

ABSORCION SELECTIVA DE LUZ EN AGUAS DEL PARANA MEDIO*

Horacio M. Cabral **

Instituto Nacional de Limnología
José Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé (S. Fe)
Argentina

RESUMEN

Cabral, H.M. 1985. Absorción selectiva de luz en aguas del Paraná Medio. Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, 16 (2): 113-120.

Con un carácter complementario de otros estudios sobre energía radiante y producción primaria, se determinaron selectivamente los coeficientes de absorción lineal en 18 lugares de muestreo en una zona del Paraná Medio situada entre las provincias de Corrientes y Santa Fe. Los valores extremos encontrados en diciembre de 1981 fueron de $29,96 \text{ m}^{-1}$ para 400 nm y de $0,41 \text{ m}^{-1}$ para 700 nm; en marzo de 1982 los valores correspondientes a esas mismas longitudes de onda fueron $26,59 \text{ m}^{-1}$ y $0,00 \text{ m}^{-1}$ respectivamente.

Por otra parte, se aplicó un criterio físico de absorción, encontrándose que todas las aguas examinadas correspondían al tipo de baja absorción a pesar de los diferentes coeficientes encontrados. Por lo tanto, es posible concluir en que este criterio no resulta de utilidad a los fines de establecer una clasificación óptica sencilla de los distintos cuerpos de agua.

ABSTRACT

Cabral, H.M. 1985. Selective absorption of light in waters of the Middle Paraná. Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, 16 (2): 113-120.

As a complementary sense of other surveys about radiant energy and primary production, the lineal absorption coefficients from 18 sample points in a zone of the Middle Paraná placed between Corrientes and Santa Fe provinces, were selectively determined. The extreme values encountered in december 1981 were $29,96 \text{ m}^{-1}$ for 400 nm and $0,41 \text{ m}^{-1}$ for 700 nm; in march 1982, the corresponding values were $26,59 \text{ m}^{-1}$ and $0,00 \text{ m}^{-1}$ respectively.

On the other hand, a physical absorption criterion was applied, finding out that all the examined waters corresponded to the low absorption type, in spite of the different coefficients encountered. Therefore, it is possible to conclude that this criterion does not result useful in order to establish a simple optical classification of the various waterbodies.

- * Trabajo presentado en la 46a. Reunión de Comunicaciones de la Asociación de Ciencia Naturales del Litoral, 1983.
- ** Miembro de la Carrera del Personal de Apoyo a la Investigación y Desarrollo (CONICET).

INTRODUCCION

La producción primaria de un cuerpo de agua depende fundamentalmente de tres variables principales: organismo vivo, nutrientes y energía radiante. La disponibilidad de luz es, por lo tanto, importante, y el presente trabajo tiene por objetivo comparar los comportamientos de diferentes sistemas lóticos con respecto a la *absorción* de cada una de las componentes espectrales que constituyen la luz solar y determinar, si es posible o no, utilizar con fines limnológicos el criterio físico de absorción mencionado por Pohl.⁶ Para ello se determinaron en forma selectiva los rangos de variación naturales del coeficiente de absorción lineal en 18 lugares de muestreo del Paraná Medio y en dos situaciones hidrológicas diferentes, abarcando parte de las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Corrientes.

Criterio óptico de comparación.

Dado que es necesario distinguir comportamientos ópticos distintos, es preciso elegir un parámetro cuya variación refleje la mayor cantidad de los cambios ambientales posibles, que su determinación sea sencilla y que por sobre todo sea *precisa*; de esta manera resultará sencillo diferenciar aguas con características ópticas muy cercanas entre sí.

Si bien la ley de Lambert solo es aplicable con ciertas limitaciones a los cuerpos de aguas naturales, lo cierto es que aún constituye el único medio de expresar cualitativa y cuantitativamente la penetración de la luz solar en el agua. La ecuación tiene la forma

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} e^{-\mu_{\lambda} x}$$

donde:

I_{λ} : intensidad de luz de longitud de onda λ luego de atravesar un espesor (x) del medio absorbente.

$I_{0\lambda}$: intensidad de luz monocromática que incide perpendicularmente al medio ópticamente vacío

e : base de los logaritmos naturales.

