

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

PROFUNDIDAD DE DISCO DE SECCHI Y SU RELACIÓN CON LA TURBIDEZ Y CLOROFILA “A” EN EL EMBALSE SAN JACINTO, TARIJA, BOLIVIA

* Deimar Fernández¹
Luis Muñoz²
Esperanza Flor Coronel³

SECCHI DISK DEPTH AND ITS RELATIONSHIP WITH TURBIDITY AND CHLOROPHYLL, “A” IN THE SAN JACINTO RESERVOIR, TARIJA, BOLIVIA

Recibido el 31 de julio de 2021. Aceptado el 31 de enero de 2022

Abstract

The depth of observation of the Secchi disk is an indicator of the water quality of the reservoirs, and it has been shown that it is possible to relate it to other environmental parameters to build prediction limits for new observations. The objective of this research was to establish the relationships between the depth of the Secchi disk with turbidity and Chlorophyll "a" to use them as a basis to estimate values of turbidity and chlorophyll concentration from mathematical models of simple regression adjustment. This work was carried out in the period 2018 and 2019. The results obtained from the estimated equations show that it is possible to estimate and build prediction limits for new Turbidity and Chlorophyll observations in the San Jacinto reservoir, showing an R^2 and a degree of effectiveness of the Turbidity and Z_{sd} relationship of 92.73% and an R^2 in the Chlorophyll and Z_{sd} ratio of 96.05%. Knowing the relationships between the environmental parameters of water is essential for space-time monitoring, which allows adequate management of the waters of the San Jacinto reservoir.

Keywords: water quality, simple regression models, water transparency.

¹ Departamento de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Estudiante de Doctorado en Ciencias, U.A.J.M.S., Bolivia.

² Empresa Dyma Asociados SRL, Especialista en Teledetección, Bolivia.

³ Laboratorio de Análisis de Agua COSAALT Ltda, Encargada del Área Físicoquímico de Agua Residual, Bolivia.

*Autor correspondiente: Departamento de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, U.A.J.M.S, Bolivia, Av. Víctor Paz Estensoro, Campus El Tejar, Tarija-Bolivia. Email: deimarfernandez@uajms.edu.bo

Resumen

La profundidad de observación del disco de Secchi es un indicador de la calidad del agua de los embalses, y ha sido demostrado que es posible relacionarla con otros parámetros ambientales para construir límites de predicción para nuevas observaciones. El objetivo de esta investigación fue establecer las relaciones entre la profundidad de disco de Secchi con la turbidez y Clorofila "a" para utilizarlas como base para estimar valores de turbidez y concentración de clorofila a partir de modelos matemáticos de ajuste de regresión simple. Este trabajo fue realizado en el periodo 2018 y 2019. Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones estimadas demuestran que es posible estimar y construir límites de predicción para nuevas observaciones de Turbidez y Clorofila en el embalse San Jacinto, mostrando un R^2 y un grado de efectividad de la relación Turbidez y Z_{sd} de 92.73% y un R^2 en la relación Clorofila y Z_{sd} de 96.05%. Conocer las relaciones entre los parámetros ambientales del agua, es fundamental para el seguimiento espacio- temporal, que permita una adecuada gestión de las aguas del embalse San Jacinto.

Palabras clave: calidad del agua, modelos regresión simple, transparencia del agua.

Introducción

Los ecosistemas acuáticos, representan una fuente valiosa en recursos naturales como la producción de fitoplancton, zooplancton que son la base de la cadena alimentaria, además permiten el desarrollo de diversas actividades económicas (Fernández 2018).

El desconocimiento de los procesos fisicoquímico y biológicos están provocando la degradación de estos ecosistemas. Para comprender la función ecosistémica de los organismos acuáticos y su interacción con su medio, es importante entender los factores físicos y químicos elementales que inciden en estos ambientes (Lavolette 2005).

Los factores físicos (temperatura, sólidos, conductividad, características organolépticas) y químicos (pH, nitrógeno, fósforo, potasio, sulfatos, sulfuros entre otros) aunque relacionados operan independientemente. Esto complica su entendimiento y hace necesario definir las escalas temporales y espaciales que éstos abarcan (Quiroz, H., Mondragón, O., Molina, I., García, J., & Díaz, M., 2008).

