,333	11,190
30 Saucelle	16-2-75	4,080	0,640	0,574	0,792	1,010	1,078
32 Cuerda del Pozo	27-5-74	1,920	1,109	1,204	1,333	2,325	11,600
32 Cuerda del Pozo	19-2-75	1,440	1,219	1,219	1,408	2,272	13,960
33 Tranquera	28-4-74	4,400	0,219	0,274	0,546	0,359	2,194
34 Mequinenza	20-2-75	2,820	0,826	0,826	0,833	1,923	6,323
34 Mequinenza	29-5-74	8,960	0,334	0,377	0,602	0,632	1,551
35 Flix	29-5-74	0,600	-	3,125	2,380	4,000	2,210
35 Flix	21-2-75	0,700	2,062	1,851	1,851	3,846	2,960
36 Buendía	26-5-74	5,080	0,141	0,204	0,561	0,204	0,765
37 Entrepeñas	25-5-74	3,420	0,251	0,305	1,694	0,389	1,255
37 Entrepeñas	9-11-74	3,340	0,237	0,284	0,609	0,337	0,961
39 El Atazar	10-11-74	7,260	0,361	0,318	0,680	0,523	3,900
41 San Juan	23-5-74	3,510	-	0,555	0,793	1,098	5,967
43 Santa Teresa	22-5-74	3,480	0,641	0,641	0,862	0,862	5,270
43 Santa Teresa	17-2-75	2,250	0,724	1,724	1,020	1,369	9,902
44 Gabriel y Galán	11-3-74	3,800	0,943	0,684	0,845	1,123	17,840
46 Alcántara I	10-3-74	2,040	0,880	0,796	0,970	1,754	24,290
46 Alcántara I	16-11-74	4,240	0,465	0,418	0,729	0,729	3,153
48 Orellana	12-3-74	3,020	0,523	0,787	0,787	0,787	2,283
48 Orellana	18-11-74	1,580	1,335	1,562	1,562	2,500	0,600
50 Valdecañas	9-3-74	2,630	0,646	0,595	0,877	1,000	11,010
50 Valdecañas	15-11-74	3,230	0,559	0,523	0,781	1,098	5,274
53 Guajaraz	7-3-74	1,340	0,920	0,943	1,136	1,538	0,393
53 Guajaraz	13-11-74	1,620	1,151	0,925	0,578	1,785	6,585
56 Alarcón	6-3-74	3,610	0,375	0,375	0,645	0,546	0,934
56 Alarcón	8-11-74	1,800	0,585	0,724	1,176	1,265	1,574
57 Generalísimo	5-3-74	5,300	0,204	0,261	0,578	0,286	0,751
57 Generalísimo	7-11-74	5,070	0,251	0,454	0,591	0,404	0,912
59 Sichar	6-11-74	0,810	0,840	0,900	1,333	1,388	1,380
59 Sichar	30-3-74	1,820	0,608	0,512	0,833	0,970	0,840
60 El Vellón	25-5-74	3,930	0,478	0,465	0,675	0,877	3,020
60 El Vellón	11-11-74	2,760	0,970	0,970	0,970	1,666	2,247

Nº embalse	Fecha	D_s	K_t	K_v	K_r	K_a	Clorof.	
62	Guadalén	27-3-74	0,640	2,700	2,222	3,030	1,515	0,930
62	Guadalén	21-11-74	0,950	1,269	1,449	1,449	2,702	-
63	Tranco de Beas	28-3-74	3,090	0,404	0,404	0,632	0,505	2,166
63	Tranco de Beas	20-11-74	4,320	0,383	0,340	0,628	0,446	0,994
65	Jándula	26-3-74	0,680	1,903	2,631	2,631	4,166	9,690
66	Guadalmellato	13-3-74	2,020	0,990	0,990	0,806	1,612	3,965
66	Guadalmellato	23-11-74	2,210	0,825	0,704	1,030	1,350	2,150
68	Bembezar	24-11-74	4,240	0,751	0,662	0,854	1,438	1,477
69	El Retorillo	27-1-73	1,220	1,041	1,041	1,492	2,173	2,386
69	El Retorillo	24-11-74	3,300	0,848	0,796	1,010	1,388	1,414
70	Guadarranque	21-3-74	2,310	0,704	0,680	0,793	0,952	4,180
72	C. de Guadalhorce	22-3-74	2,140	0,528	0,444	0,787	0,645	2,248
72	C. de Guadalhorce	4-12-74	1,400	0,708	0,657	1,041	0,970	3,045
73	Iznajar	23-3-74	5,710	0,327	0,327	0,546	0,454	2,225
73	Iznajar	5-12-74	3,920	0,409	0,384	0,719	0,571	4,060
74	Bermejales	6-12-74	2,430	0,489	0,452	0,746	0,653	4,406
75	Cenajo	7-12-74	1,580	0,576	0,537	0,934	0,757	1,116
75	Cenajo	29-3-74	4,040	0,241	0,187	0,522	0,182	1,629
79	Boadella	2-4-74	1,830	0,719	0,719	0,909	0,980	8,045
80	Susqueda	1-4-74	0,840	1,818	1,818	1,818	4,000	9,600
81	El Grado	1-5-74	5,920	0,183	0,219	0,558	0,219	1,722
83	Aracena	17-3-74	2,210	0,580	0,666	0,892	1,111	19,95
84	Minilla	16-3-74	3,330	0,413	0,413	0,714	0,757	4,348
85	Cala	16-3-74	2,810	0,503	0,598	0,826	0,826	1,000
85	Cala	27-11-74	3,230	0,540	0,473	0,662	0,775	2,235
87	Bornos	1-12-74	2,420	0,581	0,581	0,806	0,917	19,370
87	Bornos	19-3-74	1,020	1,449	1,449	1,694	2,381	4,776
88	Guadalcaçín	20-3-74	0,790	1,339	1,754	1,851	2,631	5,510
88	Guadalcaçín	2-12-74	0,900	1,111	1,030	1,333	1,333	5,780
91	Sobrón	3-5-74	0,690	1,363	1,639	1,851	2,381	11,650
93	Santa Ana	3-4-74	7,100	0,167	0,197	0,512	0,212	1,500
93	Santa Ana	24-1-75	7,000	0,241	0,229	0,555	0,267	0,481
94	Camarasa	23-1-75	3,750	0,429	0,363	0,694	0,502	2,718
95	Oliana	29-4-74	3,170	0,324	0,781	0,862	0,961	8,045
96	Sant Ponç	31-3-74	2,200	0,528	0,438	0,781	0,781	3,164
96	Sant Ponç	22-1-75	3,190	0,450	0,450	0,735	0,574	5,255
105	Almendra II	18-5-74	3,060	0,729	0,729	0,800	1,333	8,254
105	Almendra II	14-2-75	3,460	0,545	0,469	0,746	0,909	1,681