μ_{λ} : coeficiente de absorción lineal a λ

El término μ_{λ} tiene un carácter marcadamente energético pues es función de la longitud de onda empleada, de la temperatura, de la concentración y de la composición química del medio, es decir que su valor depende de dos variables físicas y de dos variables químicas notablemente interrelacionadas entre sí. En la naturaleza, las variables químicas son de gran importancia, puesto que como lo han demostrado otros autores^{1,2}, el valor de μ_{λ} depende de la concentración de la sustancia amarilla (*Gelbstoff* o *Gilvin*) disuelta en las aguas naturales. Debido a que es posible determinar el coeficiente de absorción sin conocer aquélla, el problema queda reducido únicamente al aspecto físico de la cuestión.

Es importante destacar que la presencia de materia particulada, tan abundante en los cuerpos de agua estudiados, no juega ningún papel en la determinación *en el laboratorio* de μ_{λ} , dado que se trabaja con agua filtrada; sin embargo, debe tenerse la precaución de comprobar experimentalmente que las partículas que deja pasar el filtro, no influyen en los resultados, según sea la sensibilidad del espectrofotómetro empleado.

Desde un punto de vista limnológico, el coeficiente de absorción lineal resulta ser así, la expresión cualitativa de factores ambientales, puesto que representa la medida en que las variables físicas, químicas y biológicas influyen sobre el medio líquido, produciéndose intercambios energéticos altamente selectivos entre aquellas y la radiación pasante. Todas estas consideraciones justifican suficientemente el empleo de este parámetro, verdadero coeficiente ambiental, como criterio válido de comparación de las propiedades ópticas de distintos cuerpos de agua.

Los requisitos de sencillez y precisión de la determinación de μ_{λ} son ampliamente conocidos y no serán tratados aquí.

Magnitud de la absorción.

Uno de los principales problemas que hacen a la absorción de luz en un medio dado, es el de definir qué se entiende por absorción débil y qué se entiende por absorción fuerte. Pohl⁶ cita una de las formas de hacerlo mediante el concepto del "camino medio libre" (σ), cuyo valor demostrable es

$$\sigma = 1 / \mu_{\lambda}$$

donde σ representa la distancia promedio entre dos choques consecutivos entre el fotón interactuante y las moléculas absorbedoras del medio óptico atravesado. Según Pohl⁶, si

$$\begin{aligned} \sigma > \lambda & \text{ la absorción será débil} \\ \sigma < \lambda & \text{ la absorción será fuerte} \end{aligned}$$

Se trata sin duda de un criterio eminentemente físico del fenómeno de absorción, que intentaremos aplicar aquí, con la intención de poder caracterizar cuerpos de agua de diferente absorción. Naturalmente será necesario comprobar experimentalmente la utilidad limnológica que pueda proporcionar este criterio de penetración luminosa.

MATERIAL Y METODOS

Las campañas efectuadas por el Instituto Nacional de Limnología al Paraná Medio y sus principales tributarios durante diciembre de 1981 y marzo de 1982, ofrecieron una buena oportunidad para conocer los rangos de variación selectivos de μ_{λ} en una zona lo suficientemente amplia como para obtener resultados representativos.

Las muestras de diciembre de 1981 fueron filtradas en campaña a través de filtros Whatman de fibra de vidrio (GF/C), siendo leídas las tramitancias espectrales con intervalos de 50 nm entre 400 y 700 nm, es decir, en el rango fotosintético activo. Se utilizaron a tal fin, un espectrofotómetro Metrolab RC 325 con red de difracción y cubetas de 10 cm de paso óptico de sílica estándar, aptas para trabajar desde 220 a 2500 nm. Los valores del coeficiente de absorción lineal (μ_{λ}) se calcularon según:

$$\mu_{\lambda} = 1/x \ln 1/T_{\lambda}$$

donde T_{λ} es la tramitancia a la longitud de onda (λ) correspondiente al paso óptico (x).

Experimentalmente se comprobó que las partículas que dejaba pasar el filtro mencionado, prácticamente no alteraban las lecturas de tramitancia en el espectrofotómetro empleado.

