



Elevar el índice de la calidad del agua del lago Titicaca con carbón activado de Totora (*Schoenoplectus californicus*)

Raising the water quality index of Lake Titicaca with activated carbon from Totora (*Schoenoplectus californicus*)

Dany Alexander Aguilar Mamani^{1,*} , Luis Fernando Aguilar Laquis² , Jose Antonio Vargas Maron¹ ,
Edgardo Sebastian Guerra Bueno¹  y Gloria Arazola Mamani¹ 

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

²Universidad Privada Técnica Cosmos: La Paz, Murillo, Bolivia

Resumen

El agua es vital para el ser humano, es muy importante monitorear el Índice de Calidad del Agua (ICA) para evitar riesgos a la salud; en la ciudad de Puno, el agua se extrae para su potabilización del lago Titicaca sector Chimú. El objetivo de nuestra investigación es elevar el ICA con Carbón Activado (CA) de Totora y conocer si el H₂O que consumimos cumple con las Normas de Calidad de Agua, se obtuvieron muestras de agua del lago para analizarlas en el laboratorio, también se utilizaron datos del monitoreo realizado por la Autoridad Nacional del Agua. La investigación es experimental utilizando la metodología canadiense WQI-CCME. Los resultados obtenidos fueron: Un ICA=EXCELENTE en lago mayor y lago menor, ICA= MALO bahía de Puno e ICA=PÉSIMO bahía interior, el agua después del tratamiento con CA de Totora registró ICA=BUENO en la bahía de Puno, nuestra data estadística es de una población normal donde nuestro P-value=0,12 (P > 0,05) y una media de 78,67. La activación del CA fue químicamente, usando ácido sulfúrico, los parámetros del agua que fueron mejorados son: Sólidos en suspensión 0,649-0,476 mg/L, DBO en 7-2 mg/L, Aceites y grasas de 66,83-13, 8 mg/L, Nitrógeno amoniacal 2,470-0,5 mg/L, Materia orgánica 99,82-0 %, Nitratos 50-0 mg/L, Nitritos 14-0,5 mg/L, Nitrógeno total 0,035-0 % y un aumento del pH de 6,16-8,67, DQO de 47,58-57,99 mg/L, Fósforo 0,62-1,5 mg/L y conductividad eléctrica de 1905-1985 µS/cm. Se concluye que sí es posible mejorar el ICA del agua del lago Titicaca utilizando CA de Totora.

Palabras clave: Carbón activado, índice de calidad del agua, lago Titicaca, normas de calidad del agua, *Schoenoplectus californicus*, Totora.

Abstract

Water is vital for humans, and monitoring the Water Quality Index (WQI) is essential to avoid health risks. In the city of Puno, water is extracted for purification from Lake Titicaca, Chimú sector. The objective of our research is to increase the WQI using activated carbon (AC) from totora reeds and determine whether the water we consume meets Water Quality Standards. Water samples were obtained from the lake for laboratory analysis, and data from monitoring conducted by the National Water Authority were also used. The research is experimental, using the Canadian WQI-CCME methodology. The results obtained were: An ICA=EXCELLENT in the major and minor lakes, ICA=BAD in the Puno Bay and ICA=APPALLING in the inner bay, the water after treatment with Totora CA registered ICA=GOOD in the Puno Bay, our statistical data is from a normal population where our P-value=0.12 (P>0.05) and a mean of 78.67. The activation of the CA was chemically, using sulfuric acid, the water parameters that were improved are: Suspended solids 0.649-0.476 mg / L, OBD in 7-2 mg / L, Oils and fats of 66.83-13, 8 mg / L, Ammoniacal nitrogen 2.470-0.5 mg / L, Organic matter 99.82-0%, Nitrates 50-0 mg / L, Nitrites 14-0.5 mg / L, Total nitrogen 0.035-0% and an increase in pH of 6.16-8.67, OCD of 47.58-57.99 mg / L, Phosphorus 0.62-1.5 mg / L and electrical conductivity of 1905-1985 µS / cm. It is concluded that it is possible to improve the ICA of Lake Titicaca water using Totora CA.

Keywords: Activated carbon, water quality index, Lake Titicaca, water quality standards, *Schoenoplectus californicus*, Totora.

Recibido: 18 my. 2024

Aceptado: 02 dic. 2024

Publicado: 30 dic. 2024

***Autor para correspondencia:** aguiladan82@gmail.com

Cómo citar: Aguilar Mamani, D. A., Aguilar Laquis, L. F., Vargas Maron, J. A., Guerra Bueno, E. S., & Arazola Mamani, G. (n.d.). Elevar el índice de la calidad del agua del lago Titicaca con carbón activado de Totora (*Schoenoplectus californicus*). *Revista de Investigaciones*, 13(4), 159-174. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i4.5969>

Introducción

Según la Organización de Naciones Unidas, el acceso al agua potable es un derecho humano fundamental (Orellana, 2023). Una de las fuentes de contaminación más predominantes, es la carga de nutrientes, que a menudo es asociada con la carga de patógenos (UNESCO, 2021).

El seguimiento de la calidad del agua se realiza en base al análisis y cuantificación de parámetros físico-químicos y microbiológicos. En el caso de control de lagos y lagunas, la calidad de sus aguas se establece en base a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (MINAM, 2017). Los índices de calidad de agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua (ANA, 2018).

Diversos índices han sido desarrollados y empleados en diferentes investigaciones para clasificar la aptitud de las aguas para disímiles usos, cada uno de ellos tiene sus características propias (Alvarez et al. 2006; Ocampo et al. 2013; Quiñones Huatangari et al. 2020; Wong & Hu 2013; Coello et al. 2015).

Existen trabajos que aplican IQA-CCME, para clasificar el agua distribuida, a partir de informes mensuales de monitoreo de la calidad del agua como los de (Rezende et al. 2019).

Con pocos parámetros como los hizo Miyittah et al. (2020) temperatura, pH, turbidez, OD, conductividad eléctrica, nitratos, y fosfato se evaluaron los niveles utilizando muestras tomadas durante las estaciones húmedas.

La modificación química del agua podría mejorar el problema de contaminación en aguas porque mejoraría los parámetros a favor de la biota existente, recientemente, se han utilizado desechos agrícolas como cáscaras de naranja y semillas de dátiles y otros para convertirlos en CA y eliminar metales pesados y contaminantes de fuentes acuáticas (Bonilla et al. 2019).

