

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS RELATIVOS A LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN LA LAGUNA DE BUSTILLOS, CHIHUAHUA, MÉXICO.

Edgar Iván FIGUEROAMARTÍNEZ^{*a}, Obed Alejandro MÁRQUEZBARRAZA^a, Mónica QUIÑONEZGONZÁLEZ^a, Luis Carlos ALATORRE CEJUDO^b

^{*a}Estudiante de la Lic. En Geoinformática, División Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en Cd. Cuauhtémoc, Km 3 carretera a Anáhuac, CP: 31600, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México, E-mails: ^{*}al128342@alumnos.uacj.mx, al131001@alumnos.uacj.mx,

al130976@alumnos.uacj.mx.

^bProfesor investigador de tiempo completo, Lic. Geoinformática-UACJ, email: luis.alatorre@uacj.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta una aproximación sobre el estado ambiental de Laguna de Bustillos, Cuauhtémoc, Chihuahua, México durante el 2014. Para ello se ha utilizado técnicas de teledetección para la estimación de algunos parámetros relativos a la calidad del agua. Estos parámetros fueron: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Índice de Estado Trófico de Clorofila, Concentración de Clorofila, Turbidez y Temperatura. Para el cálculo se utilizaron 2 imágenes satelitales Landsat 8, de los meses febrero y diciembre del 2014. Al calcular los índices relativos a la evaluación de calidad, cada uno de los parámetros utilizados permitieron llegar a la conclusión que la Laguna de Bustillos se encontró en un estado "Aceptable" durante ese lapso, en cuanto a calidad de agua se refiere.

Palabras Clave: Calidad, Agua, Parámetros, Percepción Remota, Laguna de Bustillos.

ABSTRACT

This paper presents an approach to the environmental condition of Bustillos Lake, Cuauhtémoc, Chihuahua, México during the 2014. This has been used remote sensing techniques for the estimation of some parameters related to the quality of the water. These parameters were: Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, trophic state index of chlorophyll, chlorophyll concentration, turbidity and temperature. For the calculation were used Landsat 2 satellite images 8, of the months of February and December of 2014. To calculate the indices for the assessment of quality, each one of the parameters used allowed the conclusion that the lagoon of Bustillos was found in a state "acceptable" during that period, in terms of water quality concerns.

KeyWords: Quality, Water, Parameters, Remote Sensing, Bustillos Lake

1. INTRODUCCIÓN

“La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana.” Es importante mencionar que “la baja calidad del agua afecta directamente sobre la cantidad de agua disponible. Por ejemplo, el agua contaminada que no puede utilizarse para consumo humano, para la industria o la agricultura reduce de forma efectiva la cantidad de agua disponible en una determinada zona o región” según el Departamento de asuntos económicos y sociales de naciones unidas (ONU-DAESI), 2013.

Existen numerosos trabajos que abordan el análisis de la calidad del agua, en todos ellos se proponen distintos métodos en los que se consideran algunos de los parámetros necesarios para establecer la calidad del agua según sus propiedades físico-químicas. Estos parámetros se pueden determinar mediante métodos indirectos de percepción remota, análisis de laboratorio, o bien, datos conseguidos a través del análisis *in situ*.

La Laguna de Bustillos en Chihuahua, México es el principal y único recurso hídrico superficial del municipio de Cuauhtémoc, por esto es de suma importancia conocer la situación que se enfrenta en cuanto a estándares de calidad del agua. Por ello, el objetivo principal de este estudio es obtener por medio de métodos indirectos y por medio de sensoria remota parámetros que nos ayuden a determinar la calidad del agua. Las variables a determinar son: i) Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD); ii) Demanda Química de Oxígeno (COD); iii) Índice de Estado Trófico de Clorofila (IET_{Chl-a}); iv) Concentración de Clorofila (Chl-a); v) Turbidez (T); vi) Temperatura (TEMP).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La Laguna de Bustillos es el cuerpo de agua que recibe todos los afluentes de la cuenca hidrográfica de Cuauhtémoc, en Chihuahua, México. La Laguna de Bustillos se encuentra contenida entre las coordenadas 28° 37' 48" y 28° 29' 24" de latitud norte así como 106° 52'

12" y 106° 40' 12" de longitud oeste, las inmediaciones tienen una elevación promedio de 1960 msnm (Figura 1). Las coberturas y usos de suelo predominantes en las inmediaciones son agrícola, pastizales, matorrales y vegetación dispersa, además de algunos asentamientos humanos.

