

INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS AGUAS DEL EMBALSE SAN JACINTO

INFLUENCE OF THE PARAMETERS PHYSICO-CHEMICAL ON THE OPTICAL PROPERTIES OF THE WATERS OF THE RESERVOIR SAN JACINTO

Fernández Deimar¹

¹Ingeniero Forestal. Docente Carrera de Ingeniería Forestal. Estudiante de Doctorado en Ciencias - UAJMS

Dirección de Correspondencia: Deimar Fernández, Calle 6 de Mayo S/N°, Barrio Catedral, Tarija, Bolivia.

Correo Electrónico: ferdei2000@yahoo.es

RESUMEN

Existen escasos antecedentes de estudios limnológicos en el Embalse San Jacinto. En el presente trabajo, se evalúan algunas características limnológicas y se analiza los valores del coeficiente de extinción vertical total de la luz (KT) y de la profundidad de observación del disco de Secchi (SD), a través de mediciones de un punto de muestreo localizado en la parte más profunda del embalse (dique) que difieren de una época a otra (lluviosa-seca) en sus características físicas, químicas y tróficas. Se analizan las relaciones encontradas para evaluar al SD como predictor de la zona fótica (Zeu) calculada mediante KT como una mejor estima de la zona fótica. Asimismo, se investiga la influencia de la Clorofila a, Turbidez y Materias en Suspensión (MES) sobre las propiedades ópticas de las aguas del embalse, donde la turbidez y MES se manifiestan como las principales variables que afecta a éstas propiedades.

PALABRAS CLAVE

Atenuación de luz en agua; disco de Secchi; propiedades ópticas; zona fótica; embalse San Jacinto.

ABSTRACT

Scanty precedents of studies exist limnologists in the Reservoir San Jacinto. In the present work, some characteristics are evaluated limnologists and there are analyzed the values of the coefficient of vertical total extinction of the light (KT) and of the depth of observation of Secchi disk (SD), across measurements of a point of sampling located in the deepest part of

the reservoir (dike) that differ from an epoch to (rainy - dry) other one in his physical, chemical characteristics and trófics. The relations are analyzed found to evaluate the SD as predictor of the zone fótica (Zeu) calculated by means of KT as a better esteem of the photic zone. Likewise, the influence of the Chlorophyll is investigated to, Turbidity and Matters in Suspension (MES) on the optical properties of the waters of the reservoir, where the turbidity and MES they demonstrate as the principal variables that it affects to these properties.

Key words: Attenuation of light in water; Secchi disk; Optical properties; Photic zone; Reservoir San Jacinto.

INTRODUCCIÓN

La cantidad y calidad de energía lumínica que penetra en la columna de agua de un embalse a partir de la radiación solar incidente en la superficie, sufre dos procesos básicos: una parte es dispersada y otra es absorbida. La disminución de esta energía radiante con la profundidad se denomina atenuación (Wetzel 1981, 2001).

La atenuación de la luz es expresada por un coeficiente de extinción de luz que puede ser medida con un cuantómetro (Li-cor) o calculado a partir de mediciones de transparencia con un disco de Sechi (SD).

La atenuación de luz en la columna de agua, es importante recordar que no todas las longitudes de ondas son utilizadas por los productores primarios. La radiación comprendida entre 400 nm y 700 nm

son utilizadas siendo la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Es decir que a medida que la luz penetra dentro de la columna de agua, la absorción va siendo mayor selectivamente en cada tramo para una longitud de onda, es decir un color al ojo humano; el primero el rojo. En las siguientes profundidades se produce una mayor extinción del naranja y amarillo; luego del verde y el violeta, y finalmente de los azules (Hoyos et Alonso, 2016). Este fenómeno ocurre puesto que un lago la luz solar no es monocromática, sino que está compuesta por muchas longitudes de onda. Y además penetra en distintos ángulos y a lo largo de una columna de agua con materiales disueltos y en suspensión.

La penetración, más o menos profunda de la radiación determina la zona fótica (profundidad la cual se observa solamente 1% de la radiación incidente). La vida fotoautótrofa es íntimamente ligada a la profundidad de la zona fótica (Zeu), que determina finalmente la eficiencia de transformación de la energía solar en energía química y por consecuencia la eficiencia metabólica del embalse.