La Totorá fue el material orgánico que se utilizó en la presente investigación es la Totorá, es una

planta acuática que crece en el lago Titicaca (Alsayednasser et al. 2022). Para Samudio et al. (2021) la Totorá es palustre, cosmopolita, ampliamente adaptada tanto en la región Oriental como Occidental. Ha sido utilizada por muchas culturas como medicina, alimento, forraje y material para la construcción de casas, botes y diferentes artesanías (Hidalgo & García, 2018).

Su Acción reproductiva de la totora florecen aproximadamente entre los seis a ocho meses y alcanzan su mayor crecimiento en época de lluvias, donde la floración también es mayor (Loza, 2020).

Florece con mayor intensidad desde diciembre a mayo, siendo el máximo en febrero con unas 60 inflorescencias/m², desde donde empieza a decaer y desde junio hasta agosto reduce su floración drásticamente, en setiembre ya aparecen unas diez inflorescencias/m² (Roque & Aravena, 2021).

En la región Puno, la Totorá se encuentra distribuida en casi todo el lago Titicaca y lagunas alto andinas, en mayores áreas en el ámbito de la Reserva Nacional del Titicaca y su distribución está limitada mayormente a profundidades menores a 2 m, en cuya condición suelen formarse muy grandes y densos (Gamboa, 2020).

La Totorá tiene una composición química y biológica en cuanto a los macroelementos, la mayoría de plantas presentan una biomasa aérea con un peso de carbono de aproximadamente 50 % (Zhu et al. 2017). En pastizales estimó 49,18 % de carbono, 5,64 % de hidrógeno y 40,16 % de oxígeno. Bernardis et al. (2008) determinó 53,93 %, por lo que la totora puede contener composición similar. La fibra detergente neutro incluye hemicelulosa, celulosa y lignina, y la fibra detergente ácido solo celulosa y lignina la proporción de celulosa en la totora, aumenta con la madurez, su proceso de maduración tiene influencia en su contenido en proteína y fibra (Roque & Aravena, 2021).

El Carbón Activado es utilizado generalmente en procesos de descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos, entre otros procesos (Bastidas et al. 2010). También es utilizado para la eliminación de olor y sabor de aguas contaminadas (Chen et

al. 2011). La remoción de una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso o gaseoso (Cacciola et al. 1995). Como absorbentes industriales para procesos de recuperación, purificación y separación y como soportes catalíticos (Carrillo et al. 2013). La descontaminación de aguas puede ser perjudicial para la agricultura y la cría de animales (Van, 2009). Es importante encontrar materias primas de bajo costo y que tengan características similares o mejores que las convencionales para producir Carbón Activado (Dias et al. 2007). Para su activación química se consideró el criterio de costo y accesibilidad la activación con Cloruro de Zinc (ZnCl_2) era de complicado acceso mientras la activación con Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) era muy accesible y este último proporciona beneficios ambientales como fácil recuperación, bajo costo energético y alto rendimiento de carbón activado (Lim et al. 2010). Existen autores que obtienen este elemento de otros seres orgánicos como el tallo y la raíz de la variedad de algodón de la especie *Gossypium barbadense* (El-Sembae et al. 2019).

Uyanik et al. (2011) encapsulan Lipasa de *Candida rugosa* dentro de un soporte sol-gel químicamente inerte en presencia de coronas de calix como nuevos aditivos. Se evaluó la actividad catalítica de las lipasas encapsuladas tanto en la hidrólisis de p-nitrofenol como de p-nitrofenol.

El investigador Bonilla et al. (2019) empleó el CA de cáscara de naranja para la adsorción de plomo, presente en el efluente río Anticona de la minería de Cerro de Pasco. Experimentaron obteniendo CA con coronta de maíz y pepa de ciruela para poder activarlo con cloruro de zinc a este proceso lo lavaron varias veces con ácido clorhídrico y mucha agua destilada (Navarro et al., 2018; José et al. 2019). Se obtuvo dos muestras de CA a partir del aguaje su semilla una de las muestras modificándolo con MnO_2 para su posterior comparación, el objetivo fue la remoción de Hg, llegando al resultado que el CA modificado tenía una mejor absorción del Mercurio (Obregón et al. 2020).

Métodos

Lugar de estudio

El lago Titicaca se encuentra en América del Sur, en la frontera entre Perú y Bolivia. Es el lago navegable más alto del mundo y se sitúa a una altitud de aproximadamente 3812 m.s.n.m. La mayor parte del lago pertenece a Perú, pero una parte significativa se encuentra en Bolivia, presenta dos sectores el lago mayor (Chucuito) y el lago menor (Huinaymarca), unidas por estrecho de Tiquina de 800 m de ancho la profundidad máxima del lago mayor es de 285 m y del lago menor solo 40 m.

Figura 1
Ubicación del lago Titicaca



Descripción de métodos

Primer objetivo

La metodología utilizada fue descriptiva con la metodología canadiense WQI-CCME.

Cálculo del índice de calidad de agua (ICA – PE)

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplicó la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 – 100 puntos), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o una cuenca.

La determinación y definición se describen así

Ecuación 1: F1 = Alcance, representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental (ECA–Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

Ecuación 2: F2 = Frecuencia, representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA – Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F_2 = \frac{\text{Nro de parámetros que no cumplen el ECA Agua de los datos}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

Datos = Resultados de los monitores.

Ecuación 3: F3 = Amplitud, es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \right) * 100$$

Ecuación 4: Suma normalizada de excedentes (sne):

Excedente, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA – Agua.

$$sne = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

Ecuación 5: Caso 1 cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA–Agua, el cálculo del excedente se realiza de la manera siguiente:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}} \right) - 1$$

Ecuación 6: Caso 2 cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA –Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (>4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

Una vez obtenido los valores de los factores (F₁, F₂, F₃) se procede a realizar el Cálculo de Índice de Calidad de Agua: que es la diferencia de un rango de 0 – 100, siendo 100 el valor que representa un ICA de EXCELENTE calidad y 0 el valor que representa un ICA de PÉSIMA calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F₁, F₂, F₃, se expresa en la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

$$ICA - PE = 100 - \left(\sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right)$$

Tabla 1*Calificación del índice de calidad del agua*

CCME - WQI	Calificación	Interpretación
95 – 100	Excelente	La calidad de agua está sin contaminación alguna su condición y naturaleza son favorables para el consumo de los seres humano o animales.
80 – 94	Bueno	Hay probabilidad de existencia de amenazas que puedan causar algún daño al consumo de este líquido elemento, pero su magnitud de contaminación es muy baja y su calidad es aceptable.
65 – 79	Regular	En esta etapa la calidad del agua es amenazada por agentes contaminantes a partir de este punto el H ₂ O necesita tratamiento porque sus valores del ECA se alejan de los permitidos.
45 – 64	Malo	La calidad de agua ya no cumple con los objetivos de calidad permitidos, las condiciones que se puedan desear para un líquido están amenazadas o dañadas. En esta etapa ya el H ₂ O necesita tratamiento para consumo o para riego.
0 - 44	Pésimo	En este punto los parámetros que se midieron la mayoría no cumplen con los ECAs para agua, siempre está sufriendo de amenazas o están dañadas. Todos los parámetros necesitan tratamientos.

