

GRADO DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA DE LA LAGUNA SANTA CLARA EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA 2022

DEGREE OF WATER POLLUTION OF THE SANTA CLARA LAGOON IN THE MUNICIPALITY OF SANTA CRUZ DE LA SIERRA 2022

CRUZ ALARCON, X. Y., TITO ANIVARRO, F.

RESUMEN

La Laguna Santa Clara es un cuerpo de agua de clase "C" ubicado en la Zona Plan 3000, al sur del Relleno Sanitario Normandía. Se comporta como una laguna de estabilización porque está conectada como ingreso con canales de desagüe pluvial y con un canal de salida. Los habitantes de la zona utilizan la laguna como zona de recreación y pesca, y en la visita realizada al lugar de estudio, se pudo apreciar contaminación por residuos sólidos tanto en las orillas como en el interior de la laguna. Se determinó el Índice de Calidad de Agua y los índices de contaminación propuestos por Brown, lo cual se efectuó un muestreo en tres puntos de la laguna, la entrada, la salida y la zona media de la misma, para posteriormente someterlas a análisis de laboratorio para obtener los valores de concentración de los parámetros respectivos para los cálculos ejecutados. Los resultados del laboratorio se compararon, por un lado, con los límites permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) y también con las clases establecidas por el método de Brown, encontrando parámetros que sobrepasan los límites permisibles, siendo el primer indicador de la existencia de contaminación en la laguna. Del análisis de laboratorio para los 3 puntos de muestreo del cual se obtuvo como resultado mala calidad del agua, para el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) se obtuvo un resultado de excesiva contaminación, para el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se obtuvo contaminación de media a alta, para el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se obtuvo contaminación baja y por último para el índice de contaminación trófico (ICOTRO) se obtuvo que hay eutrofización. La información obtenida es de gran importancia para el municipio de Santa Cruz de la Sierra, ya que indica el estado de la calidad de las aguas de la laguna, que hoy día es utilizada tanto para la recreación como para la pesca. De esta manera se podrá prevenir la afectación de la salud de las personas de los alrededores.

ABSTRACT

The Santa Clara Lagoon is a class "C" body of water located in the Plan 3000 Zone, to the south of the Normandy Sanitary Landfill. It behaves as a stabilization lagoon because it is connected as an inlet with storm drainage channels and with a drainage channel exit. The inhabitants of the area use the lagoon as a recreation and fishing area, and during the visit to the study site, contamination by solid waste could be seen both on the shores and inside the lagoon. The Water Quality Index and the contamination indices proposed by Brown were determined, which were sampled at three points of the lagoon, the entrance, the exit and the middle zones, to later submit them to laboratory analysis. To obtain the concentration values and parameters for the executed calculations. The laboratory results were compared, on one hand, with the permissible limits of the Water Pollution Regulation (RMCH) and also with the classes established by the Brown method, finding parameters that exceed the permissible limits, being the first indicator of the existence of contamination in the lagoon. From the laboratory analysis for the 3 sampling points of which poor water quality was obtained as a result, for the mineralization contamination index (ICOMI) a result of excessive contamination was obtained, for the organic matter contamination index (ICOMO), medium to high contamination was obtained, for the contamination index by suspended solids (ICOSUS) low contamination was obtained, and finally for the trophic contamination index (ICOTRO) it was obtained that there is eutrophication. The information obtained is of great importance for the municipality of Santa Cruz de la Sierra, since it indicates the state of the water quality of the lagoon, which today is used for both recreation and fishing. In this way, it will be possible to prevent the affectation of the health of the surrounding people.

PALABRAS CLAVE

Contaminación hídrica,
Zona de recreación,
Calidad de Agua.
Índices de contaminación de Brown.

KEYWORDS

Water pollution
Water quality index,
Brown pollution indices,
Pirai River.

INTRODUCCIÓN

El proceso de contaminación ha avanzado considerablemente a nivel mundial. En las últimas décadas, debido al crecimiento exponencial de poblaciones urbanas y rurales, ha aumentado en igual medida la generación de residuos sólidos y líquidos, mismos que llegan a ser vertidos en cuerpos de agua como lagos, lagunas, ríos, entre otros. Estos desechos aumentan el nivel de nutrientes orgánicos, responsables de ocasionar la degradación progresiva y, a veces, irreversible de los ecosistemas. (Moreira, 2017)

De esta manera se puede observar que la Laguna Santa Clara experimenta esta problemática hace varios años, a causa de: La expansión y el crecimiento de las poblaciones asentadas en las orillas, la falta de políticas de control y fiscalización por parte de las autoridades competentes.

Hasta la fecha la calidad de las aguas de la laguna no ha sido claramente establecida, por lo cual se evidencia la necesidad de caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la misma.