Desde hace tiempo se han establecido relaciones entre la penetración de la luz en los sistemas acuáticos, su transparencia, y diversos criterios para establecer la calidad de las aguas (Carlson, 1977).

La transparencia de los sistemas acuáticos se mide habitualmente mediante la profundidad de observación del disco de Secchi (SD) para calcular el coeficiente de extinción vertical de la luz (K).

Sin embargo, la dispersión y absorción de la luz debida a los componentes en suspensión, absorción y disueltos pueden afectar de forma diferente a SD y K (Poole and Atkins, 1929; Holmes, 1970; French et al, 1982).

Los estudios realizados en el embalse San Jacinto, por Gutiérrez, Medrano & Universidad Católica Boliviana, (2015), concluyen que las aguas del Lago San Jacinto corresponden a la “Clase B”, por el contenido de los valores de Coliformes Fecales de DBO.

Según el Servicio Nacional de Hidrografía Naval, (1995, 2004, 2013) y CIAGUA-U.A.J.M.S, (2018), concluyen que la reducción del volumen de

almacenamiento de agua, se debe al incremento de sedimentos. Siendo las propiedades ópticas de las aguas del embalse, influenciadas por los valores de turbidez y materias en suspensión (Fernández, D. 2008; Laviolette, F. 2005).

El río Mena es catalogado como un afluente del embalse San Jacinto que aporta con mayor arrastre de sedimentos (Laviolette, F. 2005).

En consecuencia, la finalidad de este trabajo es el de estudiar las propiedades ópticas del embalse San Jacinto, que difieren de una época a otra (lluviosa-seca) en sus características físicas, químicas y tróficas, para: i) evaluar la diversidad óptica mediante medidas de SD; ii) estudiar las relaciones encontradas para evaluar al SD como predictor de la zona fótica (Zeu) iii) analizar las relaciones entre las propiedades ópticas y constituyentes del agua: Clorofila-a (Chl a), Turbidez y Materia en Suspensión (MES).

MATERIAL Y MÉTODOS

La Figura 1., muestra la localización del punto de muestreo estudiado y la Tabla 1., muestra algunas de sus características morfométricas del embalse San Jacinto.

Figura 1. Localización del punto de estudio



La selección del punto de muestreo (Pm-Dique), localizado en la parte más profunda del embalse a proximidad del dique se realizó para contar con valores de mejores condiciones tróficas, se muestreó durante los meses de enero a septiembre de 2018.

Tabla 1. Características morfométricas del embalse San Jacinto.

ítem	Datos
Año construcción	1988
Espejo de agua al nivel mínimo (Ha)	218
Espejo de agua al nivel normal de construcción (cota 1882,5 msnm) (Ha)	555
Espejo de agua al nivel máximo (cota 1884 msnm con sobreelevación) (Ha)	820
Profundidad máxima (m)	+23
Profundidad media (m)	8,9
Volumen muerto (Hm3)	13,5
Volumen útil (Hm im3)	41

Los valores de Turbidez, Clorofila (*Chl a*) y Materia en Suspensión, se obtuvieron en laboratorio considerando métodos estandarizados. La transparencia del agua se obtuvo con un disco de Secchi blanco y negro de 20 cm. de diámetro nos es más visible que corresponde aproximadamente al 15 %.

Existen variaciones interanuales y estacionales en la transmisión de la luz en las masas de agua (Octavio et al. 1977), calculan una relación entre el DS/K: 1,7 para aguas oceánicas (French et al. 1982). De acuerdo a Margalef, R. (1983) y Wetzel, C. (2001), aceptan utilizar un valor del factor de 1,7 en agua dulce y 1,45 en aguas saladas para calcular la extinción del 99% de

la radiación incidente o punto de compensación de la luz en las aguas dulces. Este punto de la columna de agua define como zona fótica la profundidad por debajo de la cual no es posible la fotosíntesis por falta de radiación fotosintéticamente activa (PAR):

Por lo tanto, se ha relacionado empíricamente que:

$$K_T = \frac{K}{DS} \quad (1)$$

Siendo K el coeficiente de extinción a una profundidad Z con un valor de 1,7 en el caso general validado por para 98 embalses por Rull et. al. (1974) y Margalef, R. (1983).