Nota. Extraído de la metodología del ICA.

Se usaron datos de 45 puntos y 17 parámetros del monitoreo de la calidad de agua de la ANA 2023 monitoreo que esta entidad realiza anualmente.

Todos los datos para esta etapa fueron extraídos de la ANA el cual son analizados en el laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. que se encuentra en la ciudad de Arequipa y cuenta con certificación de INACAL.

Nuestra variable analizada en esta etapa fue el Índice de Calidad de Agua donde intervinieron 17 parámetros y analizados matemáticamente.

En esta etapa se utilizó la prueba estadística de P-value para ver el grado de significancia con el programa Minitab gratuito.

En la investigación realizada, se llevó a cabo una prueba estadística de normalidad para evaluar la distribución de los datos obtenidos en el análisis del ICA. Esta prueba permitió verificar que las variables analizadas cumplen con los supuestos estadísticos necesarios, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados experimentales obtenidos al utilizar carbón activado de Totorá para mejorar el ICA del agua extraída del lago Titicaca, sector Chimú.

Segundo objetivo

La metodología utilizada fue de tipo experimental – descriptivo.

En septiembre de 2023, se recolectaron 150 kg de totora en la localidad de Chimú. La materia prima fue sometida a un proceso secuencial que incluyó secado, triturado, carbonización y activación química con ácido sulfúrico, logrando obtener carbón activado de totora. Previamente, se realizó una caracterización fisicoquímica del material, evaluando sus propiedades fundamentales: densidad aparente, contenido de materia volátil, porcentaje de humedad, cenizas totales, carbono fijo y distribución granulométrica. El principal material fue la Totora como materia prima, ácido sulfúrico, un horno a 400 °C de marca Electrolux, dos tamizadores de 10 y 200 mesh para separar las partículas. La variable analizada fue el Carbón Activado que se obtuvo, llegando a la conclusión que el Carbón Activado en polvo era el más eficiente en cuanto al proceso de purificado del agua.

Tercer objetivo

La metodología utilizada fue de tipo experimental y explicativa.

Se tomó seis litros de agua del sector Chimu en la zona de captación por parte de EMSA Puno, tres litros fueron para enviar a laboratorio y tres litros para realizar el filtrado y purificación las, de las tres muestras que se fraccionó en 12 partes (0,5 L de fracción de agua), cada fracción tardó un promedio de 15 min en filtrarse aproximadamente la filtración fue con diferentes cantidades de CA de Totora en polvo y granulado (25 gr, 50 gr y 100 gr). Las dos muestras una sin filtrar (llevada

a laboratorio) y el otro filtrado con CA en polvo fueron comparadas. Fueron varios instrumentos que en laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno se analizó (Tabla 4). El objetivo final consistió en determinar el Índice de Calidad del Agua posterior al proceso de filtración utilizando el carbón activado obtenido de totora, estableciendo así la eficacia del tratamiento en la purificación hídrica.

Resultados y discusión

Primer objetivo

Parámetros medidos según las normas peruanas para ICA 4 –Lagos y lagunas

De los 45 parámetros que mide la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en las diferentes zonas del lago Titicaca se tomaron 17 parámetros (10 son significativos) que son recurrentes en los cuatro sectores del lago (Tabla 2).

Conductividad eléctrica presentó mayor frecuencia superando el ECA-4 (1000 uS/cm), en 43 puntos de 45 (96 %). Con una media integral de 1542,47 uS/cm. Siendo una condición recurrente, que según nuestra investigación es una característica natural del Lago Titicaca por la salinidad existente.

El Nitrógeno Total representa el 31 % de afectación Lago Titicaca (14 de 45 puntos), se presentó entre 0,0830 mg/L a 3,12 mg/L, con una media de 0,544 mg/L. La mayor afectación es en la Bahía Interior de Puno (media: 2,6150 mg/L) incumpliendo el ECA-4 en sus 6 puntos afectados por la eutrofización; el Lago menor con afectación en sus 7 puntos (media de 0,4761 mg/L). La menor afectación es en el Lago Mayor y la Bahía de Puno, sin ninguna excedencia al ECA4 – Agua.

El Fósforo total presentó afectación en 8 de 45 puntos, superando el ECA-4 (0,035 mg/L), con una media general de 0,1071 mg/L, La Bahía Interior de Puno presenta la media más alta (0,7160 mg/L), considerado como hipereutrófico porque supera el ECA4-Agua, los demás sectores no presentan afectación.

La Clorofila A es el cuarto parámetro más frecuente, que se presenta superando el valor establecido en el ECA4 – Agua (0,008 mg/L) en 6 de 45 puntos del lago Titicaca (sector peruano), que representa el 13 % de afectación (Bahía Interior de Puno) en un rango de 0,01422 a 0,08935 y una media general de Clorofila A de 0,066 mg/L. superando en 7,25 veces al ECA-4 considerado como un lago hipereutrófico debido a que el valor promedio registrado (0,066 mg/L = 66 µg/L) es mayor a 10 µg/L (= 0,01 mg/L).

El DBO₅ presenta una media integral de 2,64 mg/L con valores por encima del ECA-4 en la bahía Interior de Puno con el mayor promedio 4,17 mg/L, y dos puntos incumpliendo el ECA-4, con 5 mg/L respectivamente; el segundo promedio más alto corresponde al lago menor (3,50 mg/L) con dos puntos de afectación (8 mg/L) y (7 mg/L) en el lago mayor el punto (5 mg/L) es el único afectado por DBO₅.