De acuerdo a Díaz, M., *et al.*, (2005), señala que, para conocer la dinámica de los parámetros físicos y químicos en la columna de agua, se realizaron algunos estudios de análisis del comportamiento espacial, temporal y sus variaciones en los ecosistemas acuáticos. La zona que abarca la superficie de agua y su profundidad, se desarrollan reacciones de liberación de nutrientes influenciados por ciertos parámetros físicos; el comprender los procesos que se generan en esta zona, por medio del análisis de los parámetros, permite establecer algunas relaciones de productividad y aprovechamiento de los nutrientes suspendidos y sedimentados del sistema, que resultan esenciales para comprender el funcionamiento ecológico de un ambiente acuático. (Wetzel, 1975; Margalef, 1983; Coler & Rockwood, 1989). Dentro de los

indicadores a tomar en cuenta, la temperatura, el potencial redox (Eh), el oxígeno disuelto (OD) y el pH, resultan de gran interés porque se incluyen dentro de los factores que regulan el fenómeno altamente complejo de liberación de nutrientes y materia orgánica.

La extinción de la luz en ambientes acuáticos viene determinada por la cantidad de partículas en suspensión, los pigmentos disueltos y las propias características del agua (Verduin, 1984). La concentración de clorofila “a” es menos constante tanto espacial como temporalmente, siendo un factor fundamental en la atenuación de la luz en las aguas naturales.

La penetración de luz en la columna de agua de un embalse depende principalmente de la concentración del fitoplancton y de las materias en suspensión (Fraga, 1979). En limnología, se utiliza el valor de la transparencia, medida con el disco de Secchi (SD), como una estima de la extinción de la luz en el agua, que se ha intentado relacionar con la concentración de clorofila en el medio acuático y ha sido utilizado como indicador de la calidad del agua (Shapiro *et. al.*, 1975).

La presente investigación tiene por objetivo establecer las relaciones entre la profundidad de disco de Secchi con la turbidez y Clorofila “a” para utilizarlas como base para estimar valores de turbidez y concentración de clorofila a partir de modelos de ajuste de regresión simple en el periodo 2018 y 2019.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Figura 1., muestra la localización de las estaciones de muestreos estudiados y la Tabla 1., muestra algunas de sus características morfométricas del embalse San Jacinto, área de estudio, localizado en la cuenca Tolomosa, municipio de Tarija, provincia Cercado, departamento de Tarija, Bolivia (21°32'00" y 21°48'00" de Latitud Sur y 64°13'00" y 65°00'00" de Longitud Oeste).

Tabla 1. Características morfométricas del embalse San Jacinto.

Características	Detalle
Tipo de presa:	Presa de hormigón armado doble curvatura
Area de la cuenca:	437 km ² .
Altura de la presa:	46.5 m.
Longitud de cada vertedero:	10 m.
Longitud de coronamiento:	100 m.
Cota de vertedero con presa inflable:	1884 m.s.n.m.
Espejo de agua (1884 m.s.n.m.):	602 has
Cota vertedero de cemento:	1882.50 m.s.n.m.
Capacidad:	7.5 kw/hr
Altura de carga:	50 m.