Las profundidades para las cuales la radiación de la longitud de onda que se considere alcanza el 10% del valor superficial (z_{λ}), fueron calculadas mediante la fórmula

$$z_{\lambda} = 4,61 / \mu_{\lambda}$$

Se usó un disco de Secchi de 20 cm. de diámetro dividido en cuatro sectores pintados de blanco y negro en forma alternada, efectuándose las lecturas a la sombra. El resultado se obtuvo promediando las profundidades de aparición y desaparición del disco.

Las muestras de marzo de 1982 fueron remitidas al laboratorio y procesadas de la misma manera que en el caso anterior, manteniéndose los filtrados en la heladera hasta su lectura final.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores encontrados del coeficiente de absorción lineal para cada punto de muestreo se indican en el cuadro 1 figurando, al lado, la profundidad calculada (z_{λ} en m, λ en nm).

Para cada localidad se señalan dos filas de valores: la superior corresponde a mediciones efectuadas en diciembre de 1981 y la inferior a las realizadas en marzo de 1982. Los valores de Secchi (S en m), se han colocado solamente a los efectos de que el lector tenga una imagen visual más completa acerca de la transparencia de las aguas, debido a que su valor no resulta *directamente* comparable con μ_{λ} . Esto es así, porque la profundidad Secchi contempla simultáneamente dispersión y absorción por el material suspendido más la absorción por el material disuelto. Además, desde el punto de vista espectral, las lecturas con el disco son completamente indefinidas, al no poderse establecer una longitud de onda determinada para la medición. Comparar por lo tanto S con μ_{λ} , que sólo evalúa la absorción selectiva, sería desvirtuar identidades físicas que en la naturaleza se hallan vinculadas entre sí de manera muy complicada y que merecerían un estudio por separado.

En el cuadro 2 se indican los rangos de variación selectivos de μ_{λ} para las dos situaciones hidrológicas estudiadas y el rango de variación total para la zona investigada.

Debido a que las profundidades fóticas selectivas (z_{λ}), fueron calculadas a partir de μ_{λ} , sólo son válidas en forma aproximada a los valores reales, pues se ha tenido en cuenta únicamente la absorción del medio, es decir, la fracción de energía radiante que se transforma en calor sin consideración del fenómeno de absorción y dispersión que producen los sólidos en suspensión. En otras palabras, las profundidades apuntadas serán tanto más reales, cuanto menor sea la carga de sólidos en suspensión del río.

Los valores de μ_{λ} de diciembre 1981 (cuadro 2), fueron más altos que los de marzo de 1982. De los 18 lugares examinados, sólo el Arroyo del Ombú muestra valores más altos para esta fecha, constituyéndose en la excepción que confirma la regla. Resulta evidente entonces, el notable efecto de dilución operado en marzo 1982 con relación a diciembre 1981, último año en que el Paraná cumple hasta aquí, su ciclo hidrológico habitual. En este caso, las variaciones de μ_{λ} son consecuencia prácticamente directa de las variaciones de concentración de la sustancia amarilla a causa de la creciente.

La curva $\mu_{\lambda} = f(\lambda)$ (fig. 1), resultó ser similar a la encontrada por diferentes autores de otras latitudes¹⁻³, muestra una variación continua, lo cual indica una interacción ininterrumpida del material absorbedor con la radiación, de lo que puede inferirse una acentuada variedad de especies químicas como constituyentes del *Gelbstoff*, con características ópticas muy cercanas entre sí. Solamente un prolijo análisis cualitativo

Cuadro 1

Valores del coeficiente de absorción lineal (μ_{λ} en m^{-1} , λ en nm), profundidades fóticas (z_{λ} en m, λ en nm) y transparencias de Secchi (S en m). Para cada localidad se indica el río (R) o el arroyo (A^o) correspondiente.

