



# Estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del índice de estado trófico (IET) en la laguna de Paca de la provincia de Jauja

## Current state of eutrophication using the mathematical model of the trophic state index (IET) in the Paca Lagoon of the Jauja province

Iván Luis Osorio López<sup>1</sup>, Santiago Navarro Rodríguez<sup>1</sup>, Cristhian Sandro Cuellar Arancibia<sup>2</sup>

E-mail: iosorio@uncp.edu.pe / vnavarro@uncp.edu.pe

### Cómo citar

Osorio López, I. L.; Navarro Rodríguez, S. & Cuellar Arancibia, C. S. (2020). *Estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del índice de estado trófico (IET) en la laguna de Paca de la provincia de Jauja*. Revista de la UNCP. 17(1), 139-142. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1391>

### Resumen

La eutrofización es un problema mundial y, según muchos estudios, pasó de ser un problema natural a un problema cultural. A través de los años, el problema de eutrofización ha ido creciendo en todas partes del mundo debido a la revolución verde en la década de los 60 que consistía en la producción de agroquímicos con alto contenido de fósforo y nitrógeno. El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo hacer un estudio del estado actual de eutrofización en la laguna de Paca, utilizando el Índice de Estado Eutrófico (IET), un método muy utilizado para determinar el estado eutrófico de una laguna. Para su determinación, se utilizaron los siguientes parámetros: turbidez, fósforo total y clorofila-a. La turbidez fue medida en metros, fósforo total y clorofila-a en partes por millón. Se ha seguido un procedimiento de monitoreo en campo y después en laboratorio. Una vez que se obtuvieron los datos de cada parámetro, se calculó el Índice de Estado trófico (IET). Se obtuvieron los promedios de los parámetros monitoreados y procesados siendo para turbidez de 48.464, 48.346 y 48.307 en metros, para fósforo total fueron de 47.132, 47.236 y 46.916 en mg/m<sup>3</sup>, para clorofila-a fueron de 48.397, 40.741 y 44.750 en mg/m<sup>3</sup>, estos valores arrojaron que la laguna de Paca se encuentra en un estado mesotrófico. Para evaluar el comportamiento de eutrofización en la laguna de Paca, se compararon los datos actuales con los datos anteriores monitoreados por las instituciones públicas a cargo; los resultados fueron para el IET, en turbidez 51.071 m, en fósforo total 48.273 mg/m<sup>3</sup> y para clorofila a 49.709 mg/m<sup>3</sup> confirmando que la laguna de Paca se encuentra en un estado mesotrófico. Para el grado de eutrofia, los resultados fueron en turbidez 1.86 m, para fósforo total 25.385 ug/l y para clorofila-a fue de 5.840 ug/l.

**Palabras clave:** turbidez, fósforo total, clorofila-a, eutrofización, mesotrófico, índice de estado eutrófico.

### Abstract

Eutrophication is a global problem and according to many studies, moved from a natural problem to a cultural problem. Through the years, the eutrophication problem has been growing in all parts of the world due to the green revolution in the 60s which consisted in the production of agrochemicals with high phosphorus and nitrogen content. The main objective of this research is to study the current status of eutrophication in the Paca lagoon using the Eutrophic Status Index (IET), a method widely used to determine the eutrophic state of a lagoon. For its determination, the following parameters were used: turbidity, total phosphorus and chlorophyll-a. Turbidity was measured in meters, total phosphorus and chlorophyll-a in parts per million. A monitoring procedure in the field and later in the laboratory was followed. Once the data for each parameter were obtained, the trophic status index (IET) was calculated. The averages of the monitored and processed parameters were obtained, being for turbidity 48,464, 48,346 and 48,307 meters, for total phosphorus were 47,132, 47,236 and 46,916 mg/m<sup>3</sup> and for chlorophyll-a were 48,397, 40,741 and 44,750 mg/m<sup>3</sup>, these values showed that the Paca lagoon is on a mesotrophic state. To evaluate the behavior of eutrophication in the Paca lagoon, the current data were compared to the previous data monitored by the public institutions in charge, the results were for the EIT, in turbidity 51,071 meters, total phosphorus 48,273 mg/m<sup>3</sup> and chlorophyll-a 49,709 mg/m<sup>3</sup>, this confirms that the Paca lagoon is on a mesotrophic state. For the eutrophy degree the results were turbidity 1.86 m, total phosphorus 25.385 ug/l and chlorophyll-a 5.840 ug/l.