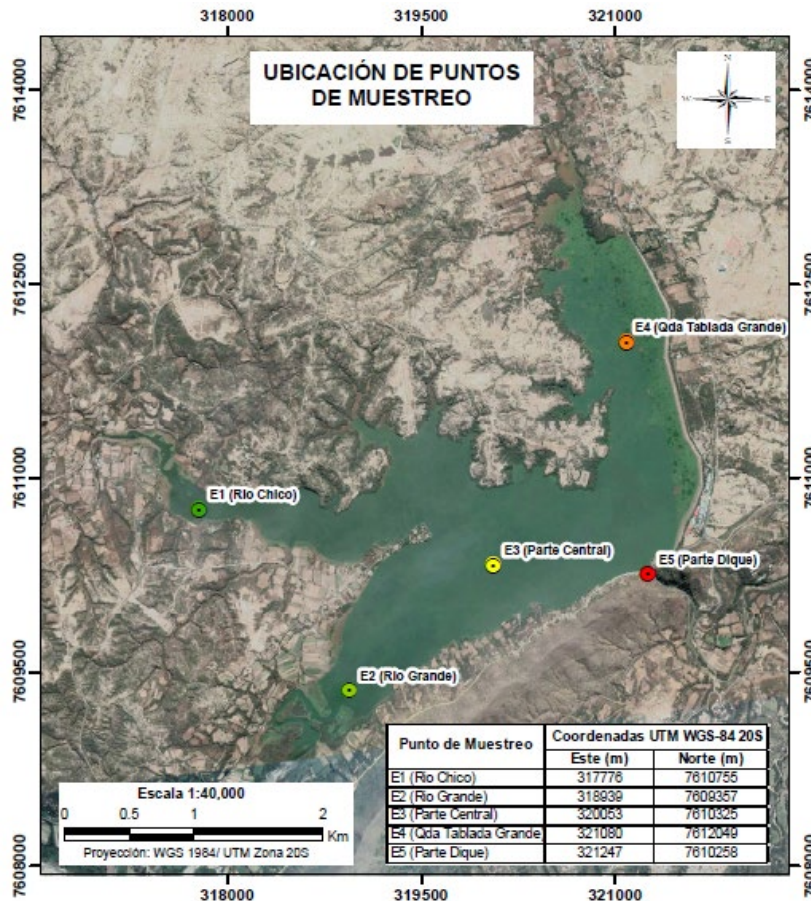


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo.

El embalse registra una estratificación, con una termoclina a los 4 - 6 m. en la columna de agua, clasificando preliminarmente al embalse como polimíctico caliente (Fernández, 2018).

Muestreo de campo

Se planteó un muestreo discrecional que estableció 5 estaciones de muestreo, ubicadas en: estación uno (E1), ubicado después de la desembocadura del Rio Chico, en la parte norte del embalse. La estación dos (E2) en la parte oeste, posterior a la desembocadura del Rio Grande. La estación tres (E3), localizada en la parte central del embalse. La estación cuatro (E4), ubicada en la parte este, después de la desembocadura de la quebrada Tablada Grande. La última estación (E5), situado en la parte sur del embalse, cerca del dique de contención del embalse (Figura 1). Este trabajo comprendió muestreos durante el periodo seco (mayo a septiembre de 2018) y periodo lluvioso (octubre de 2018 a marzo de 2019) con toma de muestras en campo a una profundidad entre 0 y 1.0 m.

Se tomaron 14 muestras en cada punto de muestreo para la medición de la concentración de Chl-*a* y turbidez se realizó en el estrato superficial, entre 0-1.0 m de profundidad, con botella Van Dorn de 3.0 litros, que es una clase de cilindro transparente abierto a las 2 extremidades, que se suspende a un cable con el fin de haber descendido a la profundidad deseada. Se libera a un mecanismo disparado mediante un “mensajero” que se deslizan a lo largo de un cable, entonces que encarga el cierre simultáneo de los dos tapones y que encarcela por lo tanto el volumen de agua. El contenido de la botella se transfiere a continuación en frascos identificados.

Los valores de turbidez, se obtuvieron en laboratorio considerando métodos estandarizados, mientras que los valores de clorofila-*a*, se obtuvieron con el equipo portátil Aqua Fluor®, (fluorómetro). Los valores de Z_{sd} se obtuvieron in situ, se sumergió el disco de Secchi desde una lancha y la profundidad a la que el disco desaparece de la vista, es la lectura de la profundidad de Disco Secchi. La transparencia del agua es conocida como la zona fótica (Laviolette, 2005).

Modelos de ajuste

La relación Turbidez- Z_{sd} ; Clorofila *a*- Z_{sd} y Turbidez - Chl *a*, se realizó mediante un ajuste empírico de modelos de regresión simple, siendo la variable independiente la profundidad de Disco Secchi (Z_{sd}) en relación a la turbidez y Clorofila *a*, consideradas como variables dependientes.

El modelo fue ajustado en el software Statgraphics Centurion XVI, empleando 70 muestras, con lo cual se obtuvieron las ecuaciones 1 y 2.