Coeficientes de absorción lineal y profundidades fóticas.																
Lugar	Año	μ_{400}	z_{400}	μ_{450}	z_{450}	μ_{500}	z_{500}	μ_{550}	z_{550}	μ_{600}	z_{600}	μ_{650}	z_{650}	μ_{700}	z_{700}	S
Reconquista																
R. San Javier	1981	18,33	0,25	12,73	0,36	8,92	0,52	6,44	0,72	4,94	0,93	3,93	1,37	3,22	1,43	0,21
R. San Javier	1982	6,75	0,68	3,42	1,35	2,03	2,31	1,23	3,75	0,81	5,69	0,48	9,60	0,38	12,13	0,15
Romang																
R. San Javier	1981	19,31	0,24	13,66	0,34	9,81	0,47	7,55	0,61	5,80	0,80	4,46	1,03	3,71	1,24	0,13
R. San Javier	1982	4,94	0,93	2,38	1,94	1,34	3,44	0,78	5,91	0,51	9,04	0,30	15,37	0,20	23,05	0,24
Alejandro																
R. San Javier	1981	18,64	0,25	13,09	0,35	9,81	0,47	7,13	0,65	5,45	0,85	4,31	1,07	3,50	1,32	0,17
R. San Javier	1982	3,30	1,40	1,47	3,14	0,74	6,23	0,41	11,24	0,23	20,04	0,10	46,1	0,06	76,83	0,49
San Javier																
R. San Javier	1981	11,24	0,41	7,24	0,64	5,62	0,82	3,86	1,19	2,94	1,57	2,36	1,95	1,86	2,48	0,16
R. San Javier	1982	2,98	1,55	1,31	3,52	0,65	7,09	0,35	13,17	0,20	23,05	0,04	115,3	0,02	230,5	1,43
Saladero Cabal																
R. San Javier	1981	10,50	0,44	6,73	0,69	4,70	0,98	3,50	1,32	2,61	1,77	2,05	2,25	1,86	2,48	0,26
R. San Javier	1982	2,96	1,56	1,28	3,63	0,62	7,44	0,30	15,37	0,15	30,73	0,50	9,22	0,01	461,0	1,73
Belvecia																
R. San Javier	1981	9,68	0,48	6,54	0,71	4,86	0,95	3,71	1,24	2,74	1,68	2,42	1,91	1,98	2,33	0,26
R. San Javier	1982	2,90	1,59	1,28	3,60	0,62	7,44	0,33	13,97	0,20	23,05	0,06	76,83	0,04	115,3	1,12
Santa Rosa																
R. San Javier	1981	20,40	0,23	14,27	0,32	10,50	0,44	8,21	0,62	6,35	0,72	5,03	0,91	4,16	1,11	0,26
R. San Javier	1982	3,08	1,50	1,10	4,19	0,20	23,05	0,31	14,87	0,12	38,4	0,05	92,2	0,02	230,5	1,25
Santa Rosa																
R. Santa Rosa	1981	18,64	0,25	13,09	0,35	9,68	0,48	7,55	0,61	5,98	0,77	4,78	0,96	4,00	1,15	0,24
R. Santa Rosa	1982	3,38	1,36	1,45	3,18	0,70	6,59	0,34	13,56	0,16	28,81	0,04	115,3	0,00	∞	1,85
A ^o del Ombú	1981	7,03	0,66	3,50	1,32	1,92	2,40	1,17	3,94	0,73	6,32	0,62	7,44	0,46	10,02	0,26
A ^o del Ombú	1982	11,39	0,40	5,38	0,86	2,92	1,58	1,66	2,78	1,04	4,43	0,56	8,23	0,41	11,24	0,19
A ^o Malabrigo	1981	12,04	0,38	6,83	0,67	4,31	1,07	2,94	1,57	2,17	2,12	1,68	2,74	1,28	0,28	0,20
A ^o Malabrigo	1982	5,55	0,83	2,32	1,99	1,31	3,52	0,75	6,15	0,42	10,98	0,22	20,95	0,14	32,93	0,20
Las Garzas																
R. Los Amores	1981	29,13	0,16	19,31	0,24	14,48	0,32	11,24	0,41	9,16	0,50	7,34	0,63	6,35	0,73	0,21
R. Los Amores	1982	24,65	0,19	14,15	0,33	8,89	0,52	5,87	0,79	4,19	1,10	2,78	1,66	2,11	2,18	0,85
Arroyo El Rey	1981	29,96	0,15	20,40	0,23	14,70	0,31	11,09	0,42	8,68	0,53	6,83	0,67	5,71	0,81	0,08
Arroyo El Rey	1982	26,59	0,17	13,82	0,33	7,77	0,59	4,49	1,03	2,74	1,68	1,51	3,05	0,97	4,75	0,12
Reconquista																
R. San Jerónimo	1981	13,28	0,35	8,68	0,53	6,25	0,74	4,46	1,03	3,35	1,38	2,61	1,77	2,05	2,25	0,20
R. San Jerónimo	1982	3,92	1,18	2,32	1,99	1,58	2,92	1,14	4,04	0,89	5,18	0,67	6,88	0,54	8,54	0,09
Goya																
R. Paraná	1981	13,86	0,33	9,55	0,48	7,24	0,64	5,36	0,86	4,08	1,13	3,08	1,50	2,55	1,81	0,25
R. Paraná	1982	1,85	2,49	0,95	4,85	0,56	8,23	0,35	13,17	0,20	23,05	0,08	57,63	0,05	92,2	0,13
Goya																
R. Santa Lucía	1981	18,33	0,25	11,55	0,40	8,10	0,57	5,98	0,77	4,62	0,99	3,57	1,29	2,68	1,72	0,32
R. Santa Lucía	1982	4,08	1,13	1,96	2,35	1,06	4,35	0,62	7,44	0,40	15,53	0,21	21,95	0,14	32,93	0,50
Paso Santa Rosa																
R. Corriente	1981	5,36	0,86	3,22	1,43	2,23	2,07	1,63	2,83	1,28	3,60	1,00	4,61	1,00	4,61	0,45
R. Corriente	1982	2,31	2,00	0,99	4,66	0,49	9,41	0,28	16,46	0,13	35,46	0,04	115,3	0,02	230,5	0,53
Esquina																
R. Paraná	1981	13,86	0,33	9,68	0,48	7,13	0,65	5,28	0,87	4,00	1,15	3,01	1,53	2,48	1,86	0,24
R. Paraná	1982	1,98	2,33	1,03	4,48	0,63	7,32	0,38	12,13	0,23	20,04	0,13	35,46	0,11	41,91	0,18
Paso Telégrafo																
R. Guayquiraró	1981	4,54	1,02	2,48	1,86	1,51	3,05	0,94	4,90	0,67	6,88	0,51	9,04	0,41	11,24	0,44
R. Guayquiraró	1982	1,54	2,99	0,68	6,78	0,34	13,56	0,18	26,51	0,10	46,1	0,00	∞	0,00	∞	1,11