La Laguna Santa Clara, Coordenadas UTM Este: 542080.165; Norte: 8176055.197, es parte del canal de desagüe pluvial que se encuentra ubicado a 1,5 kilómetros del vertedero de Normandía y está siendo contaminada, tanto por aguas residuales como por los residuos sólidos que son vertidos por asentamientos aledaños.

Las aguas contaminadas y de baja calidad, están relacionadas con la transmisión de enfermedades como el cólera y la hepatitis, por lo que la población está expuesta a mayores riesgos de infección y enfermedades a consecuencia de la insalubridad del agua y la mala higiene, lo que aumenta la probabilidad de propagación de dichas enfermedades (OMS, 2019).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es número que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano, independiente de su uso. Incorpora parámetros fisicoquímicos en una ecuación, para determinar la calidad del agua en un lugar y tiempo fijados. (Rodríguez, 2009).

El Índice de Calidad del Agua propuesto por Brown es una versión modificada del "WQI", *Water Quality Index*, que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. El ICA adopta, para condiciones óptimas, un valor máximo de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en el curso de agua en estudio.

El ICA define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Las aguas con ICA mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de vida acuática. Las aguas con ICA de categoría "Regular" tienen menos diversidad de organismos acuáticos y ha aumentado el crecimiento de algas. Las aguas con ICA de categoría "Mala" pueden solamente apoyar una diversidad baja de vida acuática y están experimentando problemas con la contaminación. Las aguas con ICA de categoría "Pésima" contienen un número limitado de las formas acuáticas de vida, presentan problemas abundantes y normalmente no son consideradas aceptables para actividades de contacto directo. (Brown, 1973)

Para la determinación del ICA intervienen nueve parámetros: Coliformes Fecales en NMP/100 ml, pH, Demanda bioquímica de Oxígeno, DBO5, en mg/l, Nitratos en mg/l, Fosfatos en mg/l, Cambio de la Temperatura, °C, Turbidez, FAU, Sólidos disueltos totales, mg/l, Oxígeno disuelto % saturación.

Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices o una función ponderada multiplicativa. El cálculo del ICA mediante técnicas multiplicativas es superior a las técnicas aritméticas porque son más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad.

La calidad del agua, según Brown, toma en cuenta cada uno de los siguientes parámetros y su peso relativo en el índice, W_i : Coliformes Fecales 0,15; pH 0,12; DBO5 0,10; Nitratos 0,10; Fosfatos 0,10; Temperatura 0,10; Turbidez 0,08; Sólidos disueltos Totales 0,08; Oxígeno Disuelto 0,17. Los valores Sub_i se obtuvieron de las gráficas de Brown, y se aplicaron en la Ecuación de Estimación del Índice de Calidad de Agua general, técnica multiplicativa.

$$ICA = \prod_{i=1}^n Sub_i^{W_i}$$

DESARROLLO

La Laguna Santa Clara se encuentra ubicada en el Distrito 14 de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra en la Provincia Andrés Báñez, del Departamento de Santa Cruz. Con la ayuda de un GPS se determinó la ubicación geográfica de la laguna, la cual se encuentra en 17.8758646 de latitud, -63.0811619,15 de longitud sur, a 17,5 kilómetros de la ciudad en la zona Paurito, a 1,5 kilómetros del Vertedero de Normandía. Esta laguna está conectada con un canal de desagüe denominado Canal Paurito.

La Laguna Santa Clara tiene una extensión de 0,0423 km² y 964,60 metros de perímetro. Está a 417 m.s.n.m., con vientos cálidos del noreste y vientos fríos del sur durante el invierno. La temperatura media es de 25 °C. Las precipitaciones pluviales están en el orden de los 1100 mm.

En la Laguna Santa Clara se evidenció la presencia de flora y fauna. Como ejemplos de fauna se tienen:

Characiformes, sardinas,
Cichidaes, tilapia,
Erythrinidaes, bentones,
Synbranchidaes, anguila de lodo,
Pseudotelfúsidos, cangrejos de agua dulce.

Entre los tipos de flora están las plantas flotantes y plantas de aguas profundas como:

Pistia o lechuga de agua,
Helechos de agua,
Nymphaea Odorata alba blanca,
Iris Pseudoachorus,
Iris Sibirica,
Juncos glauca.

También se observó que los pobladores que viven en las zonas aledañas usan la laguna para recrearse, pero tienen malas prácticas para la disposición de desechos líquidos y sólidos, domésticos y comerciales. Igualmente, contaminan directamente los cuerpos de agua con los efluentes de aguas residuales, infiltrándose todo esto en el suelo y es llevado por la lluvia hacia la laguna. Los excrementos y vertido de aguas residuales al ambiente son un riesgo para la laguna.

