

RELACION DISCO DE SECCHI VERSUS IRRADIACION ESCALAR CUANTICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA Y GOLFO DE CALIFORNIA

SECCHI DISK LECTURES AND SCALAR QUANTA IRRADIANCE RELATIONSHIPS IN THE PACIFIC COAST OFF BAJA CALIFORNIA AND GULF OF CALIFORNIA

José Bustillos Guzmán
Carlos H. Lechuga Devéze

Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C.
Apartado Postal 128
La Paz, Baja California Sur
C.P. 23000 México

Bustillos Guzmán, J. y Lechuga Devéze, C.H. Relación disco de secchi versus irradiación escalar cuántica en la costa occidental de Baja California y Golfo de California. Secchi Disk Lectures and Scalar Quanta Irradiance Relationships in the Pacific Coast off Baja California and Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 15(1):39-46, 1989.

RESUMEN

Se determinó la irradiación escalar cuántica ($I_{\bullet 0}$) a varias profundidades en la zona de transición templado-tropical del Pacífico Occidental y Golfo de California, durante primavera y otoño de 1986 respectivamente. Simultáneamente se registró la profundidad de desaparición del disco de Secchi (Ds). El objetivo de estas mediciones fue la de derivar una fórmula que relacionara $I_{\bullet 0}$ y Ds.

Se encontró una correlación significativa entre el coeficiente de extinción de $I_{\bullet 0}$ ($K_{\bullet 0}$) y Ds en las dos áreas y se obtuvieron las ecuaciones:

$$K_{\bullet 0} = 1.99/Ds^{0.98} \quad (r^2=0.92)$$
$$K_{\bullet 0} = 1.08/Ds^{0.88} \quad (r^2=0.81)$$

para el Golfo de California y costa del Pacífico respectivamente. Estas fórmulas son propuestas para calcular la atenuación de la irradiación escalar cuántica a partir de registros de la profundidad de desaparición del disco de Secchi, para estudios de producción primaria.

ABSTRACT

Scalar quanta irradiance ($I_{\bullet 0}$) was determined at several depths in the Pacific off the Baja California coast and in the Gulf of California, during the spring and fall of 1986 respectively. At the same time, Secchi disk lectures were recorded with the goal to derive a formula for relating Secchi disk lectures (Ds) and scalar quanta attenuation ($K_{\bullet 0}$).

A good correlation was found between Ds and $K_{\bullet 0}$ in both areas and the following equations were obtained:

$$K_{\bullet 0} = 1.99/Ds^{0.98} \quad (r^2=0.92)$$
$$K_{\bullet 0} = 1.08/Ds^{0.88} \quad (r^2=0.81)$$

for the Gulf and the Pacific coast areas respectively. These formula are proposed to calculate scalar quanta attenuation, from Secchi disk depths for field primary productivity studies in these areas.

INTRODUCCION

La profundidad de desaparición del disco de Secchi se ha relacionado con la penetración de la irradiancia suponiendo que el coeficiente de atenuación de la luz (K) y las lecturas del disco de Secchi (D_s), son directamente proporcionales e iguales a una constante (C) ($KD_s = C$). Se han obtenido varios valores de la constante C al relacionar D_s contra la irradiación descendente espectral verde o azul (Poole y Atkins, 1929; Walker, 1980), el flujo descendente cuántico (Højerslev, 1978; Walker, 1982), la luz descendente fotópica (Walker, 1982) y la transmisión del rayo luminoso (Tyler, 1968; Holmes, 1970). Estas constantes han sido ampliamente aceptadas y se han utilizado para calcular las profundidades a las cuales penetran diferentes porcentajes de la intensidad luminosa incidente en superficie cuando sólo se dispone de un disco de Secchi.

En la evaluación de la actividad fotosintética en un medio acuático, debe considerarse que el fitoplancton recibe el flujo luminoso desde cualquier dirección. En las estimaciones de irradiancia fotosintéticamente activa entonces es necesario integrar el flujo que de cualquier dirección incide sobre un punto, es por esto que es recomendado estimar el flujo cuántico escalar en lugar de la irradiación en un plano bidimensional (Højerslev, 1978; Parsons *et al.*, 1984).