Modelo ajustado relación Turbidez y Z_{sd}

Turbidez:

$$\text{Turbidez} = \sqrt{-1694.74 + 5172.07/Z_{sd}}$$

Ecuación (1)

Modelo ajustado relación Clorofila “*a*” y Z_{sd}

Clorofila:

$$\text{Chl} = \sqrt{-38.1824 + 62.4452/Z_{sd}}$$

Ecuación (2)

Donde:

Z_{SD} : Transparencia

Resultados y discusión

Información in situ

La profundidad de disco de Secchi varió con valores de Z_{sd} comprendidos entre el mínimo de 0.14 m y el máximo de 2.00 m., siendo Z_{SD} , la variable independiente de la turbidez y concentración de Clorofila-*a*.

La relación entre profundidad de observación del disco de Secchi y la Turbidez presenta la forma de una “J” invertida, alcanzando un valor mínimo de $Z_{sd}=0.14$ m. y un valor máximo de $Z_{sd}=2.00$ m., mientras la turbidez alcanza un mínimo de 16.85 UNT y un valor máximo de 174.00 UNT en época de mayor precipitación, como se expresa en la Figura 2.

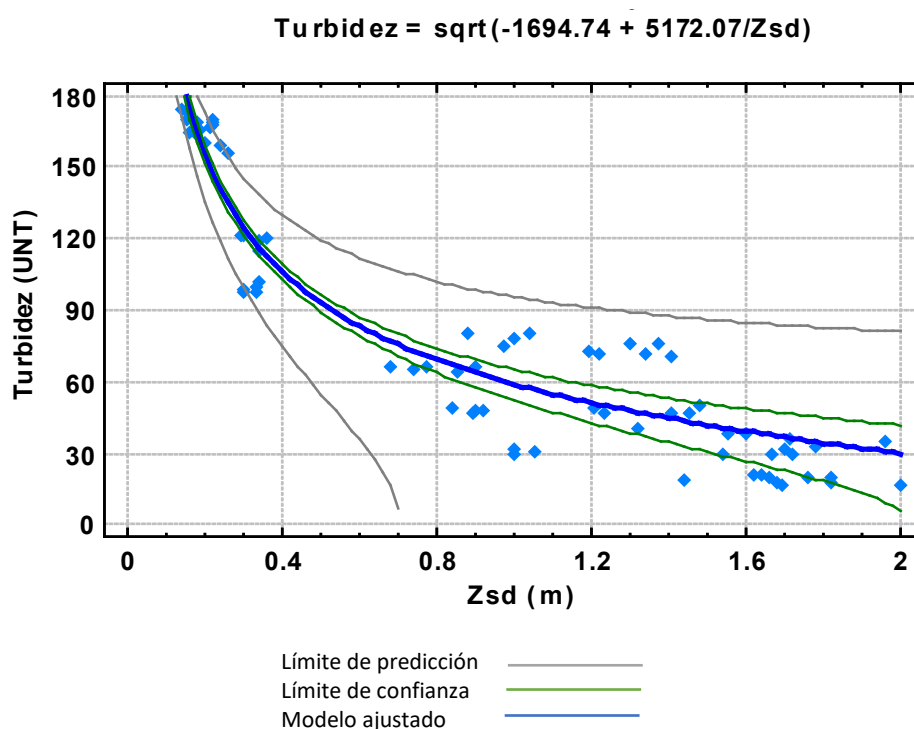


Figura 2. Relación entre la profundidad de observación del disco de Secchi y la Turbidez.

Según Koenings *et al.*, (1991), manifiesta que el incremento de valores en la turbidez disminuye la transparencia de agua. En el caso del embalse San Jacinto el comportamiento de Z_{sd} concuerda con lo expresado por Koenings *et al.*, (1991); los valores mínimos de Z_{sd} corresponden a la época lluviosa y altos a época seca. Estos valores están relacionados con otras investigaciones que muestran a la turbidez como el principal factor que afecta la profundidad de visibilidad del disco de Secchi, como los estudios realizados en embalses del noreste de China el principal factor que explica las variaciones en Z_{sd} fue la turbidez (Ma *et al.*, 2016). Borowiak, D., Borowiak, M. (2016), señalan que la turbidez fue la variable que mejor explicó la variación en Z_{sd} .

La clorofila-a alcanza un mínimo de $0.68 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ durante la época seca, y un máximo de $19.89 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en la época lluviosa.