**Keywords:** turbidity, total phosphorus, chlorophyll-a, eutrophication, mesotrophic, eutrophic status index

<sup>1</sup>Docentes de la Fac. de Ingeniería Química / <sup>2</sup>Investigador externo

## Introducción

El aporte excesivo de nutrientes da origen antropogénico hacia cuerpos de agua costeros, genera procesos de eutrofización con efectos adversos al ambiente y a las actividades productivas (Ruiz, 2017). Las actividades humanas, en especial aquellas que ocurren en las cuencas costeras, están afectando directamente o indirectamente a los ecosistemas acuáticos, como lagunas o estuarios causando perturbaciones ambientales como la pérdida de la calidad del agua, destrucción del hábitat, eutrofización, así como los cambios en la estructura y dinámica trófica (Borja, 2013).

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico observados a lo largo de estas últimas décadas en todo el planeta, son los principales responsables de la mayoría de las modificaciones que se están produciendo a nivel ambiental. Esta presión sobre el medio ambiente se ve especialmente reflejada en el medio acuático. Las alteraciones del medio son la consecuencia de múltiples factores antrópicos (Zouiten, 2013). Las causas principales del aumento de la contaminación en las aguas es el crecimiento de la población, el aumento de las actividades económicas, la expansión e intensificación de la agricultura y el aumento de aguas negras sin tratar (Rojas, 2016).

Por estas causas la eutrofización es una de las principales problemáticas que actualmente afecta al recurso hídrico, este fenómeno se ha expandido a nivel mundial y se está convirtiendo en uno de los problemas prioritarios para ser atendido por parte de los investigadores; ya que, en la actualidad, este problema ha afectado a numerosos cuerpos de agua. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, a nivel mundial, el número de lagos con floraciones de algas perjudiciales aumentará un 20 % por lo menos hasta el año 2050 y se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente aproximadamente en todas partes hasta el 2030. Aunado a lo anterior, surge la necesidad de profundizar en el tema para mostrar los daños causados por este fenómeno en los cuerpos de agua, así como la situación actual por la que atraviesan los recursos hídricos (García & Miranda, 2018).

Esto empieza con la aparición de macrófitas, asociada con la reducción de fitoplancton y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). La presencia de nitrógeno total, fósforo soluble y turbidez, son indicadores del grado de eutrofización. Las actividades de la vegetación, los cambios de temperatura, las precipitaciones, la radiación descendente y las actividades antropogénicas son relevantes y, en general, la urbanización tiene impacto sobre la ecología (Wen, Wu, Chen & Lü, 2017).

## Índice del Estado Trófico de Carlson (IET)

El Índice del Estado Trófico (TSI) tiene como finalidad clasificar cuerpos de agua en diferentes estados tróficos, de forma confiable, este índice ha sido uno de los más ampliamente utilizados para la clasificación de lagos y reservorios. El índice toma como variables, la profundidad de visión del disco de Secchi (TSIDs) y las concentraciones superficiales de fósforo total (TSIPt) y clorofila a (TSIclorf a). Este índice sujeta el estado trófico de un lago a un valor en una escala de 0 a 100 (García & Miranda, 2018).

El TSI ha sido uno de los primeros índices propuestos para sistemas lacustres; está basado en la utilización del Disco de Secchi para la medición de la transparencia del agua a través de la columna de agua del lago. Esta transparencia determina el nivel de refracción de la luz a través de la turbidez y el color que presenta el volumen de agua, por efecto de descargas de sólidos (suspendidos, volátiles o sedimentables) o por la formación de sistemas coloidales o soluciones complejas (López & Madronero, 2015).

Los datos brutos se transforman mediante ecuaciones apropiadas para cumplir la condición de que los valores transformados del rango más bajo y más alto, para los tres factores, sean iguales a 0 y 100, respectivamente. Si un cuerpo de agua no presenta ningún estrés antropogénico, el índice reportará un valor bajo, lo que significa que el ecosistema tiene pocos nutrientes, sedimentos o contaminantes de diferente tipo (Moncayo & Trindade, 2016).

## Materiales y métodos

El simple hecho de que se utilice un modelo matemático que pueda dar resultados actuales también puede dar resultados pasados o futuros; es por ello que, el diseño de la investigación que se utilizó para la recolección de datos fue el diseño longitudinal de tendencia; el presente diseño se basa en analizar los cambios a través del tiempo de las variables dentro de la muestra en general, la muestra puede variar en 3, 5 o 10 años, presentará una diferencia de su estado actual con lo cual se examina su evolución a lo largo de este periodo, el cambio puede ser por causas naturales o antrópicas entonces el diseño de longitudinales de tendencia aplica a este tipo de casos.

## Desarrollo metodológico en campo

El estudio integró la recolección de datos de muestra en campo para la laguna de Paca, el protocolo a seguir para el muestreo en la laguna de Paca fue la RJ N° 010-2016-ANA, tomando en cuenta tres aspectos en claro: seguridad, representatividad y accesibilidad al lugar de muestreo, luego se pasó a muestrear fósforo total y clorofila-a; mientras que, en turbidez se obtuvo directamente con el Disco de Secchi.