Cuadro 2

Rangos de variación selectivos del coeficiente de absorción lineal (μ_λ en m^{-1} , λ en nm) en el Paraná Medio y en sus principales tributarios.

Longitud de onda (nm)	Diciembre 1981	Marzo 1982	Rango de variación
	μ_λ	μ_λ	Total de μ_λ
400	4,54 - 29,96	1,54 - 26,59	1,54 - 29,96
450	2,48 - 20,40	0,68 - 14,15	0,68 - 20,40
500	1,51 - 14,70	0,20 - 8,89	0,20 - 14,70
550	0,94 - 11,24	0,18 - 5,87	0,18 - 11,24
600	0,67 - 9,16	0,10 - 4,19	0,10 - 9,16
650	0,51 - 7,34	0,00 - 2,78	0,00 - 7,34
700	0,41 - 6,35	0,00 - 2,11	0,00 - 6,35

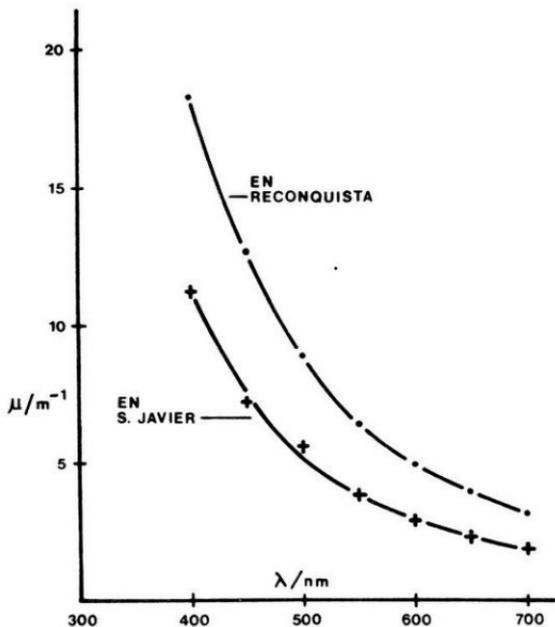


Fig. 1: Coeficiente de absorción lineal del río San Javier (diciembre 1981).