Recientemente Preisendorfer (1986) examinó la teoría del disco de Secchi. Algunas de las conclusiones a las que llegó fue que la relación entre las lecturas del disco de Secchi y las propiedades ópticas del agua, posiblemente sean efímeras y locales y, que debe evitarse el uso del disco de Secchi cuando se cuenta con equipo más adecuado para medir estas propiedades. Sin embargo, la magnitud de la relación estadística de las características ópticas del agua con las lecturas del disco de Secchi, justifican el uso del disco cuando se

INTRODUCTION

The Secchi disk has been related with light penetration by assuming that the attenuation coefficient (K) and the Secchi disk readings (D_s) are related directly by the empirical relationship $KD_s = C$. Several values have been derived for C by relating Secchi disk depths versus attenuation coefficient of: downward blue or green light (Poole and Atkins, 1929; Walker, 1980), downward quanta density flux (Højerslev, 1978; Walker, 1982), photopic downward light (Walker, 1982) and beam transmittance (Tyler, 1968; Holmes, 1970). These values have been widely accepted and on the basis of that the light depths of 50%, 25%, 10%, 5%, and 1% have been calculated with only the measurement of the Secchi disk depth.

However in the evaluation of the photosynthetic activity in an aquatic environment, the irradiance must be considered not only as the downward penetration but also as the sum of the inciding flux from every direction over a point (Scalar radiation), because the phytoplankton receives light throughout its entire surface. Because of this, it is recommended that scalar irradiance should be measured instead of the two dimension irradiance (Højerslev, 1978; Parsons *et al.*, 1984).

After examining the theory of the Secchi disk, Preisendorfer (1986) concluded that the relationship between the Secchi disk reading and the optical properties of the medium might be ephemeral and local, and that the use of Secchi disk must be avoided if modern electronic devices are available. In case those devices could not be obtained easily, it is desirable to have some statistical links between the optical properties and the Secchi disk for the study area. These statistical links can be used when only a Secchi disk is available. Because of the above mentioned reasons, the present investigation was carried out on the scalar quanta flux density and the

carece de otro equipo y por lo tanto es deseable tener las relaciones propiedad óptica-Ds para cada zona.

METODOLOGIA

Durante el crucero "PAC8605" realizado a bordo del B/O "El Puma" en el Pacífico Occidental (mayo-junio, 1986) y "GOLCA 8611" en el Golfo de California (noviembre-diciembre, 1986), se midió la irradiación cuántica escalar incidente en el intervalo fotosintéticamente activo (400-700nm) con un fotómetro LI-COR 188-B y un sensor esférico modelo LI-193SB, en las estaciones mostradas en la Figura 1. Las mediciones se hicieron a diferentes profundidades, pero en general se midió en superficie, 0.1m, 1m, y a partir de esta profundidad, cada cinco metros hasta la profundidad donde se presentaba del 10% al 1% de la intensidad luminosa incidente en superficie. En cada medición se utilizó un tiempo de integración de 10seg para minimizar los efectos causados por el oleaje sobre todo en las lecturas a 0.1 y 1m. Simultáneamente a estas mediciones se bajo un disco de Secchi (30cm de diámetro) y se registró la profundidad de su desaparición a la vista de un observador situado a 3-4 metros encima de la superficie, siguiendo las sugerencias hechas por Tyler (1968).