Estos elementos contienen sólidos, material orgánico disuelto, y elementos tóxicos como nitrógeno y fósforo.

El exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, eutrofiza el agua, generando un deterioro del recurso

hídrico y, en general, de los ecosistemas acuáticos debido a la afectación de la calidad fisicoquímica del agua.

El impacto ambiental de estos químicos proporciona un olor desagradable al ambiente, provoca un crecimiento acelerado de algas y plantas acuáticas, por lo tanto, la reducción del oxígeno disuelto en el agua, quedando muy poco para los seres vivos acuáticos. El contacto directo de las personas con los residuos fecales puede producir infecciones parasitarias y diversas enfermedades.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en laboratorio son aquellos que establece el método de Brown para la determinación del Índice de Calidad del Agua y del Índice de Contaminación como compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que causan efectos nocivos a la salud en concentraciones altas, como también los parámetros físicos como color, turbiedad, sólidos totales.

Se seleccionaron tres puntos críticos de la Laguna Santa Clara para la correspondiente toma de muestras.

El Punto 1 es el lugar donde ingresa a la Laguna el agua que proviene de los canales de flujo pluvial y que, por observaciones de campo, es un punto donde las personas se bañan.

El Punto 2 se seleccionó al medio de la laguna para obtener resultados representativos.

El punto 3 es el lugar donde salen los efluentes de la laguna. Los puntos se muestran en la figura 1.



Figura 1. Ubicación de los puntos de toma de muestra en la laguna Santa Clara ubicada en las coordenadas latitud: -17.8758646, longitud: -63.0811619,15

Para la toma de muestras cada punto se dividió en otros tres puntos, realizando la mezcla de las 3 muestras para obtener una sola homogénea, de la que se toman muestras que serán analizadas según cada parámetro. A esta muestra homogénea se la denomina muestra integrada y reporta resultados representativos. Las muestras se tomaron a 30 centímetros de profundidad. Una vez obtenida la muestra integrada se procede a medir parámetros in situ como pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto.

Los resultados de las tres muestras tomadas se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de los parámetros analizados en los tres puntos en la laguna Santa Clara en el año 2022

Parámetros	Punto-1	Punto-2	Punto-3	RMCH A-1 CLASE C
Alcalinidad total, mg/l	179,8	185,0	180,5	-
Coliformes fecales, NMP/100ml	2100000	12000	4300	<5000 y <1000 en 80% de muestras
Conductividad específica, $\mu\text{S}/\text{cm}^3$	489,8	480,6	484,0	-
DBO5 total, mg/l	11,2	10,6	8,4	<20
DQO, mg/l	47,9	41,2	26,0	<40
Dureza total, mg/l	196,9	189,3	181,7	-
Fosfato, mg/l	0,11	0,14	0,18	1,0
Nitratos, mg/l	8,6	6,0	< 5,0	50
Oxígeno disuelto, %	39,54	22,20	29,09	60 % sat
pH	7,39	7,62	7,5	6,0 a 9,0
Sólidos disueltos totales a 180 °C, mg/l	31	26	17	-
Temperatura, °C	17,2	19,5	18,9	+/- 3°C de cuerpo receptor
Turbidez, FAU	262,3	127,9	18,0	100-2000

Los pesos relativos, W_i de los diferentes parámetros para la determinación del índice de la calidad del agua según Brown son:

Coliformes Fecales,	0,15,
pH	0,12,
DBO5	0,10,
Nitratos	0,10,
Fosfatos	0,10,
Temperatura	0,10,
Turbidez	0,08,
Sólidos disueltos Totales	0,08,
Oxígeno Disuelto	0,17

Los valores $sub\ i$ se obtuvieron de las gráficas de Brown, y se aplicaron en la Ecuación de Estimación del Índice de Calidad de Agua general, técnica multiplicativa. Los resultados para los tres puntos estudiados se muestran en la tabla 2:

Tabla 2 Cálculo del Índice de Calidad del agua para los tres puntos seleccionados en la laguna Santa Clara en el año 202