Dónde: K_T es el coeficiente de extinción Total. Admitiendo que el 1% de la radiación recibida en superficie es el límite para la producción primaria, la zona fótica (Z_{eu}) se estableció como:

$$Z_{eu} = \frac{\ln(0.01)}{K_T} \quad (2)$$

Siendo: Z_{eu} la zona fótica y K_T el coeficiente de extinción Total.

El análisis de la ubicación del punto de muestreo se realizó mediante ArcGIS (ESRI Maps versión 10.4).

RESULTADOS

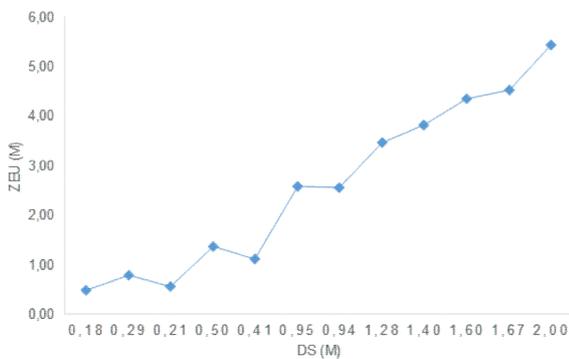
La transparencia de agua en el punto de muestreo varió con valores de SD comprendidos entre el mínimo de 0.18 m y el máximo de 2.00 m., siendo SD, la variable dependiente de la concentración de Clorofila-a, turbidez y Materia en Suspensión.

Tabla 2. Profundidad de observación del disco de Secchi (SD), coeficiente de extinción total de la luz (KT), zona fótica (Zeu), concentración de clorofila, turbidez y Materia en Suspensión.

Tiempo	SD (m)	KT (m-1)	Zeu (m)	Clorofila (µg.L-1)	Turbidez (UNT)	MES (mg.L-1)
15/01/2018	0,18	9,44	0,49	17,97	156,00	42,11
21/02/2018	0,29	5,86	0,78	9,24	154,00	35,24
07/03/2018	0,21	8,23	0,56	14,28	130,00	35,17
21/03/2018	0,50	3,40	1,35	6,33	108,00	34,00
04/04/2018	0,41	4,12	1,12	14,78	97,00	27,11
19/04/2018	0,95	1,79	2,57	4,58	77,00	26,37
03/05/2018	0,94	1,81	2,54	4,21	71,00	10,34
17/05/2018	1,28	1,33	3,46	2,38	55,00	9,15
31/05/2018	1,40	1,21	3,80	0,49	42,00	2,56
27/06/2018	1,60	1,06	4,33	0,55	38,00	2,61
22/07/2018	1,67	1,02	4,52	0,48	27,00	2,05
11/09/2018	2,00	0,85	5,41	0,50	22,00	1,35

La observación del disco de Secchi en relación con la zona fótica es correlacional, presentando valores mínimos de SD=0.18 m y Zeu= 0.49 y valores máximos de SD=2.00 m. y Zeu= 5.41 m. resultados que se muestran en la Figura 2.

Figura 2. Relación entre la profundidad de observación del disco de Secchi y la zona fótica.

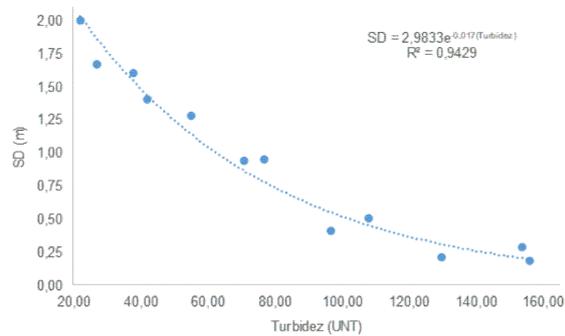


Las Figuras 3,4 y 5, muestran las relaciones entre SD como variable dependiente de la clorofila-a, de la turbidez y de la Materia en Suspensión. La turbidez seguida de la materia en suspensión muestra un efecto importante sobre SD. Mientras que la clorofila a muestra un efecto relativamente significativo sobre SD.