El análisis de la relación Ds y la atenuación del flujo cuántico ($K_{\phi 0}$) se hizo asumiendo que $K_{\phi 0}$ es dado por el coeficiente K de la ley de Beer-Bouguer. Así, los valores obtenidos se relacionaron con Ds por medio de la ecuación $K_{\phi 0} = a/Ds^b$, siendo "a" la intercepción en Y, y "b" la pendiente de la recta, ambos coeficientes obtenidos de la correlación entre $\ln K_{\phi 0}$ y $\ln Ds$. Se consideraron sólo aquellas estaciones donde Ds caracterizara aguas ópticamente homogéneas (valores de $K_{\phi 0}$ aproximadamente constantes a todas las profundidades, Walker, 1980). Las mediciones de irradiación escalar cuántica de superficie (0.1m) del Golfo de California, fueron eliminadas del análisis debido a que los vientos dominantes mayores de 20 nudos, generaron fuerte oleaje el cual no permitió que el sensor permaneciera el tiempo suficiente a esta profundidad para obtener una lectura representativa.

Secchi disk lecture relationship in the Gulf of California and in the Pacific off the coast of Baja California.

METHODS

During the PAC8605 cruise carried out in the transition zone of Baja California (May-June 1986) and GOLCA 8611 in the Gulf of California (November-December 1986), Scalar quanta irradiance (400-700nm) incidenting on a spherical quantum sensor LI-193SB was measured using an integrating quantum radiometer photometer LI-COR LI-188B. Sampling stations for the cruises are shown in Figure 1. Regular measurements were taken at the surface, 0.1m, 1.0m and there after each 5m intervals until the depth where the 10% to 1% of the surface incident light was recorded. Integrating time of radiation at each depth was of 10 seconds. Simultaneously a matt-white 30cm diameter Secchi disk was lowered into the sea and the depth at which it disappeared from the sight of an observer situated about 3-4 meters above the surface was recorded. Tyler's Secchi disk measurement suggestions were followed (Tyler, 1968).

Analysis of the relationships between Ds and $K_{\phi 0}$ was done by assuming that the attenuation of the scalar quanta flux density is given by the K-coefficient of the Beer-Bouguer law. Thus $K = K_{\phi 0}$, was related to Secchi disk by the equation $K_{\phi 0} = a/Ds^b$ at those stations only where Ds fell within optically homogeneous water (constant $K_{\phi 0}$ at all depths) (Walker, 1982). Rough sea condition in the Gulf due to the prevalent wind velocity up 20 knots greatly influenced the surface measurements. Thus the surface data were not included in our study.

RESULTS AND DISCUSSION

A summary of the optical characteristics of the studied zones is given in Table I which indicates that the Pacific water was more homogeneous than the water from the Gulf of California where at least five profiles were found. According to Holmes (1970), Secchi disk depths for both zones are characteristics of turbid coastal waters.