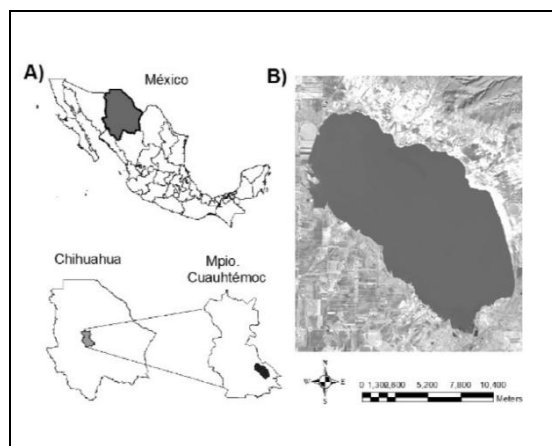


Figura. 1 Localización general área de estudio.

2.2 Obtención y depuración de la base de datos

Se realizó la descarga de 2 imágenes correspondientes al Path/Row 33/40 el cual corresponde a nuestra zona de estudio, estas imágenes correspondientes a los meses de febrero y diciembre del año 2014 del satélite Landsat 8 OLI en la página de [GLOVIS the USGS Global Visualization Viewer](http://glovis.usgs.gov). (USGS)

2.3 Corrección atmosférica de las imágenes

Debido a que las imágenes tienen errores atmosféricos y son de diferentes fechas se ha utilizado el módulo ATMOSC (Atmospheric Correction) de IDRISI, en su versión SELVA 17.0, y se ha aplicado el modelo de Reflectancia Aparente, para ello los datos requeridos para cada una de las bandas se han tomado de los metadatos que acompañan a cada una de las escenas (Bravo, 2013).

2.4 Recorte de las imágenes originales

Una vez corregidas atmosféricamente cada una de las imágenes se procedió a recortar el área de estudio que

comprende única y exclusivamente la Laguna de Bustillos.

2.5 Determinación de los parámetros de calidad del agua

Los parámetros utilizados en esta investigación son los siguientes:

i) La Demanda Bioquímica (1) y Química(2) de Oxígeno; estos parámetros describen en parte la categoría química de los estimadores de calidad del agua. Los cuales se desarrollaron por Yunpeng Wang et al., (2003):

$$DBO = 1.79 - 0.789(B1) + 52.36(B2) - 3.28(B3) \quad (1)$$

Dónde:

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
B1: Banda del azul
B2: Banda del verde
B3: Banda del rojo

$$DQO = 2.76 - 17.27(B1) + 72.15(B2) - 12.11(B3) \quad (2)$$

Dónde:

DQO: Demanda Química de Oxígeno
B1: Banda del azul
B2: Banda del verde
B3: Banda del rojo

ii) El estado trófico de la clorofila es determinado por la ecuación 3 y desarrollada por Ramos (2014)

$$IET_{Chl-a} = 43.46 + 142.2(B3) + 104.54 \left(\frac{B5}{B3} \right) - 418.55(B5) \quad (3)$$

Dónde:

IET_{Chl-a} : Índice de Estado Trófico de clorofila
B3: Banda del rojo
B5: Banda del infrarrojo medio

iii) “El contenido de Clorofila representa uno de los parámetros más importantes en el estudio de las características y el estado del agua” (Desortová, 2007), citado por Estruch Benito (2010). Esto porque la concentración de clorofila se relaciona significativamente con la producción de

nutrientes y vegetación, es decir, con el contenido de biomasa en el agua.

$$Chl - a = -1.69996 + 990.717(B1 * B1) - 4655.07(B1 * B4) + 6363.27(B4 * B4) \quad (4)$$

Dónde:

Chl-a: Concentración de clorofila (a)
B1: Banda del azul
B4: Banda del infrarrojo cercano

iv) “La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos” (Arias, 2014)

$$T = 6.1437(B2) - 2.702(B3) + 5.1736(B4) - 5.8274(B5) \quad (5)$$

Dónde:

T: Turbidez
B2: Banda del verde
B3: Banda del rojo
B4: Banda del infrarrojo cercano
B5: Banda del infrarrojo medio

v) Para estimar la temperatura en grados centígrados es necesario como primer paso calcular $TEMP_{RADIANCE}$ (6) y utilizar este coeficiente en la ecuación (7) para obtener la temperatura en grados kelvin, es posible realizar una conversión a grados centígrados, utilizando la fórmula:

$$TEMP \text{ (Centígrados)} = TEMP \text{ (Kelvin)} - 273.15$$

$$TEMP_{RADIANCE} = M_L Q_{CAL} + A_L \quad (6)$$

Dónde:

$TEMP_{RADIANCE}$: Temperatura expresada en valores de radianza
 M_L : Factor de re-escalamiento multiplicativo, de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda)
 Q_{CAL} : Valor de los píxeles (DN)
 A_L : Factor aditivo de re-escalamiento, de los metadatos (RADIANCE_ADD_BAND_x,

donde x es el número de la banda)

$$TEMP_{KELVIN} = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{TEMP_{RADIANCE} + 1}\right)} \quad (7)$$

Dónde:

$TEMP_{KELVIN}$: Temperatura expresada en grados kelvin

K2: Constante de conversión térmica, de los metadatos (K2_CONSTANT_BAND_x, donde x es el número de la banda térmica)

K1: Constante de conversión térmica, de los metadatos (K1_CONSTANT_BAND_x, donde x es el número de la banda térmica)

$TEMP_{RADIANCE}$: Temperatura expresada en valores de radianza

Este procedimiento fue desarrollado por (USGS, 2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuanta más materia orgánica exista en un cuerpo de agua, más oxígeno necesitarán sus microorganismos para oxidarla (degradarla). Según la escala de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ((2013) la demanda biológica de oxígeno se encuentra en un nivel aceptable (Figura 2 y Tabla 1).

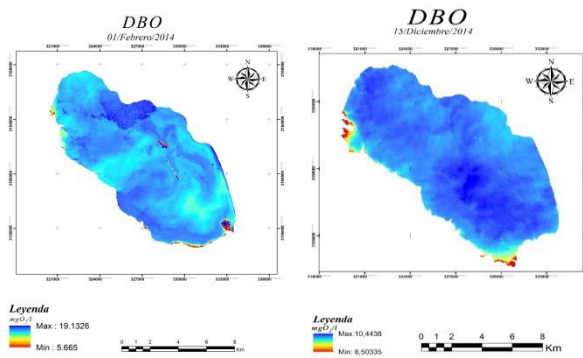


Figura 2. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Tabla 1. Valores utilizados para determinar el grado de calidad del agua de acuerdo a la DBO.

| Criterio | Clasificación |
|----------------|---|
| DBO ≤ 3 | Excelente (No contaminada) |
| 3 < DBO ≤ 6 | Buena calidad (Bajo contenido de materia orgánica biodegradable) |
| 6 < DBO ≤ 30 | Aceptable (Con indicio de contaminación) |
| 30 < DBO ≤ 120 | Contaminada (Con aguas residuales) |

| | |
|-----------|---|
| DBO > 120 | Fuertemente contaminada (Severo impacto de aguas residuales) |
|-----------|---|

El parámetro DQO representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua, según la escala de la CONAGUA (2013) obtuvimos una buena calidad. (Figura 3 y Tabla 2).

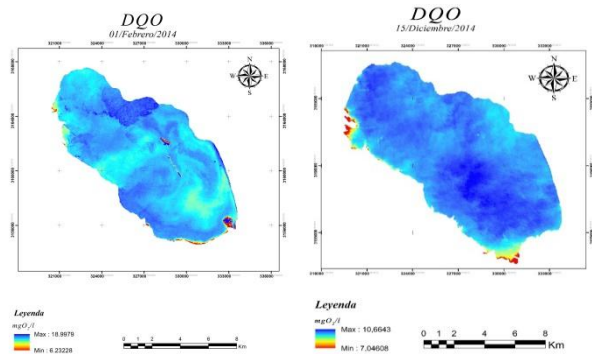


Figura 3. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para obtener DBO y DQO se utilizaron los índices de (Wang, Y., et al., 2003) y aunque las condiciones climáticas no son del todo semejantes con el área de estudio debido a la altura, aun así es posible utilizar el modelo ya que el método que los autores desarrollan son implementados en cuencas hidrológicas con características semejantes a la Laguna de Bustillos.

Tabla 2. Valores utilizados para determinar el grado de calidad del agua de acuerdo a la DQO.

| Criterio | Clasificación |
|----------------|---|
| DQO ≤ 10 | Excelente (No contaminada) |
| 10 < DQO ≤ 20 | Buena calidad (Bajo contenido de materia orgánica biodegradable) |
| 20 < DQO ≤ 40 | Aceptable (Con indicio de contaminación) |
| 40 < DQO ≤ 200 | Contaminada (Con aguas residuales) |
| DQO > 200 | Fuertemente contaminada (Severo impacto de aguas residuales) |