## Desarrollo metodológico en el laboratorio

El método utilizado para la obtención de datos de fósforo total fue el de colorimetría y para clorofila-a fue el tricromático; una vez obtenidos los resultados, se utilizaron los siguientes modelos para obtener el estado trófico:

$$\text{IET } P_{\text{total}} = 14,42 \ln (P_{\text{total}}) + 4.15$$

$$\text{IET } \text{CHL-a} = 9.81 \ln (\text{Clorf-a}) + 30.6$$

## Prueba estadística

La prueba estadística fue la t de student para comprobar las hipótesis planteadas si la laguna de Paca se encuentra en un estado mesotrófico o se encuentra fuera de este estado; para ello, se empleó el grado de significancia de 5 % trabajando con una media poblacional de 30 y 60 mg/m<sup>3</sup>.

## Resultados

**Tabla 1**

Escala de Grados Eutróficos.

Estado de Eutrofia	TSI	Ds (m)	Pt (mg/m <sup>3</sup> )	Clorf-a (mg/m <sup>3</sup> )
	0	64	0.75	0.04
Oligotrófico (IET < 30)	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < IET < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < IET < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	348	427
Hipereutrófico (90 < IET < 100)	100	0.06	768	1183

**Tabla 2**

Resultados de turbidez.

Puntos de monitoreo	Turbidez					Fuente
	Punto 1 (m)	Punto 2 (m)	Punto 3 (m)	Punto 4 (m)	Punto 5 (m)	
Febrero del 2015	50.012	51.371	50.751	51.691	51.530	Ana
Junio del 2017	50.012	50.012	46.912	47.384	47.998	Propia
Julio del 2017	50.012	50.012	46.796	46.912	47.98	Propia
Agosto del 2017	50.012	50.012	46.912	46.912	47.688	Propia
Valor promedio actual	50.012	50.012	46.873	47.069	47.894	Mesotrófico

**Tabla 3**

Resultados de fósforo total.

Puntos de monitoreo	Fósforo Total					Fuente
	Punto 1 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 2 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 3 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 4 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 5 (mg/m <sup>3</sup> )	
Junio del 2013	61.016	51.242	38.728	51.782	38.596	Minam
Junio del 2017	46.930	46.950	47.348	47.348	47.084	Propia
Julio del 2017	47.441	47.422	47.348	46.280	47.690	Propia
Agosto del 2017	46.211	47.402	47.506	46.397	47.067	Propia
Valor promedio actual	46.861	47.258	47.401	46.675	47.280	Mesotrófico

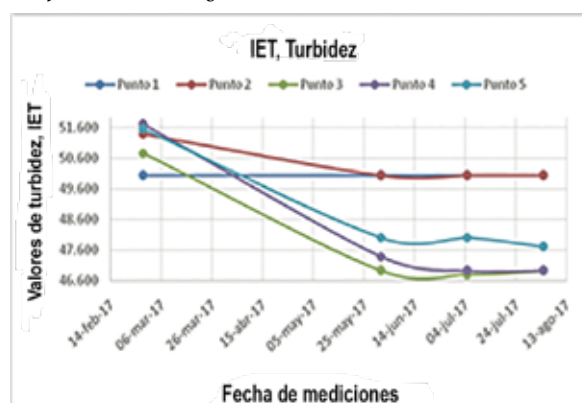
**Tabla 4**

Resultados de clorofila - a.

Puntos de monitoreo	Clorofila - a					Fuente
	Punto 1 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 2 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 3 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 4 (mg/m <sup>3</sup> )	Punto 5 (mg/m <sup>3</sup> )	
Diciembre del 2015	42.3124	50.7510	38.7708	50.2345	51.4780	ANA
Junio del 2017	54.963	43.915	50.489	44.221		Propia
Julio del 2017	37.839	40.935	38.172	42.228	44.529	Propia
Agosto del 2017	46.583	47.282	40.341	45.659	43.885	Propia
Valor promedio actual	46.462	44.044	43.001	44.036	44.207	Mesotrófico

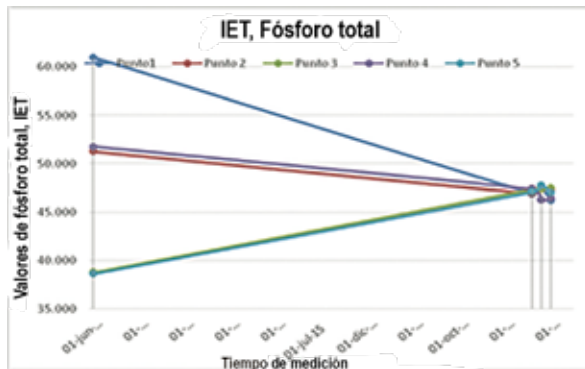
**Figura 1**

Comportamiento de la turbidez en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET.