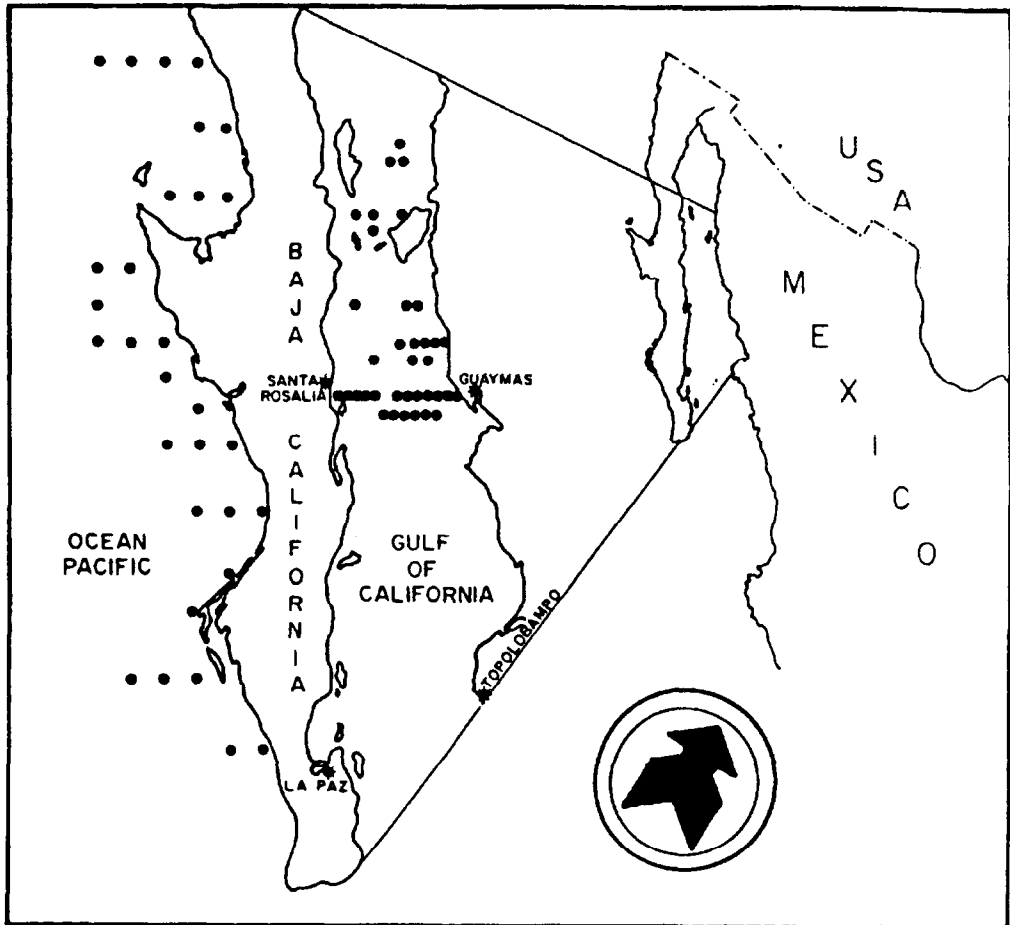


Figura 1. Área de estudio y estaciones de muestreo.
Figure 1. Studied area and sampling sites.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I se muestra un resumen de la caracterización óptica de las masas de agua encontradas durante este estudio. Es notoria la dominancia de los perfiles homogéneos del Pacífico comparado con el Golfo de California. Las profundidades medias de lectura del disco de Secchi son características de aguas turbias costeras (Holmes, 1970).

Se encontró una correlación significativa ($r^2 = 0.92$ y 0.81) entre la atenuación de la irradiación escalar y la lectura del disco de Secchi en las dos áreas (Fig. 2). Las cons-

There was a good correlation ($r^2 = 0.92$ and 0.81) between the scalar irradiance attenuation and Secchi disk lectures in both areas (Fig. 2). It is obvious that as the constants obtained from the relationship between D_s and attenuation of downward scattering light (Tyler, 1968; Holmes, 1970; Weinberg, 1976; Walker, 1980), and downward photopic light (Holmes, 1970; Walker, 1982), and downward quantum flux density (Højerslev, 1978; Walker, 1982), these vary from one area to another. This variation reflects the changes on the optical properties of the sea and errors from Secchi disk observations (Højerslev, 1978).

Tabla I. Características ópticas de las zonas de estudio.

Table I. Optical characteristics of the studied zone.

	Golfo de California	Océano Pacífico
A Tres estratos diferentes	2.7%	0%
B Agua clara y homogénea	5.4%	0%
C Agua turbia y homogénea	61.5%	95%
D Agua clara superficial sobre agua turbia de fondo	5.4%	2.5%
E Situación inversa a D	25.0%	2.5%
F Promedio de lecturas del disco de Secchi	12.2 ± 3.7	7.69 ± 3.1
G Promedio de la atenuación escalar cuántica (K _d)	0.15 ± 0.006	0.17 ± 0.009

tantes a (intercepción en Y) de las ecuaciones de correlación, varían de un área a otra, al igual que los datos reportados por Weimberg (1976) Holmes (1970), Walker (1980) y Tyler (1968) para atenuación de luz difusa; Walker (1982) y Holmes (1970) para luz fotópica; Højerslev (1978) y Walker (1982) para densidad de flujo cuántico. Estas variaciones reflejan los cambios de las propiedades ópticas de las masas de agua (Højerslev, 1978).