Parámetros	Punto-1-Entrada			Punto -2-Zona media			Punto-3-Salida		
	Valor	Subi wi	Total	Valor	Subi wi	Total	Valor	Subi wi	Total
Coliformes fecales, NMP/100ml	9300000	3	1,18	12000	8	1,54	4300	0,15	1,52
pH	7,39	92,5	1,72	7,62	92	1,72	7,50	94	1,72
DBO5 total, mg/l	4,2	33	1,42	10,6	35	1,43	8,4	40	1,45
Nitratos, mg/l	8,6	56	1,50	6	65	1,52	4	80	1,55
Fosfato, mg/l	0,4	92	1,57	0,14	91	1,57	0,18	90	1,57
Cambio Temperatura, °C	2,3	77	1,54	1,5	83	1,55	1,9	80	1,54
Turbidez, FAU	262,3	5	1,14	127,91	5	1,14	18	18	1,26
Sólidos disueltos totales a 180 °C, mg/l	308	58	1,38	218	70	1,40	302	60	1,39
Oxígeno disuelto, %	39,54	29	1,77	22,2	14	1,57	29,09	20	1,66
VALOR DEL ICA			29,10			35,11			41,30

En la tabla 3 se muestran los diferentes índices de contaminación en los tres puntos analizados en la laguna Santa Clara en el año 2022

Tabla 3. Índices de contaminación para los tres puntos seleccionados en la laguna Santa Clara en el año 2022

PUNTO DE ESTUDIO	RESULTADOS
ICOMI	
Punto-1-Entrada	0,883
Punto-2-Zona media	0,883
Punto-3-Salida	0,884
ICOMO	
Punto-1-Entrada	0,763
Punto-2-Zona media	0,815
Punto-3-Salida	0,634
ICOSUS	
Punto-1-Entrada	0,073
Punto-2-Zona media	0,058
Punto-3-Salida	0,031
ICOTRO	
Punto-1-Entrada	Eutrofia
Punto-2-Zona media	Eutrofia
Punto-3-Salida	Eutrofia

En la tabla 4 se indica la comparación entre Índice de calidad del agua con los Índices de Contaminación según Brown.

Tabla 4. Comparación del ICA y la Clasificación de Brown en la laguna Santa Clara en el año 2022

Punto de estudio	Resultado ICA	Clasificación según el método de Brown	
		Valor	Cualificación
Punto-1-Entrada	29,10	26 - 50	MALA
Punto-2-Zona media	35,11	26 - 50	MALA
Punto-3-Salida	41,30	26 - 50	MALA

DISCUSIÓN

A partir de los resultados de laboratorio para las 3 muestras, se determinaron los valores del Índice de Calidad del Agua, siendo los resultados los siguientes: El Punto-1-Entrada presenta un valor de ICA 29,10; el Punto-2-Zona Media presenta un valor de ICA 35,11; el Punto-3-Salida presenta un valor de ICA 41,30. Los valores obtenidos indican que, de acuerdo con la clasificación del método de Brown, son aguas de mala calidad.

Los índices de contaminación en los 3 puntos dieron como resultado:

ICOMI en el Punto-1-Entrada un valor 0,883; en el Punto-2-Zona Media un valor de 0,883; en el Punto-3-Salida un valor de 0,884. Los tres resultados indican una contaminación elevada por mineralización.

ICOMO en el Punto-1-Entrada un valor de 0,763; en el Punto-2-Zona Media un valor de 0,634; en el Punto-3-Salida un valor de 0,815. Los tres resultados indican una contaminación alta por materia orgánica.

ICOSUS en el Punto-1-Entrada un valor de 0,073; en el Punto-2-Zona Media un valor de 0,058; en el Punto-3-Salida un valor de 0,031. Los tres resultados indican una contaminación baja por sólidos suspendidos.

ICOTRO en los tres puntos de muestreo dio como resultado aguas de tipo Eutrofia, es decir, con alta capacidad de nutrientes que las hacen aptas para el crecimiento de algas y otros vegetales por eutrofización.

En general, todos estos índices muestran que la Laguna Santa Clara se encuentra en estado crítico debido a la mala calidad del agua y a la alta contaminación por materia orgánica,

mineralización y por la alta cantidad de nutrientes.

Teniendo en cuenta el tamaño de la laguna y su comportamiento actual, se puede decir que se está comportando como una laguna de estabilización.

REFERENCIAS

CITA

- BROWN, R. (1970). A Water Quality Index - Do We Dare? Water Sewage Works 11.
- MOREIRA, (2017). EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL LAGO TITICACA POR RESIDUOS SÓLIDOS Y SU IMPACTO EN EL SECTOR TURISMO, MUNICIPIO DE COPACABANA: Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia.
- NORMA BOLIVIANA NB 496. (2005). Agua Potable – Toma de muestras. Bolivia.
- NSF, N. (1970). Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos - NSF.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS. (2006). Guía para la Calidad del Agua Potable.
- REGLAMENTACIÓN DE LA LEY N° 1333 del Medio Ambiente Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica. (27 de abril de 1992). La Paz.
- RODRÍGUEZ, B. E. (2009). La Contaminación Ambiental y sus consecuencias Tóxicas.