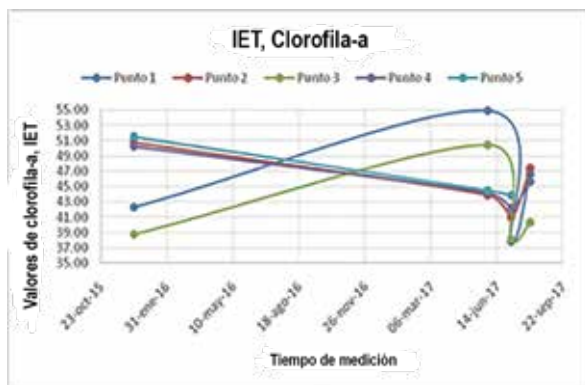


**Figura 2**

Comportamiento de fósforo total en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET.

**Figura 3**

Comportamiento de la clorofila-a en la laguna de Paca con relación al tiempo de monitoreo, según el IET.



## Discusión

En las tablas 2, 3 y 4, se muestran los resultados obtenidos durante todo el proceso de muestreo y análisis, los resultados van desde años anteriores donde se incluyen datos de la Autoridad Nacional del Agua y del Ministerio del Ambiente, datos de turbidez, fósforo total y clorofila-a, si se comparan los resultados con los datos de la Tabla 1, se deduce que la laguna de Paca se encuentra en un estado mesotrófico, los datos no sobrepasan los estándares del IET cumpliendo con el estándar  $30 < IET < 60$  mesotrófico.

Según Monsonis (2017), cuando una masa de agua es pobre en nutrientes (oligotrófica), sus aguas son muy transparentes, permitiendo una buena penetración de la radiación solar, posibilitando el crecimiento de algas y la coexistencia de una gran variedad de seres vivos. Por el contrario, el incremento de la vegetación en superficie provoca un aumento de la turbidez del agua, impidiendo que la radiación solar alcance las especies vegetales situadas en el fondo. En la Figura 1, se muestra como la turbidez aumenta en el punto más crítico desde los 50.751 m hasta los 46.912 m, es en el punto 2 donde este caso se refleja. Para el parámetro de fósforo total, en el punto 5 de la Figura 2, es donde más

se muestra que la concentración aumenta desde los 38.596 mg/m<sup>3</sup> hasta los 47.067 mg/m<sup>3</sup>. La clorofila-a en la Figura 3, se muestra que en el punto 3 la concentración aumenta desde los 38.7708 mg/m<sup>3</sup> hasta los 43.001 mg/m<sup>3</sup>.

## Conclusiones

- Aun así, con el aumento de la turbidez, las concentraciones de fósforo total y clorofila-a en la laguna de Paca se concluye que según el IET la laguna sigue presentando un estado mesotrófico antes y después.

## Referencias bibliográficas

- García Miranda, F. G. & Miranda Rosales, V. (2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Moncayo Eraso, R. J. & Trindade Galo, M. B. (2016). *Evaluación espacio-temporal del estado trófico de un lago*. Scielo, 27-42.
- Borja, A. S. (2013). *Classifying ecological quality and integrity of estuaries*. En E. D. Wolanski, treatise on estuarine and coastal science (125 - 162). USA: Elsevier.
- López Martínez, M. L. & Madronero Palacios, S. M. (2015). *Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha*. Scielo, (21-42).
- Mas Monsonis, M. (2017). *Uso de la teledetección y los sig en la vigilancia de la calidad del agua: aplicación al mar menor*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Rojas, A. G. (2016). EL PAIS. *La contaminación aumenta en la mayoría de los ríos de América Latina, África y Asia*: [https://elpais.com/elpais/2016/09/01/ciencia/1472719506\\_387465.html](https://elpais.com/elpais/2016/09/01/ciencia/1472719506_387465.html)
- Ruiz Ruiz, T. M. (2017). *Análisis corporativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del Estado de Sonora, México*. México: Centro de Investigación Biológica del Noroeste, S.C.
- Wen, Z., Wu, S., Chen, J., & Lü, M. (2017). *Indicated long-term interannual changes in vegetation activities and their responses to climatic and anthropogenic factors in the Three Gorges Reservoir Region*. China: PubMed.
- Zouiten, H. (2013). *Análisis mediante modelado avanzado de procesos de eutrofización en lagunas litorales: Aplicación a masas de agua atlánticas y mediterráneas*. España: Universidad de Cantabria.