Sólo hay dos trabajos que relacionan la atenuación del flujo cuántico con la profundidad de desaparición del disco de Secchi: Højerslev (1978), quien basado en un modeloteórico sugiere que $K_d = 2.3/D_s$ puede ser usado en cualquier masa de agua, y Walker (1980), quien encontró que $K_d = 1.38/D_s^{0.95}$ para la costa noroeste de Australia. Estas ecuaciones fueron obtenidas a partir de la atenuación descendente (es decir, a partir de sensores planos y por lo tanto sin tomar en cuenta la irradiación difusa y ascendente) por lo que no se pueden comparar directamente con las ecuaciones encontradas en este trabajo.

Haciendo un análisis estadístico de comparación de pendientes e intercepción en "Y" de las ecuaciones de regresión (Zar, 1984), se concluye a un nivel de confianza del 95%, que ambas ecuaciones tienen diferentes intercepciones en "Y" pero pendientes iguales; por

There are two papers where the attenuation coefficient of quanta has been related to the depth at which a Secchi disk disappears from an observer's sight: Højerslev (1978), on the basis of a theoretical formula suggested a $K_d = 2.3/D_s$ to be used in all natural sea waters. Walker (1982) found a value $K_d = 1.38/D_s^{0.95}$ for the Australian north-eastern coastal waters. Since, their equations were derived by taking only the downward attenuation into consideration, these relationships can not directly be compared with the equation of this study.

By comparing the slopes and elevations of the regression equations of this study (Zar, 1984), it is concluded that both equations have different elevations, but equal slopes ($p=95\%$).

Thus, equations could be expressed with a "common" slope not different to 1. A similar slope is shown in Walker's study (Walker, 1982). However, solving the equation to find the 1% light depth ($-z = 1 \ln 0.01/K_d$) for $D_s = 20m$, and using $b = 1$ and real values of b for both areas, the bias for the Gulf of California could be negligible ($b = 1$: 46.28m; $b = 0.98$: 43.59m) while for the Pacific coast must be considered important ($b = 1$: 85.28m; $b = 0.88$: 59.53m). The data obtained with

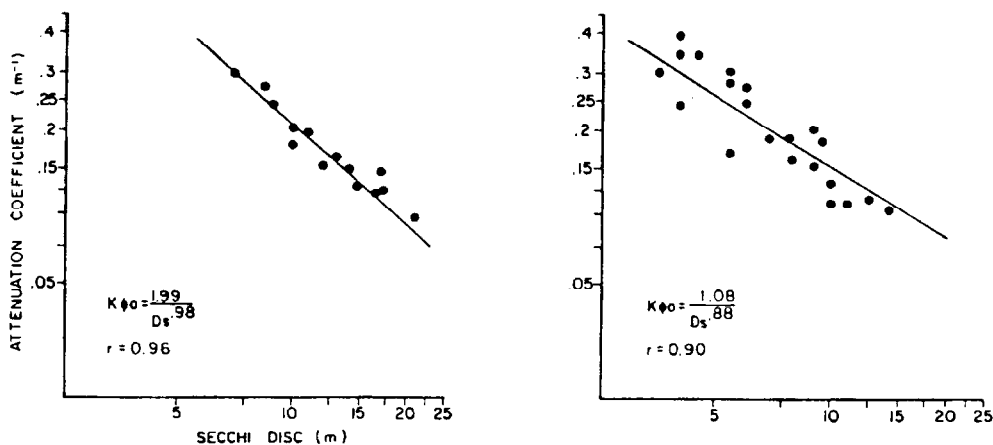


Figura 2. Relaciones entre el coeficiente de atenuación cuántica y lecturas del disco de Secchi para el Golfo de California (izquierda) y para el Pacífico (derecha).