Los mapas muestran una alta concentración de clorofila e índice de estado trófico distribuidas casi en su totalidad, esto nos indica que en la imagen de febrero la laguna se encuentra completamente eutrofizada, para el mes de diciembre la concentración de clorofila disminuyó drásticamente y el índice de estado trófico incrementó solo en la

parte central de la laguna, al igual que en febrero la laguna se encuentra eutrofizada de acuerdo a el método de clasificación (Ramos, 2014)(Figura 4, Figura 5 y Tabla 3).

imagen de diciembre donde podemos apreciarla en zonas cercanas al perímetro de la laguna al contrario que febrero en donde el agua es turbia casi en su totalidad. (Figura 6)

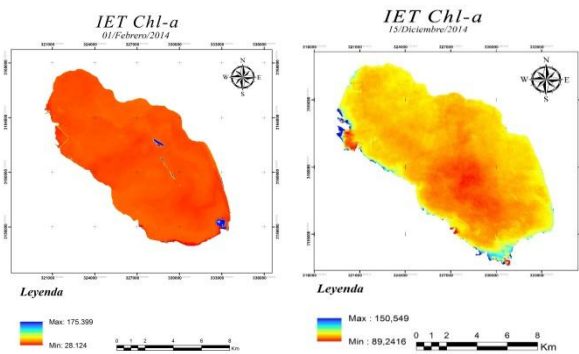


Figura 4. Determinación del Índice de Estado Trófico (IET Chl- a)

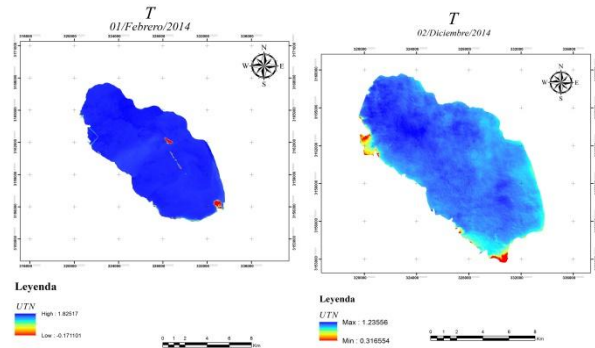


Figura 6. Determinación de la Turbidez

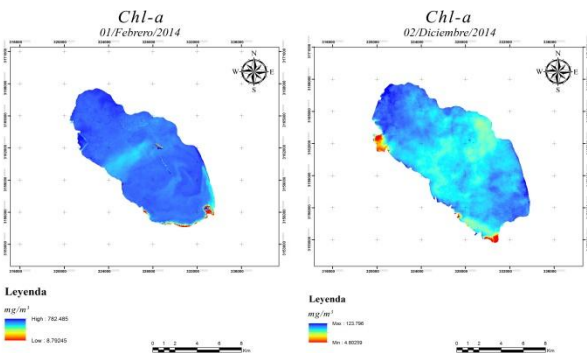


Figura 5. Determinación de la Concentración de Clorofila

Tabla 3. Valores utilizados para determinar el grado de calidad del agua de acuerdo al IET Chl-a

| Estado trófico | Índice de acuerdo a Chl-a |
|---|---------------------------|
| Oligotrófico (Bajo contenido de nutrientes y producción mínima de vegetación) | $IET_{Chl-a} \leq 4$ |
| Mesotrófico (Intermedio entre oligotrófico y eutrófico) | $4 < IET_{Chl-a} \leq 10$ |
| Eutrófico (Alto contenido de nutrientes y gran producción de vegetación) | $10 < IET_{Chl-a}$ |

Los valores de turbidez son elevados, tanto en febrero como en diciembre, la concentración de clorofila puede explicar el nivel de turbidez. Ya que la cantidad de materia orgánica provoca en el cuerpo de agua una transparencia deficiente. Esto reflejado en los mapas. La menor turbidez se encuentra en la

La temperatura es uno de los factores más importantes en la calidad del agua ya que influye directamente a la química del agua y sus funciones biológicas (solubilidad del oxígeno, la velocidad de la fotosíntesis en plantas, velocidad metabólica de los organismos, tensión superficial, entre otros). Podemos observar que la temperatura máxima en febrero alcanzó los 19°C mientras que durante diciembre llegó a los 11°C. (Figura 7)