El comportamiento de la Chl-a concuerda con lo expresado por San Martín (2007), a menor observación de la profundidad Secchi, los valores de clorofila son elevados. Se deduce que la baja transparencia del agua no estaría dada por una alta concentración de la turbidez, sino por altas cantidades concentración de fitoplancton o algas.

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 correlación con el Z_{sd} .

Existen 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 $174.4 \mu\text{g L}^{-1}$ (Dzieszko 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., 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 L., Paz O. 2002). Estos valores que contrastan con el valor mayor.

Modelos de regresión Simple

Los resultados y ecuaciones de los modelos de regresión simple son presentados en la Tabla 2., para la turbidez y Clorofila "a".

Tabla 2. Modelos de regresión simple.

Ecuación del modelo ajustado	R ²	R ² ajustado	Error estándar del estimado	Error absoluto medio	Estadístico Durbin-Watson	Valor-P
Turbidez = $\sqrt{-1694.74 + 5172.07/Z_{sd}}$	92.73%	92.62%	2808.21	2076.54	0.605955 (P=0.0000)	< 0.05
Clorofila = $\sqrt{-38.1824 + 62.4452/Z_{sd}}$	96.05%	95.99%	24.5431	14.6722	2.2262 (P=0.8056)	< 0.05

Los valores nos permiten cuantificar el error presente en los modelos propuestos y analizar como varían en función de la media. Asimismo, son indicadores de la calidad de las medidas.

La Turbidez y Z_{sd} , muestran una relación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95.0%. El R² indica que el modelo ajustado explica 92.73% de la variabilidad en Turbidez. El coeficiente de correlación es igual a 0.962, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 2808.21. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

En cuanto a la Chl-a y Z_{sd} , presentan una relación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95.0%, como se muestra en la Figura 3. El R^2 indica que el modelo ajustado explica 96.05% de la variabilidad en la clorofila. El coeficiente de correlación es igual a 0.9599, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 24.5431. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

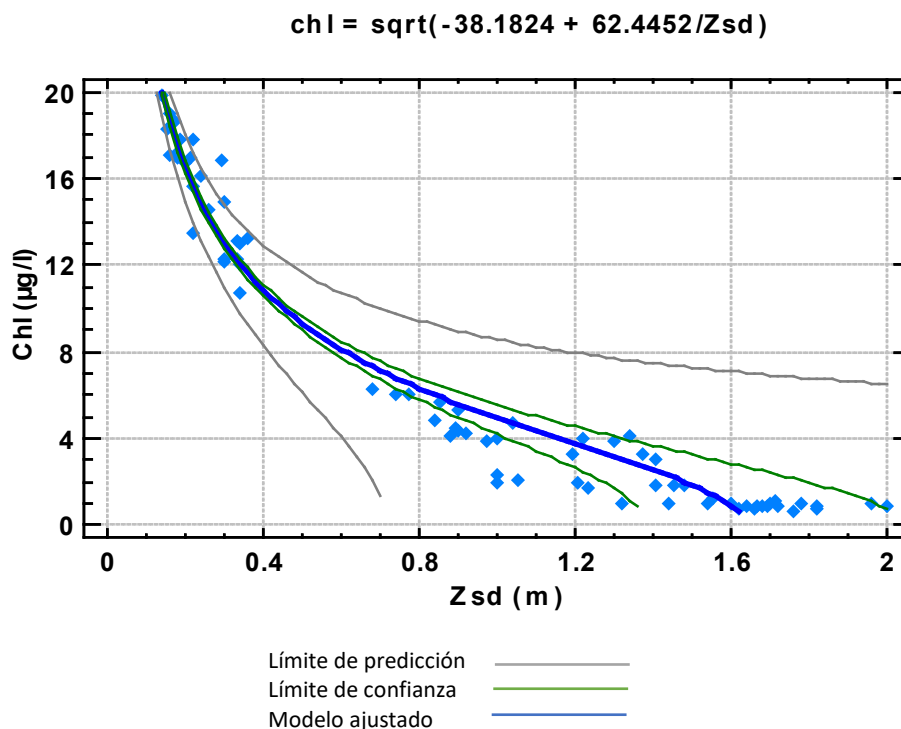


Figura 3. Relación entre Z_{sd} como variable independiente de la Clorofila- a .