Figure 2. Relationship between the quanta attenuation coefficient and the Secchi disk depth for the Gulf of California (left) and the Pacific (right).

lo tanto estas ecuaciones podrían escribirse con una pendiente "común" no significativamente diferente de 1, pendiente similar a la propuesta por Walker (1982). Sin embargo, resolviendo la ecuación para encontrar la profundidad del 1% de penetración de luz ($-z = 1 \ln 0.01/K_{d0}$) para $D_s = 20\text{m}$ utilizando $b=1$ para ambos lugares y en un segundo cálculo los valores reales de "b", la diferencia resultante para el Golfo de California es mínima ($b = 1: 46.28\text{m}$; $b = 0.98: 43.59\text{m}$) mientras que para la costa del Pacífico esta diferencia es ya considerable ($b = 1: 85.28\text{m}$; $b = 0.88: 59.53\text{m}$). El resultado obtenido con "b" real del Pacífico es muy cercano al que se obtendría al utilizar la relación $1\% = 3 D_s$ (60m para este ejemplo) empleado por el grupo CALCOFI en la corriente de California.

CONCLUSIONES

Dado que las constantes obtenidas al relacionar la lectura del disco de Secchi versus atenuación de alguna forma de luz son características de cada zona, las ecuaciones

$$K_{d0} = 1.99/D_s^{0.98} \text{ y } K_{d0} = 1.08/D_s^{0.88}$$

para Golfo de California y costa del Pacífico,

"b" real for the Pacific coast, is very similar to those obtained using the relationship $1\% = 3 D_s$ (60m in this example) utilized by the CALCOFI group in the California current.

CONCLUSIONS

Since the constants obtained in the relationship between Secchi disk depths and irradiance attenuation, seem to be characteristic for each zone studied, the equations

$$K_{d0} = 1.99/D_s^{0.98} \text{ and } K_{d0} = 1.08/D_s^{0.88}$$

for the Gulf of California and Pacific coast respectively, are proposed for the calculation of the quanta attenuation of the scalar irradiance when a Secchi disk is only available.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the help of Gustavo Padilla and Ismael Garate in the field work; to all the crew of the B/O "El Puma" for attention and facilities aboard the ship; to Dr. Amando Leyva for his criticism to the manuscript; to anonymous reviewers whose

pueden utilizarse cuando se desee calcular la atenuación de la irradiación escalar cuántica cuando sólo se dispone de un disco de Secchi.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer la ayuda, por el trabajo de campo, a los colegas Gustavo Padilla e Ismael Gárate. A la tripulación del B/O "El Puma" por su excelente desempeño durante las campañas; a Amando Leyva por sus críticas constructivas al manuscrito; a los revisores anónimos quienes aportaron valiosos comentarios incluidos en este artículo.

LITERATURA CITADA

Højerslev, N.K., (1978) Daylight Measurements Appropriate for Photosynthetic Studies in Natural Sea Waters. *J. Con. Int. Explor. Mer.* 38:131-146.

Holmes, R.W., (1970) The Secchi Disk in Turbid Coastal Waters. *Limnol. Oceanogr.* 15:688-694.

Parsons, T.R., Takahashi, M. y Hargrave, B. (1984) *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press, 3a. ed. 331 p.

Poole, J. H., y Atkin, W.R.G. (1929) Photo-electronic Measurements of Submarine Illumination Throughout the Year. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 16: 297-324.

comments improved the final version of this paper. English form improvement was done by Mrs. Bowling and Dr. N. Das to whom we are indebted.

English translation by the author.

Preisendorfer, R. W. (1986) *Secchi Disk Science: Visual Optics of Natural Waters*. *Limnol. Oceanogr.*, 31: 909-926.

Steeman-Nielsen, E., (1975) *Marine Photosynthesis with Special Emphasis on the Ecological Aspects*. Elsevier, Amsterdam, 123p.

Tyler, J.E. (1968) The Secchi Disk. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 1-6.

Walker, T.A. (1980) A Correction to the Poole and Atkin's Secchi Disk/Light Attenuation Formula. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 60: 169-171.

Walker, T.A. (1982) Use of a Secchi Disk to Measure Attenuation of Underwater Light for Photosynthesis. *J. Appl. Ecol.*, 19: 539-544.

Weinberg, S. (1968) Submarine Daylight and Ecology. *Mar. Biol.* 37:291-304.

Zar, J.H. (1984) *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. 718 p.