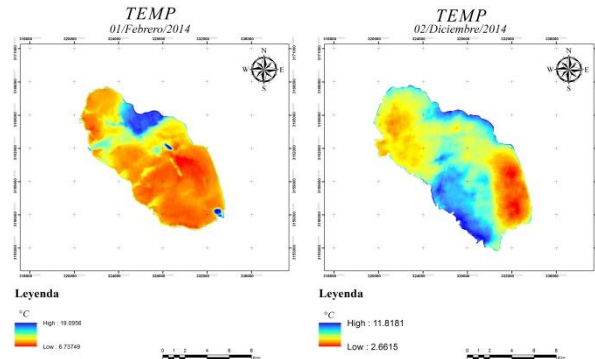


Figura 7. Determinación de la Temperatura

4. CONCLUSIÓN

Sabemos que cada parámetro hace referencia a diferentes categorías importantes para evaluar la calidad del agua (organoléptico, físico, químico y microbiológico). Analizando los valores resultantes de cada uno de los parámetros y así mismo observando las tablas para determinar el grado de calidad del agua correspondiente a cada uno de ellos encontramos que la mayoría de estos parámetros presentan valores que de acuerdo a la CONAGUA son, “aceptables”. Consideramos que la Laguna de Bustillosno se encontró en niveles óptimos de calidad del agua, y aunque los estimadores no

mostraron niveles críticos de contaminación, tampoco dieron excelentes resultados, refiriéndonos al año 2014. Por todo esto podemos decir que las condiciones encontradas en la laguna están dentro de los estándares físico-químicos aceptables de un cuerpo de agua, y por otro lado, en pésimas condiciones organolépticas ya que el parámetro de turbidez mostró valores muy elevados. Esto analizando cada parámetro, es decir, cada condición distinta del agua. Cabe mencionar que estos resultados son una primera aproximación donde se utilizaron distintos índices espectrales obtenidos en otra área de estudio (China), pero nuestros resultados demuestran y justifican la necesidad de validar esta información obtenida o desarrollar estudios encaminados a obtener índices relativos a la calidad del agua en el Noroeste de México.

5. REFERENCIAS

- Arias, L. (2014). Estimación de la turbiedad mediante percepción remota en embalses del estado de Aguascalientes. UNAM. México, D.F., pp 45.
- Bravo, L. (2013). Material didáctico clase Sistemas de Percepción Remota I. (nd). Cuauhtémoc, Chihuahua. (nd).
- Comisión Nacional del Agua. (2013). Indicadores de calidad del agua. CONAGUA. México, <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=63&n3=98&n4=98> (Consultado el 18 de Mayo de 2015).
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAESI). (2013). Decenio Nacional Para La Acción "El Agua Fuente De Vida" 2005-2015: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml> (Consultado el 18 de mayo de 2015)
- Estruch B. (2010). Análisis de la clorofila a en el agua a partir de una imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de Gandia. Universidad Politécnica de Valencia. Gandia., pp 35.
- Kalaitzidis C., & Manakos I. (nd). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Vegetation Indices (nd). EARSeL, Strasbourg, France Obtenido desde <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s03.html> (consultado el 18-05-2015).
- NASA. (2014). Introducción al Monitoreo de la Calidad del Agua (CA) a Partir de Mediciones de Percepción Remota, http://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/water/WQ/Final%20Span%20WQ_FALL2104_18Nov_Week1_Final.pdf. (Consultado el 18 de mayo del 2015).
- Navarrete, D., Gutiérrez, A., Calzadilla, J., & Navarro, E. (2006). Dinámica hidrogeoquímica de la subcuenca del Nexapa aplicaciones ambientales de la percepción remota. (nd). México D.F.
- Quintana, R., Soto, G., Rubio, H., Espinoza, J., Holguín, C., & Camarillo, J. (2014). Evaluación de parámetros físico químicos y contenido de metales en sedimentos de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. Revista de la ciencia y tecnología de la UACJ. Juárez, Chihuahua, pp 37-45.
- Ramos, J. (2013). Obtención de modelos de calidad del agua para el embalse villa victoria, estado de México, aplicando técnicas de percepción remota. Ciudad de México: UNAM.
- Richie J., Zimba P. & Everitt J. (2003). Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. (nd),(nd). Vol.LXIX, No. VI, pp. 695-774.
- USGS. (2013). USGS Science for a changing world. Using the USGS Landsat-8 product., www Landsat.usgs.gov/Landsat8_using_product.php (Consultado el 13 de julio del 2015).
- USGS. (nd). USGS Science for a changing world. Landsat-8 products. [Http://glovis.usgs.gov/](http://glovis.usgs.gov/) (Consultado el 6 de mayo del 2015).
- Wang, Y., Xia, H., Fu, J. & Sheng G. (2004). Water quality change in reservoirs of Shenzhen, China: detection using LANDSAT/TM data. ELSEVIER. Pp 199-202. (Disponible en www.sciencedirect.com)