Los sulfuros afectan sólo a la Bahía Interior de Puno con 4 de 6 puntos (media de 0,0041 mg/L), sobrepasando en 4 de 6 puntos, el ECA-4 – Agua (0,002 mg/L). Este parámetro se presenta por segunda vez, pudiendo estar vinculado, al proceso de eutrofización.

El pH con un promedio general de 8,69 y en su mayoría en el rango del ECA-4 (6,5-9), La bahía Interior de Puno con un promedio de 8,98 es la más afectada con 3 de 6 puntos superando el ECA-4; la bahía de Puno con 8,63 de promedio, el lago mayor presenta un promedio de 8,64 y el lago menor con 8,68 de promedio no presentan afectación.

El Oxígeno Disuelto presentó una media de 5,89 mg/L, el único punto con hipoxia es con 2,84 mg/L, bahía Interior de Puno. El promedio alto estuvo en el Lago menor (6,23 mg/L), seguido del Lago Mayor (6,03 mg/L).

Sólidos Totales Suspendidos presento una alta concentración en la desembocadura del río Ramis, con 59 mg/L, vinculado a la alta turbiedad registrada (74,2 NTU), apreciable organolépticamente con una coloración café-pardo tenue.

El Plomo total, sólo en la desembocadura del río Ramis con 0,0027 mg/L, ello representa un comportamiento atípico para este parámetro poco frecuente, probablemente vinculado a los lastres de plomo utilizados para las redes de pesca artesanal.

El Zinc total en altas concentraciones se produce en 3 puntos de la Bahía Interior de Puno, con 0,32 mg/L ($>$ ECA4 que es de 0,12 mg/L), La información de lo descrito (Tabla 2).

Tabla 2

Parámetros medidos que se sobrepasan los ECA Agua en los 4 setores de lago Titicaca

Parámetro medido	Parámetro que sobrepasa el ECA4 Agua (media integral)	Estándares del ECA 4 Agua	Cuantos puntos sobrepasan de 45	%
Conductividad eléctrica	1542,47 (μ S/cm)	1000(μ S/cm)	43	96
Nitrógeno total	1,58 mg/L	0,315 mg/L	14	31
Fosforo total	0,1071 mg/L	0,035 mgP/L	8	17
La Clorofila A	0,066 mg/L	0,008 mg/L	6	13
DBO ₅	5 mg/L	5 mg/L	4	8
Zinc	0,323 mg/L	0,12 mg/L	3	6,6
Oxígeno disuelto	2,84mg/L	\geq 5 mg/L	1	2
Solidos suspendidos totales	59 mg/L	25 mg/L	1	2
Plomo	0,0027 mg/L	0,0025 mg/L	1	2
pH	8,69	6,5–9	-	0

Resultados del análisis de varianza entre los 4 sectores de 17 parámetros del lago Titicaca

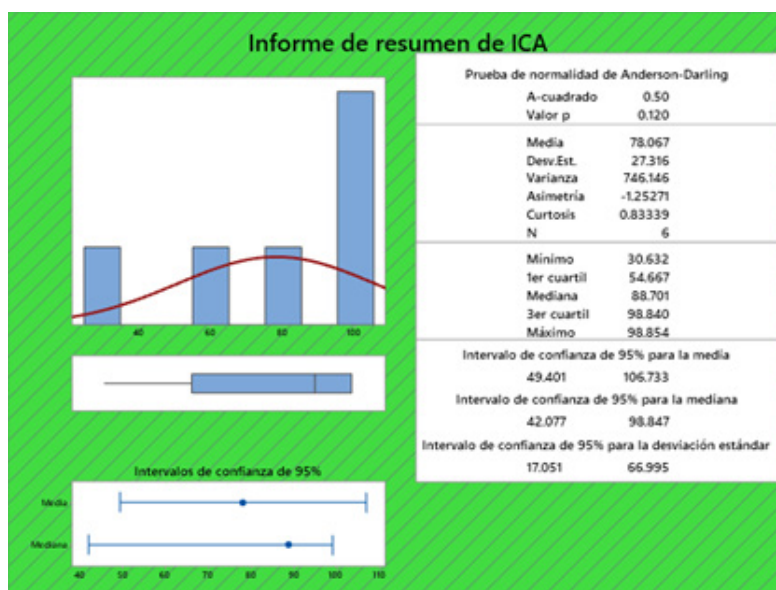
En los parámetros Aceites y grasas, Clorofila A, DBO₅, Fosforo total, pH, Hidrocarburos de petróleo, Solidos suspendidos totales, Nitrógeno total y Conductividad eléctrica todas las medias son iguales no hay cambios y diferencias porque tienen un valor $P < 0,05$. los datos no siguen una distribución normal por tal motivo rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1).

Por otro lado, los parámetros Amoniac, Oxígeno Disuelto, Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Zinc y Coliformes termotolerantes eléctrica todas las medias son iguales no hay cambios y diferencias porque tienen un valor $P > 0,05$ podemos decir que tienen una normalidad y aceptamos el H_0 los datos mencionados.

Se podemos observar que los datos provienen de una población normal ya que nuestro P obtenido es de $P > 0,05$; P obtenido = 0,12 y una media de 78,67 (Figura 2).

Figura 2

Prueba de normalidad



Otros autores realizaron un análisis factorial a sus resultados como es el caso de Miyittah et al. (2020) de los datos para identificar los principales factores que influyen en las variaciones en la calidad del agua. La extracción de los factores arrojó tres PC con valores propios > 1 que, en conjunto, representan el 73,65 % de la variabilidad total en el conjunto de datos de calidad del agua observado. Se puede aplicar diversos análisis estadísticos para validar nuestras hipótesis.

Bonilla et al. (2019) realizó una remoción de plomo del casi 96 %, en nuestro trabajo de investigación aseveramos que hicimos una remoción de agentes contaminantes que no cumplían el ECA 4 – Agua de un 95 % ya que de los 14 parámetros contaminados hicimos la remediación de 13 parámetros. Los analistas Israel & Quintanilla (2013) evaluaron la calidad del agua en el lago Poopó–Uru Uru, en base a un índice de calidad del agua que resulta teniendo en cuenta una clasificación de los resultados de los análisis químicos con respecto a los límites permisibles considerados en el desarrollo del proyecto CAMINAR, estos están expresados como porcentaje del agua pura; así el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones tendrá un valor del índice será cercano a 100 % lo que no nos dan estos autores es que significa el porcentaje si el 100 % es bueno o malo. Los parámetros que se analizaron en el cuadro superior son los que superaron el ECA4-Agua otros autores como Roque & Aravena (2021) investigaron y hallaron las diferencias en la interacción y la forma de percibir la problemática ambiental del lago Titicaca entre los pobladores rurales y urbano la contaminación de la bahía es el problema principal, y en lo rural, se ve la sobreexplotación de recursos naturales.