La relación entre la transparencia de agua y la Turbidez presenta la forma de una “J” invertida, alcanzando un valor mínimo de SD= 0.18 m. y un valor máximo de

SD=2.00 m. Mientras la turbidez alcanza un mínimo de 22 UNT y un valor máximo de 156 UNT en época de mayor precipitación.

Figura 3. Relación entre SD como variable dependiente de la Turbidez



La clorofila-a alcanza un mínimo de 0.50 µg·L-1 durante la época seca, y un máximo de 17.97 µg·L-1 en la época lluviosa.

Figura 4. Relación entre SD como variable dependiente de la Clorofila-a

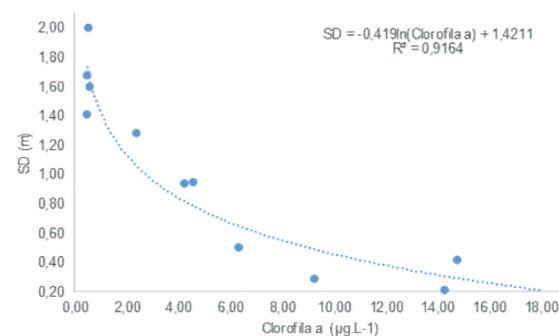
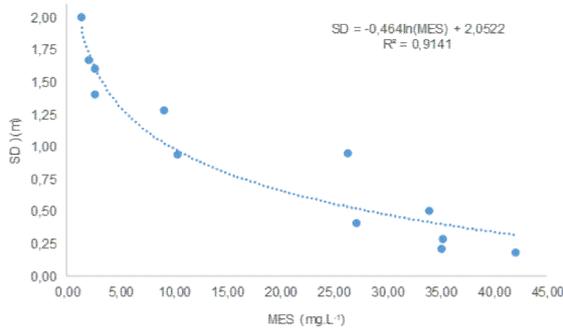
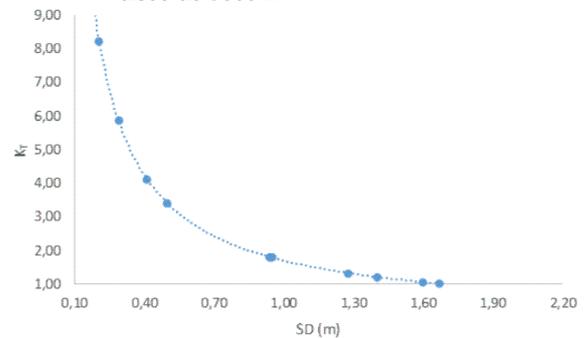


Figura 5. Relación entre SD como variable dependiente de la Materias en suspensión



El MES varía entre 1.35 mg·L⁻¹ como valor mínimo y un máximo de 42.11 mg·L⁻¹.

Figura 6.- Relación entre el coeficiente de extinción total de luz y la profundidad de observación del disco de Secchi.



La extinción vertical total de la luz difiere relativamente con valores de KT entre 0.85 m⁻¹ y 9.44 m⁻¹. En cuanto, la zona fótica muestra valores, desde 0.49 m hasta 5.41 m.

Tabla 3. Zonas fóticas (Zeu), del embalse San Jacinto respecto a la tirante de agua.

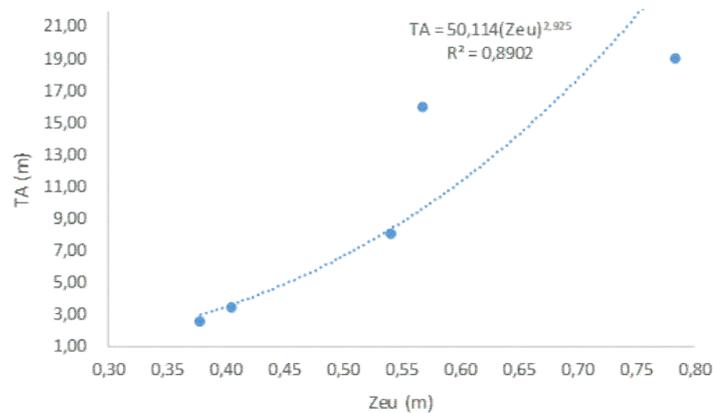
Punto de Muestreo	Coordenadas		Época Lluviosa		Época Seca	
	X	Y	TA* (m)	Zeu (m)	TA* (m)	Zeu (m)
P.Norte	317776	7610755	3,40	0,41	3,00	1,46
P.Oeste	318939	7609357	2,50	0,38	1,00	1,41
P.Centro	320053	7610325	16,00	0,57	13,00	4,92
P.Este	321080	7612049	8,00	0,54	5,00	4,00
P.Sud (Dique)	321247	7610258	19,00	0,78	18,00	5,41