de este material podría abonar las ideas sustentadas por Kalle^{4,5} en el sentido de que sería posible identificar el origen de los ácidos húmicos por medio de los valores de μ_{λ} .

Por otra parte, se confirma *en el filtrado*, la mayor penetración del infrarrojo cercano que de la zona lindante con el ultravioleta.

El río San Javier, considerado como una sola unidad, incrementa su valor de μ_{λ} a partir de la localidad de Romang con relación a Reconquista. Desde Romang hasta Helvecia inclusive, los valores disminuyen, salvo pocas excepciones, para todas las longitudes de onda consideradas, indicando una suerte de autopurificación a juzgar por los valores correspondientes a los 400 nm, absorción habitualmente atribuible a contaminación orgánica; aparecerían entonces las localidades de Romang y Santa Rosa como posibles contribuyentes de una forma de contaminación incipiente.

Un caso conocido de notable contaminación lo constituye el arroyo El Rey, que muestra el máximo valor de μ_{λ} encontrado con $29,96 \text{ m}^{-1}$ a 400 nm y una penetración lumínica correspondiente a 0,15 m. El río Guayquiraró en Paso Telégrafo muestra por una parte, los valores más bajos de absorción para las dos épocas consideradas, mostrando por lo tanto, las transparencias más altas que se pudieron hallar.

Con respecto al criterio de absorción de Pohl⁶, el valor máximo encontrado entre las 252 mediciones efectuadas, es de $29,96 \text{ m}^{-1}$ para el arroyo El Rey, correspondiente a 400 nm. El camino medio libre resulta entonces de 3,34 cm, lo que representa un valor enorme frente a los 400 nm, indicando de manera inequívoca que todas las aguas investigadas son, según este criterio, de baja absorción. Resulta así, que si bien es posible que esta conclusión pueda extenderse a todas las aguas continentales, el empleo de este criterio no representa utilidad limnológica alguna a los fines de establecer una clasificación óptica sencilla de los distintos cuerpos de agua.

Por otra parte, queda bien claro lo ventajoso que resulta la utilización del coeficiente de absorción lineal como parámetro de comparación del comportamiento óptico de distintos cuerpos de aguas continentales.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Rafael Sabattini, por haber realizado filtraciones y lecturas en campaña durante el mes de diciembre de 1981.

El presente trabajo se realizó en el marco del Contrato entre *Agua y Energía e Instituto Nacional de Limnología* titulado: "Estudio Ecológico del río Paraná Medio".

REFERENCIAS

1. Baker, K.S. y Smith, R.C. 1982. Bio-optical classification and model of natural waters. 2. *Limnol. Oceanogr.*, 27: 500-509.

2. Bindloss, M.E. 1976. The light-climate of Loch Leven, a shallow Scottish lake, in relation to primary production by phytoplankton. *Freshwat. Biol.*, 6: 501–518.
3. Bricaud, A., Morel, A. y Prieur, L. 1981. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnol. Oceanogr.*, 26: 43–53.
4. Kalle, K. 1961. What do we know about the "Gelbstoff"? *Int. Union Geophys Geod Monogr.*, 10: 59–62.
5. Kalle, K. 1962. Ueber die gelösten organischen Komponenten im Meerwasser. Kiel *Meeresforschung*, 18: 128–131.
6. Pohl, R.W. 1958. Optik und Atomphysik. *Springer*. Berlin. 3, 352 p.
7. Stuermer, D.H. 1975. The characterization of humic substances in sea water. Ph.D Thesis. Mass. Inst. Technol—Woods Hole Oceanogr. Inst. 163 p.

Recibido / Received / : 22 mayo 1984