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones estimadas para este estudio, estos valores que pueden usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones de Turbidez y Clorofila.

El R^2 de la relación Turbidez y Z_{sd} es de 92.73%. Los resultados muestran ecuaciones positivas que permiten estimar valores de turbidez. Se observa que la profundidad de observación del disco de Secchi, se ve influenciado por las altas concentraciones de materias en suspensión.

El R^2 de la relación Clorofila y Z_{sd} es de 96.05%. Los resultados presentan ecuaciones matemáticas positivas que permiten estimar valores de Clorofila. La baja transparencia del agua estaría dada por una alta concentración de fitoplancton.

Conocer las relaciones entre los parámetros ambientales del agua, es fundamental para el seguimiento espacio-temporal, que permita una adecuada gestión de las aguas del embalse San Jacinto.

Referencias bibliográficas

- Ayala, R., Castro, M., Bayro, V., Acosta, F., Rojas, D. (2006) Interacciones fitoplancton-zooplancton en una laguna eutrofizada del valle de Cochabamba (Bolivia), *Ciencia y Tecnológica-ULRA*, **2**(5), 43-50.
- Borowiak, D., Borowiak, M. (2016) Comparative studies of underwater light regimes in lakes of the East-Suwałki Lakeland. *Limnological Review*, **16**(4), 173-183.
- Coler, R.A., Rockwood, J.P. (1989) Water Pollution Biology: A Laboratory/Field Handbook, *Journal of Environmental Quality*, **19**(4), 703-784. doi.org/10.2134/jeq1990.00472425001900040027x
- Díaz, M., Elizalde, E., Quiróz, H., García, J. & Molina, I. (2005) Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México, *Acta Universitaria*, **15**(2), 57-63.
- Dzieszko, P., Zwoliński, Z. (2015). Trophic diversity of Poznań Lakeland lakes, *Limnological Review*, **2**(15), 61-69.
- Fernández, D., (2018) Influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre las propiedades ópticas de las aguas del Embalse San Jacinto, *SEC Ciencia*, **1**(2), 21-28.
- Fraga, F., (1979) Descenso de la productividad en la ría de Vigo a causa de la atenuación de la luz por la arcilla en suspensión, *Investigación Pesquera*, **43**(2), 529-532.
- 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*, **36**(1), 91-105.
- Ma, J., Song, K., Wen, Z., Zhao, Y., Shang, Y., Fang, C., 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*, **8**(11), 964. doi.org/10.3390/rs8110964.
- Margalef, R. (1983) *Limnología, Editorial Omega*. Barcelona, España, 198 pp.
- PMSJ, Proyecto Múltiple San Jacinto Laviolette (2005) *Investigaciones limnológicas y pesqueras en el embalse San Jacinto Tarija – Bolivia*, Gobernación del departamento de Tarija, Reporte PMSJ-002/2005, 50 pp.
- Quiroz, H., Mondragón, O., Molina, I., García, J., & Díaz, M., (2008). Dinámica espacio-temporal de oxígeno temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua. *Acta Universitaria*, **18**(1), 57-63.
- San Martin, I. (2007) *Limnologie, Phytoplankton et Production Primaire du Lac San Jacinto, Bolivie*. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de licencié en Sciences biologiques, Facultes Universitaires Notre-Dame de La Paix – Belgique, 38 pp.
- Shapiro, J., Lundquist, J.B., Carlson, R.E. (1975). Involving the public in Limnology. An approach to communication. *Verh. Internat. Verein. Limnol*, **10**(19), 866-874. doi:10.1080/03680770.1974.11896133
- Vega, L., Paz, O. (2002) Condiciones Tróficas de la Bahía de Aygachi del Lago Titicaca, *Ecología Aplicada*, **2**(1), 5-9.
- Verduin, A. (1984) Sobre la taxonomía de algunas especies marinas europeas recientes del género *Cingula* sl (Gastropoda: Prosobranchia). *Basteria*. **48**(3), 37-87.
- Wetzel, R.G. (1975) *Limnología. Editorial Omega*. Barcelona, España, 96 pp.