TA* = Tirante de agua

El embalse San Jacinto, respecto a la tirante de agua, presenta profundidades que varían de un punto a otro, alcanzando valores mínimos de TA=2.50 m. y Zeu=0.38 m. en el Punto Oeste y valores máximos de TA=19 m. y Zeu=0.78 m. en el Punto Sud (Dique)

durante la época lluviosa y mientras en la época seca alcanzan valores mínimos de TA=1.00 m. y Zeu=1.41 m. en el Punto Oeste y valores máximos de TA=18 m. y Zeu=5.41 m. en el Punto Sud (Dique).

Figura 7. Relaciones entre TA y la zona fótica en época Lluviosa

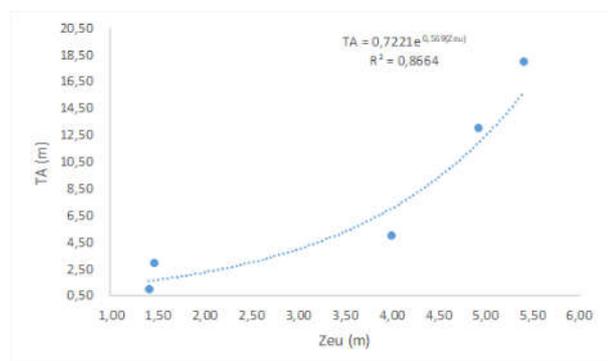


El tirante de agua en relación con la zona fótica, durante la época lluviosa, muestra una tendencia relativamente correlacional, presentando valores mínimos de TA=2.50 m. y Zeu= 0.38 m. y valores máximos de TA=19.00 m. y Zeu= 0.78 m.

La relación de tirante de agua con la zona fótica alcanza un mínimo de 0.38 m. y un valor máximo de 0.78 m. durante la época lluviosa, y un mínimo de 1.41 m. y un máximo de 5.41 m. durante la época seca.

El tirante de agua en época seca, alcanza valores mínimos de TA=1.00 m. y Zeu= 1.41 m. y valores máximos de TA=18.00 m. y Zeu= 5.41 m.

Figura 8. Relaciones entre TA y la zona fótica en época Seca



DISCUSIÓN

Transparencia del agua y zona fótica

El punto de estudio presenta rangos de profundidades de observación del disco de Secchi (entre 0.18 y 2.00 m) y coeficiente de extinción total de la luz (K_T) entre 0.85 y 9.44 m⁻¹). Según Sarmiento, H. (2006), pone de manifiesto que K_T y SD se ven afectados de forma diferente por los constituyentes de las aguas naturales que determinan sus propiedades ópticas y que pueden diferir entre embalse.

Más recientemente Koenings et al, (1991), manifiesta que incrementos en la turbidez bajan SD. En el caso del embalse San Jacinto el comportamiento de SD concuerda con lo expresado por Koenings (1991); los valores más bajos de SD corresponden a la época lluviosa y altos a época seca, como se aprecia en la figura 3.

La profundidad de la zona fótica (Zeu) del embalse, es una importante divisoria ecológica definida por el coeficiente de extinción de la luz K. Se utilizó las medidas de observación del disco de Secchi, son más simples, como predictoras de la Zeu, estableciendo relaciones entre medidas de SD y la Zeu calculada mediante K_T .

Variables determinantes de K_T y SD

Las variables estudiadas como determinantes de las propiedades ópticas del embalse San Jacinto: Chl a, turbidez y materias en suspensión, la turbidez, seguida de MES mostró una influencia clara sobre K_T y SD. En efecto, estos valores están de acuerdo con otros estudios que muestran a la turbidez como el principal factor que afecta a las propiedades ópticas. Sin embargo, estudios en embalses del noreste de China el principal factor que explica las variaciones en SD fue la turbidez y en algunos lagos donde SD dependa de la Clorofila (Ma et al., 2016).