Se puede percibir que la contaminación a la larga causara enfrentamientos entre los pobladores urbanos y rurales.

Segundo objetivo

Obtención de carbón activado a partir del tratamiento de la Totora mediante activación química

En el segundo objetivo se observó que la cantidad de ácido sulfúrico empleada en el proceso de activación influye significativamente en las características físicas del carbón activado. En primer lugar, el tratamiento con 100 mL de H_2SO_4 generó una pasta poco húmeda, lo que indicaría una baja eficacia en la impregnación con los agentes contaminantes. En contraste, la utilización de 200 mL permitió obtener una pasta uniforme y consistente, considerada adecuada para los ensayos de filtrado. Por otro lado, cuando se emplearon 300 mL del agente activante, la mezcla resultó excesivamente acuosa, dificultando su manipulación y posterior aplicación. Asimismo, el tamaño de partícula obtenido de la Totora y procesada varió según el tamizado: con malla 200 mesh se alcanzaron granulometrías cercanas a los 75 μm , mientras que con malla 10 mesh se obtuvieron partículas de aproximadamente 2 mm. Además, se determinó que la totora secada en ambiente cerrado ofreció mejores condiciones para la activación química, ya que evitó la exposición a agentes contaminantes presentes en el entorno, lo cual favoreció la homogeneidad del material final. En conjunto, estos hallazgos evidencian que tanto la concentración del ácido como las condiciones de secado y el tamaño de partícula son factores determinantes en la calidad del carbón activado elaborado a partir de totora (Tabla 3).

Tabla 3
Proporciones de materia prima (Totora) frente al agente activante ácido sulfúrico

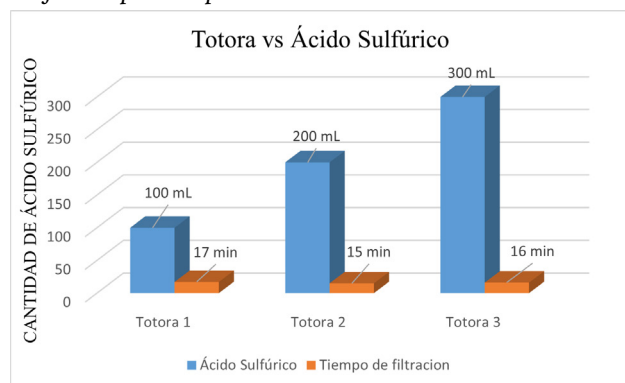
Muestra	Activante	Totora fresca	Tiempo de filtración de agua con CA en polvo	Totora seca carbonizada	Impregnación con ácido sulfúrico H_2SO_4
Totora 1 secado al aire libre	H_2SO_4	50 kg	17 min	0,85 kg	100 mL
Totora 2 secado en ambiente cerrado	H_2SO_4	50kg	15 min	0,79 kg	200 mL
Totora 3 secado en techo	H_2SO_4	50kg	16 min	0,83 kg	300 mL

Elección del mejor Carbón Activado realizando un cálculo estadístico

Nuestra mejor elección por tiempo de filtrado y darnos una mejor pasta fue elegir la Totora 2 secada en un ambiente cerrado, su filtración fue de 15 min y usando 20 mL de ácido Sulfúrico, a comparación de las otras dos muestras fue la más eficiente (Figura 03).

Figura 3

Selección de la mejor Totora y combinación con Ácido Sulfúrico para el proceso



La eficiencia del carbón activado obtenido a partir de totora está fuertemente condicionada por la concentración del agente activante y las condiciones en las que se realiza el secado del material precursor. En este estudio, se observó que la aplicación de 200 mL de H_2SO_4 permitió obtener una pasta uniforme y manejable, lo que favoreció el proceso de filtrado y su posterior desempeño, tal como también lo evidenció Gilmour et al. (2018) quienes resaltaron que una impregnación homogénea mejora considerablemente la eficiencia del material adsorbente. Por su parte Zavala et al. (2015) al trabajar con distintos métodos de activación (granular, pulverizado y con microondas), concluyeron que la técnica de activación influye significativamente en la capacidad de remoción de contaminantes. En ese mismo sentido Samudio et al. (2021) destacaron que la granulometría adecuada (producto del tamizado) y el secado controlado aumentan la porosidad del carbón y, por tanto, su eficacia en la adsorción. Asimismo, Obregón Valencia et al. (2020) señalaron que la modificación del carbón vegetal mejora su rendimiento cuando se emplea en condiciones controladas. Finalmente, Bonilla et al. (2019) reafirmaron que el uso de

residuos vegetales procesados cuidadosamente constituye una alternativa eficiente y económica para la remoción de metales pesados y otros contaminantes en medios acuosos.

Tercer objetivo

Agua superficial del sector Chimu tratada con carbón activado obtenido de la Totora para mejorar el Índice de Calidad del Agua

Los resultados de nuestro último objetivo mostraron una mejora significativa en la calidad del agua tras el tratamiento con carbón activado de totora. En comparación con la muestra sin tratamiento, la segunda muestra evidenció reducciones notables en parámetros como la turbiedad, el color aparente, los sólidos totales y los coliformes. Asimismo, se observó una mejora en el pH, acercándose a valores neutros, y una disminución en la conductividad eléctrica, lo que sugiere una menor concentración de sales disueltas. En conjunto, el tratamiento con carbón activado en polvo contribuyó a mejorar varios indicadores de calidad, posicionando a la totora como una alternativa eficaz en procesos de potabilización del agua (Tabla 4).

Con base en los resultados obtenidos, se confirma que el uso de carbón activado (CA) de totora mejora considerablemente la calidad del agua. Esta mejora coincide con lo señalado por Bonilla et al. (2019), quienes lograron una adsorción del 96 % de plomo usando CA de cáscara de naranja, demostrando el alto potencial de los materiales vegetales en la remoción de contaminantes. Asimismo, Zavala et al. (2015) comprobaron que el CA granular tiene mayor eficiencia de remoción, lo cual es consistente con la reducción de turbidez y coliformes observada en nuestro estudio. Por su parte Navarro et al. (2016) indicaron que la coronta de maíz redujo contaminantes en un 96,31 %, reforzando la efectividad del CA de biomasa. Finalmente, Obregón et al. (2020) mostraron que una modificación química del CA incrementa la absorción de metales como el mercurio, lo que coincide con nuestra mejora integral de parámetros fisicoquímicos. Por tanto, nuestros hallazgos respaldan la efectividad del CA de totora como una alternativa viable y eficiente para el tratamiento de aguas.

Tabla 4

Valores físico químicos del laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno

Parámetro físico químico	Unidad	Muestra 1 sin tratamiento	Muestra 2 con tratamiento con CA	Método analítico
Potencial de Hidrogeno	pH	6,16	8,67	Electrométrico
Temperatura	°C	15,2	15,2	Termómetro
Sólidos en suspensión	mg/L	50	1	Gravimétrico
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	47,58	57,99	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	7	2	Método Res. Mét.
Aceites y grasas	mg/L	66,83	13,8	Soxhlet
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	2,47	0,5	Espectrofotómetro
Fosforo	mg/L	0,62	1,5	Espectrofotómetro
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1905	1985	Electrométrico
Materia orgánica	%	99,82	0	Por calcinación
Nitratos	mg/L	50	0	Calorimétrico
Nitritos	mg/L	14	0,5	Calorimétrico
Nitrógeno total	%	0,035	0	Micro keldal
Turbiedad	UNT	12,4	1	Disco Secchi

Resultados del ICA de las 2 muestras llevadas al laboratorio

De las 2 muestras llevadas al laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química, 13 de los 14 parámetros evaluados no cumplían con el ECA 4 – Agua; sin embargo, luego del tratamiento con CA de Totorá hubo una mejora significativa de los 13 parámetros que no cumplían 10 mejoraron su condición quedando solo 3 que aún no cumplían con los ECA los parámetros que incrementaron sus cantidades de concentración fueron: EL pH (de 6,16 – 8,67), la DQO (de 47,58 – 57,99 mg/L) , el Fosforo (de 0,62 – 1,5 mg/L) y la conductividad

eléctrica (de 1905–1985 μS/cm), éste incremento no tiene una tendencia negativa como para el caso del pH se incrementó y entró al Estándar de Calidad Ambiental para Agua. Por otra parte, los parámetros que tuvieron una reducción en sus cantidades de concentración fueron: Sólidos en suspensión (de 50 – 1 mg/L), DBO₅ (de 7 – 2 mg/L), Aceites y grasas (de 66,83 – 13,8 mg/L), Nitrógeno amoniacal (de 2,47 – 0,5 mg/L), materia orgánica (de 99,82 – 0 %), nitratos (de 50 – 0 mg/L), nitritos (de 14 – 0,5 mg/L), nitrógeno total (de 0,035 – 0 mg/L) y la turbiedad (de 12,4 – 1 UNT) todo esto gracias a la filtración del agua con carbón activado en polvo obtenido de la Totorá (Tabla 5).

Tabla 5

Análisis del ICA con datos de laboratorio de la de la UNA Puno

Parámetro físico químico	Unidad	ECA Agua	Muestra 1	Muestra 2	Excedente M1	Excedente M2
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5 a 9,0	6,16	8,67	0,055194805	
Temperatura	°C	Δ3	15,2	15,2		
Sólidos en suspensión	mg/L	25	50	1		
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20	47,58	57,99	1,379	1,8995
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	7	2	0,4	
Aceites y grasas	mg/L	20	66,83	13,8	2,3415	
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,5	2,47	0,5	0,646666667	
Fosforo	mg/L	0,035	0,62	1,5	16,71428571	18,332
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1000	1905	1985	0,905	0,985
Materia orgánica	%	0,1	99,82	0	997,2	
Nitratos	mg/L	10	50	0	4	
Nitritos	mg/L	1	14	0,5	13	
Nitrógeno total	%	0,0315	0,035	0	0,111111111	
Turbiedad	UNT	5	12,4	1	1,48	
Sumatoria de excedentes					1039,232758	21,2165

Tabla 6

Continuación de la Tabla 5 en el cálculo de los valores del ICA con los datos obtenidos en laboratorio de Ingeniería Química

Cálculo del ICA	M1 sin tratamiento	M2 con tratamiento con CA de Totora
Número de parámetros que no cumplen el ECA	13	3
Número total de parámetros a evaluar	14	14
Número de datos que no cumplen el ECA	13	3
Número total de datos	14	14
F1	0,92857143	0,21428571
F2	0,92857143	0,21428571
Sumatoria normalizada de excedentes	74,2309113	1,51546429
F3	98,6707592	60,2459075
ICA	62,67	79,9177768
Calificación del ICA	MALO	BUENO

Los resultados del ICA muestran que el tratamiento con CA de totora logró una mejora sustancial en los parámetros fisicoquímicos del agua. Esto concuerda con lo hallado por Schoonenberg et al. (2010), quienes demostraron una alta eficacia del CA posterior a la ósmosis inversa en la remoción de microcontaminantes orgánicos en Europa. Otro autor que fue Miyittah et al. (2020), aplicaron el modelo CCME y comprobaron mejoras significativas en calidad de agua tras el tratamiento, observando variaciones estacionales similares a las obtenidas en nuestro estudio. Marselina et al. (2022) evaluaron el ICA del río Citarum y destacaron que el índice, mejora cuando se reducen parámetros como la DBO₅, sólidos en suspensión y turbiedad, tal como ocurrió en nuestra investigación. El científico Wu et al. (2017) evidenciaron que, a través de muestreos sistemáticos y tratamientos adecuados, es posible pasar de una calidad “marginal” a una “moderada” o “buena”, reflejando avances similares a los observados tras aplicar el CA de totora. Y concluye Akter et al. (2016), confirmaron que el pH y la conductividad eléctrica, aunque a veces se incrementen, pueden mantenerse dentro de los estándares de calidad cuando el tratamiento es eficiente, como sucedió en nuestra muestra tratada.