Según Borowiak y Borowiak (2016), la turbidez fue la variable que mejor explicó la variación en SD. Las propiedades ópticas del embalse San Jacinto muestran una dependencia clara de la cantidad de material en suspensión, que determina la turbidez.

En el caso del embalse San Jacinto, el comportamiento de la Chl a concuerda con lo expresado por San Martin (2007). Sin embargo, la Chl a como indicador de la cantidad de fitoplancton es también un factor principal en la absorción de luz de los sistemas acuáticos. En efecto, en el presente estudio la concentración de Chl a tiene una moderada influencia sobre SD, presentando valores entre 0.55 y 17.97 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Existe trabajos en los que la influencia de la Chl a es significativa como, por ejemplo, en varios lagos polacos en los que la Chl a varió entre 1.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 174.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Dziesko y Zwoliński, 2015). Así, entre nuestros embalses es destacable los valores que presentan la Laguna de Alalay de 13 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 52 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Ayala, R.; Castro, M.; Bayro, V.; Acosta, F. et Rejas, D. 2006) y la Bahía de Aygachi del Lago Titicaca de 0.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 19.71 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Vega Luis, Paz Oscar 2002). Estos valores

que contrastan con el valor mucho mayor observado en este trabajo.

Relación SD-Zeu

Por la simplicidad de las medidas con el disco de Secchi, su uso como predictor de K y Zeu es muy considerado. En efecto, se ha relacionado empíricamente que $K_T = K/DS$, siendo $K = 1,7$ en el caso general validado por Rull et. al. (1974) y Margalef (1983). Este valor de K , fue considerado para el embalse San Jacinto por Sarmento, Laviolette, Descy et San Martin (2006). Siendo la relación entre la profundidad DS y el punto de compensación 1% un factor de 2,7 para extrapolar la potencia de la zona fótica del embalse. Por lo tanto, se recomienda redondear la multiplicación a un factor KT de 2,5; y este valor se debe utilizar en el seguimiento periódico del embalse San Jacinto u otros cuerpos de agua localizados en el Valle Central de Tarija.

Las relaciones encontradas de SD como predictor de la zona fótica (Zeu) calculada mediante K_T como una mejor estima de la zona fótica.

Relación entre TA- Zeu

La profundidad de la zona fótica, es muy variable en función a la presencia de constituyentes en las aguas, principalmente la turbidez. Sin embargo, según Laviolette F. (2005), pone de manifiesto que la profundidad de la zona fótica se ve afectada por la presencia de la turbidez, e influenciada por la profundidad del cuerpo agua, alcanzando valores inferiores de Zeu en sitios menos profundos y valores superiores de Zeu en sitios de mayor profundidad.

En consecuencia, en el presente estudio, el tirante de agua (TA), considerando 5 puntos de muestreo, presenta una influencia sobre Zeu, siendo la misma tendencia para la época lluviosa y seca, presentando valores mínimos de $TA=2.50$ m. y $Zeu=0.38$ m. en el Punto Oeste y valores máximos de $TA=19$ m. y $Zeu=0.78$ m. en el Punto Sud (Dique) durante la época lluviosa.

Estos valores son contrastados a lo manifestado por San Martin (2007), que la profundidad de las aguas de un lago y la turbidez contribuyen a la atenuación de la

luz en la columna de agua.

CONCLUSIONES.

La relación observada entre KT y SD permite proponer una mejor estimación de la zona fótica (Zeu) en el embalse San Jacinto.

De los componentes de las aguas naturales estudiados que afectan a la transparencia del agua y al coeficiente de extinción total de luz en la columna de agua: clorofila a , turbidez y Materia en suspensión. La turbidez seguida de la materia en suspensión, son las variables principales que afectan a las propiedades ópticas del embalse San Jacinto.

La tirante de agua (TA) a igual que la turbidez contribuye a la atenuación de la luz en la columna de agua.