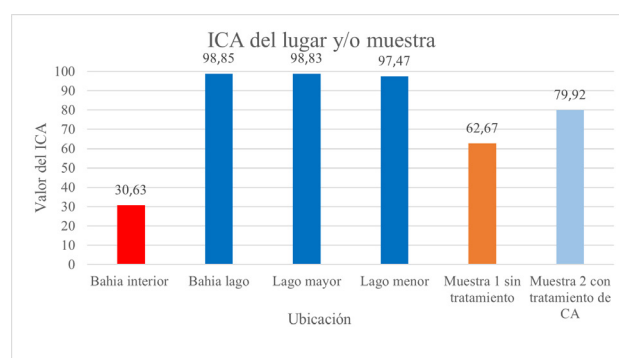
Calculo estadístico de los Valores del ICA en los 4 sectores del lago Titicaca y las dos muestras tomadas para el análisis independiente

Los sectores de la bahía lago, lago mayor y lago menor tienen un ICA con calificación excelente (puntuación 98,85; 98,83 y 97,47 respectivamente), pero en la bahía interior del lago se tiene una

calificación de pésimo con una puntuación de 30,63 reflejando que estas aguas son muy contaminadas, por otra parte las muestras que se tomaron de forma personal, la muestra uno sin ningún tipo de tratamiento presenta un ICA de 62,67 que lo coloca en una calificación de malo y luego del tratamiento (filtración) con CA de Totora en polvo esta misma agua muestra dos pudimos mejorar su ICA dándole un valor de 79,92 que lo pone en la posición de bueno (Figura 4).

Figura 4

Valores del ICA de los 4 sectores del lago Titicaca y 2 muestras de agua analizadas independientemente



Conclusiones

La aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) bajo la metodología WQI-CCME permitió determinar que, en términos generales, el lago Titicaca presenta un ICA=EXCELENTE, especialmente en el lago mayor, lago menor y el sector Chimú, lo cual lo hace apto para su potabilización y consumo humano. Sin embargo, se identificó que la bahía interior próxima a

la ciudad de Puno es la única zona clasificada con un ICA=MALO, al presentar elevadas concentraciones de contaminantes en la mayoría de los parámetros analizados. Estos resultados no solo permiten validar la precisión del índice WQI-CCME en la evaluación espacio-temporal, sino que también confirman la hipótesis alternativa, ya que se evidencia variabilidad significativa de calidad entre zonas del mismo cuerpo lacustre.

Los resultados demostraron que la totora es una materia prima viable para la obtención de carbón activado mediante activación química con ácido sulfúrico. Se obtuvo un carbón activado con buena porosidad y capacidad absorbente, especialmente en su presentación en polvo (200 mesh, 75 μ m), que resultó más eficiente que el formato granulado (10 mesh, 2 mm) en términos de tiempo de filtrado y retención de contaminantes. Su alta disponibilidad local y bajo costo la posicionan como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas en el altiplano.

Las pruebas realizadas con dos muestras de agua del sector Chimu demostraron que el uso de carbón activado en polvo de totora logró mejorar significativamente el ICA del agua de la bahía interior de lago Titicaca, pasando de una clasificación "MALA" en la muestra sin tratamiento a una "BUENA" tras la filtración. De los 14 parámetros evaluados, 10 mejoraron su condición, destacando reducciones drásticas en turbiedad (de 12,4 a 1 UNT), DBO₅ sólidos suspendidos, nitrógeno total y compuestos nitrogenados. Asimismo, el pH se ajustó a valores neutros, y aunque algunos parámetros como DQO y fósforo aumentaron, permanecieron dentro de límites aceptables. Estos hallazgos demuestran la capacidad del CA de totora para elevar la calidad del agua hasta niveles aptos para su potabilización y consumo humano.

Agradecimientos

Agradezco de forma muy especial a nuestra primera casa de estudio del departamento de Puno la Universidad Nacional del Altiplano por acogerme en sus aulas y darme sabiduría, a todos mis docentes desde mi jardincito, escuela, colegio y la universidad que me guiaron hasta llegar a esta meta anhelada.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan no tener conflicto de interés de ninguna índole.

Contribución de los autores

Conceptualización, Aguilar Mamani, D. A. (50%), Aguilar Laquis, L. F. (15%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (10%), Arazola Mamani, G. (10%); *Curación de datos*, Aguilar Mamani, D. A. (30%), Aguilar Laquis, L. F. (20%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E. S. (20%), Arazola Mamani, G. (10%); *Análisis formal*, Aguilar Mamani, D. A. (30%), Aguilar Laquis, L. F. (20%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E. S. (20%), Arazola Mamani, G. (10%); *Adquisición de fondos*, Aguilar Mamani, D. A. (20%), Aguilar Laquis, L. F. (20%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E. S. (20%), Arazola Mamani, G. (20%); *Investigación*, Aguilar Mamani, D. A. (30%), Aguilar Laquis, L. F. (10%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (30%); *Metodología*, Aguilar Mamani, D. A. (30%), Aguilar Laquis, L. F. (10%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (30%); *Administración del proyecto*, Aguilar Mamani, D. A. (30%), Aguilar Laquis, L. F. (10%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (30%); *Recursos*, Aguilar Mamani, D. A. (20%), Aguilar Laquis, L. F. (20%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E. S. (20%), Arazola Mamani, G. (20%); *Software*, Aguilar Mamani, D. A. (30%), Aguilar Laquis, L. F. (20%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E. S. (20%), Arazola Mamani, G. (10%); *Supervisión*, Aguilar Mamani, D. A. (40%), Aguilar Laquis, L. F. (10%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (15%); *Validación*, Aguilar Mamani, D. A. (40%), Aguilar Laquis, L. F. (15%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (15%); *Visualización*, Aguilar Mamani, D. A. (40%), Aguilar Laquis, L. F. (10%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (20%); *Redacción-borrador original*, Aguilar Mamani, D. A. (40%), Aguilar Laquis, L. F. (15%), Vargas Maron, J. A. (15%), Guerra Bueno, E. S. (15%), Arazola Mamani, G. (15%); *Redacción-revisión y edición*, Aguilar Mamani, D. A. (20%), Aguilar Laquis, L. F. (20%), Vargas Maron, J. A. (20%), Guerra Bueno, E.