La ecuación $KT*SD$ ($K=1,7$ y $KT=2,7$) permite usar a SD como estimador de la Zeu y además de realizar el seguimiento periódico del embalse San Jacinto u otros cuerpos de agua localizados en el Valle Central de Tarija.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, R.; Castro, M.; Bayro, V.; Acosta, F. et Rejas, D. (2006). Interacciones fitoplancton-zooplancton en una laguna eutrofizada del valle de Cochabamba (Bolivia). Ciencia y Tecnológica-ULRA, Vol. 2. N° 5. Junio, pp 43-50.
- Borowiak, D., Borowiak, M. (2016). Comparative studies of underwater light regimes in lakes of the East-Suwałki Lakeland. De Gruyter Open. Vol. 16, N° 4, pp 173–183
- Carlson, R. (1977). A trophic index for lakes. Limnology and Oceanography, Vol. 3, N° 22, pp 361-369.
- Descy, J.P., Higgins, H.W., Mackey, D.J., Hurley, J.P. & Frost, T.M. (2000). Pigment ratios and phytoplankton assessment in northern Wisconsin lakes. J. Phycol, Vol. 4, N° 36, pp 274-286.
- Descy, J.-P., Leporcq, B., Viroux, L., François, C. & Servais, P. (2002). Phytoplankton production,

- exudation and bacterial reassimilation in the river Meuse (Belgium). *J. Plankton Res.*, Vol. 2, N° 24, pp 161-166.
- Devlin, M.J.; Barry, J.; Mills, D.K.; Gowen, R.J.; Foden, J.; Sivyver, D.; Greenwood, N.; Pearce, D.; Tett, P. (2009). Estimating the diffuse attenuation coefficient from optically active constituents in UK marine waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 2, N° 82, pp 73-83.
 - Dzieszko, P., Zwoliński, Z. (2015). Trophic diversity of Poznań Lakeland lakes. *Limnological Review* Vol. 2, N° 15, pp 61-69.
 - Fernández D. (2008). Suivi du zooplancton dans le lac eutrophe de pré-barrage de Falemprise et mise en relation avec les blooms de cyanobactéries. (Tesis de Master). Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (Namur) et Liège - Belgique.
 - French, R.H., Cooper, J.J. y Vigg, S. (1982). Secchi disk relationships. *Water Resources Bulletin* Vol. 3, N° 18, pp 121-123.
 - Gutiérrez, V. y Medrano N. (2017). Análisis de la Calidad del Agua y Factores de Contaminación en el Lago San Jacinto de Tarija. *Ventana Científica*, Vol. 8, N° 13. Mayo, pp 13 – 19.
 - Jiménez-Muñoz Juan Carlos et al. (2015). Propiedades ópticas y térmicas del lago Titicaca a partir de imágenes Landsat-8 y MODIS. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil.
 - Koenings, J.P., Edmundson, J.A., (1991). Secchi disk and photometer estimates of light regimes in Alaskan lakes: effects of yellow color and turbidity. *Limnology and Oceanography*. Vol. 2, N° 36, pp 91–105.
 - Laviolette F. (2005). Rapport annuel: Investigaciones limnológicas y pesqueras en el embalse San Jacinto Tarija-Bolivia.
 - Ma, J., Song, K., Wen, Z., Zhao, Y., Shang, Y., Fang, C. and Du, J. (2016). Spatial Distribution of Diffuse Attenuation of Photosynthetic Active Radiation and Its Main Regulating Factors in Inland Waters of Northeast China. *Remote Sensing* Vol. 3, N° 8, pp 964.
 - Margalef R. (1980). *Limnología*, Editorial Omega. Barcelona, España.
 - Poole, H.H., Atkins, W. R. (1929). Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of Marine Biological Association U.K.* Vol. 3, N° 16, pp 297-394.
 - Vega Luis, Paz Oscar (2002). Condiciones Tróficas de la Bahía de Aygachi del Lago Titicaca. *Ecología Aplicada*, Vol. 2, N°1, pp 5-9.
 - Wetzel, R.G. (1981). *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona, España
 - Wetzel, R.G. (2001). *Limnology. Lake and River ecosystems*. Editorial Elsevier. San Diego.

Artículo Científico

Recibido: 5 de octubre de 2018

Aprobado: 30 de noviembre de 2018