S. (20%), Arazola Mamani, G. (20%). Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Referencias

- Akter, T., Jhohura, F. T., Akter, F., Chowdhury, T. R., Mistry, S. K., Dey, D., Barua, M. K., Islam, M. A., & Rahman, M. (2016). Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A crosssectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 35(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s41043-016-0041-5>
- Alsayednasser, B., Widnall, E., Mahen, H. O., Wright, K., Warren, F., Ladwa, A., Khazanov, G. K., Byford, S., Kuyken, W., Watkins, E., Ekers, D., Reed, N., Fletcher, E., Mcmillian, D., Farrand, P., & Dunn, B. D. (2022). Caracterización del comportamiento térmico, resistencia mecánica y reacción al fuego de los paneles de totora (*Schoenoplectus tatora*) y su potencial uso como material de construcción sustentable. *Behaviour Research and Therapy*, 104185. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105984>
- Alvarez, A., Panta, E. R., Reyes, F. G., José, J., Cabañero, A., Acosta, E. H., Ayala, C. R., Saenz, E. M., Salcedo, F. P., Nicolas, E. N., & Sosa, E. S. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Revista Internacional de Botanica Experimental*, 72–83. <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v75/v75a07.pdf>
- ANA. (2018). Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA-PE). Ediciones ANA, 44. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_ica-pe.pdf
- Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., & Rodríguez, K. (2010). Activated carbon production from carbonaceous precursors of the Department of Cesar, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 21(3), 87–96. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4289it.09>
- Bernardis, A. C., Fernandez, J. A., Céspedes Flores, F., Goldfarb, M. C., & Casco, J. F. (2008). Efecto de la quema prescrita de un pastizal sobre el balance de CO₂. *Agrotecnia*, 18(18), 11. <https://doi.org/10.30972/agr.018401>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bonilla Mansilla, H. D., Tejada Tovar, C., & Del Pino Moreyra, J. (2019). Obtención De Isotermas De Adsorción Del Plomo (Ii) Del Efluente Minero Río Anticoná-Cerro De Pasco Utilizando El Carbón Activado De Cáscara De Naranja. *Ciencia & Desarrollo*, 16(21), 29–36. <https://doi.org/10.33326/26176033.2017.21.727>
- Cacciola, G., Restuccia, G., & Mercadante, L. (1995). Composición de carbón activado para maquinas de adsorción de refrigeración. *Carbon*, 33(9), 1205–1210. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(95\)00051-E](https://doi.org/10.1016/0008-6223(95)00051-E)
- Carrillo Quijano, C. C., Albarracín Caballero, J., & Pereira Hernández, X. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz—una revisión. *Scientia et Technica*, 18, 422–429. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84929153019.pdf>
- Chen, Y., Zhu, Y., Wang, Z., Li, Y., Wang, L., Ding, L., Gao, X., Ma, Y., & Guo, Y. (2011). Estudios de aplicación de carbón activado derivado de cascarilla de arroz producido por proceso químico térmico una revisión. *Advances in Colloid and Interface Science*, 163(1), 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.01.006>
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2015). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería*

- Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 16(31), 66–71. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>
- D. Montenegro, & Méndez C., * N. Montero a r a h e r n a n d e z b J. (2021). Producción y caracterización de carbón activado a partir de rastrojos de piña para la eliminación de azul de metileno y tensoactivos. *Revista de Investigación y Tecnología Aplicadas*. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 833–846. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.031>
- do Amaral Junior, M. A., Matsushima, J. T., Rezende, M. C., Gonçalves, E. S., Marcuzzo, J. S., & Baldan, M. R. (2017). Production and characterization of activated carbon fiber from textile PAN Fiber. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 9(4), 423–430. <https://doi.org/10.5028/jatm.v9i4.831>
- El-Sembae, A. H., Sherby, S. I., & Mansour, N. A. (2019). Gossypol as an inducer or inhibitor in spodoptera littoralis larvae. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 16(2), 167–178. <https://doi.org/10.1080/03601238109372249>
- Gilmour, C., Bell, T., Soren, A., Riedel, G., Riedel, G., Kopec, D., Bodaly, D., & Ghosh, U. (2018). Activated carbon thin-layer placement as an in situ mercury remediation tool in a Penobscot River salt marsh. *Science of the Total Environment*, 621, 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.050>
- Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). Totorá (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) y su potencial como material de construcción. *Industrial Crops and Products*, 112(January), 467–480. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>
- Israel, & Quintanilla, J. (2013). ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL LAGO POOPÓ-URU URU APLICANDO HERRAMIENTAS SIG. *Revista Boliviana de Química*, 30(1), 91–101. . <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0250-54602013000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es>
- José, L., León, G., & Mónica, M. (2016). *Comparison With Commercial Carbons*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08327823.1999.11688398>
- Lim, W. C., Srinivasakannan, C., & Balasubramanian, N. (2010). Activation of palm shells by phosphoric acid impregnation for high yielding activated carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(2), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.04.004>
- Loza, A. (2020). *Productividad primaria, desarrollo fenológico y valor nutricional de la totora Schoenoplectus tatora (Kunth) Palla en hábitats perturbados por quema-lago Titicaca*. <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16844>
- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon*, 8(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>
- MINAM. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. . <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Miyittah, M. K., Tulashie, S. K., Tsyawo, F. W., Sarfo, J. K., & Darko, A. A. (2020). Assessment of surface water quality status of the Aby Lagoon System in the Western Region of Ghana. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04466>
- Navarro Santos, D., Cruz Cerro, G., Rimaycuna Ramírez, J., Solís, J. L., Keiski, R., & Gómez, M. M. (2016). Adsorción de azul de metileno en medio acuoso empleando carbones

- activados y carbones activados modificados con nanopartículas de ZnO. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(1), 61–71. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i1.52>
- Obregón Valencia, D., Ilse Acostaa, I. D., & Sun Kou, R. (2020). Remoción de mercurio empleando carbón activado preparado a partir de Aguaje (*Mauritia flexuosa*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(1), 70–87. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i1.274>
- Ocampo-Duque, W., Osorio, C., Piamba, C., Schuhmacher, M., & Domingo, J. L. (2013). Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: Application to the Cauca River, Colombia. *Environment International*, 52, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.11.007>
- Orellana Gavidia, S. (2023). Compartiendo El Agua: Conflictos (Micro) Políticos En El Acceso Y Distribución Del Agua — El Caso De La Isla De Amantani, Lago Titicaca, Perú. *Livros, El Derecho al agua*, 145–163. <https://doi.org/10.38116/9786556350486cap5>
- Quiñones Huatangari, L., Ochoa Toledo, L., Kemper Valverde, N., Gamarra Torres, O., Bazán Correa, J., & Delgado Soto, J. (2020). Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. *Enfoque UTE*, 11(2), 109–120. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.633>
- Rezende Azevedo, C., De Jesus Lima, A., & De Gois Santos, D. C. (2019). Aplicación de la IQA-CCME en el suministro de agua en la sede de la municipio de Itabaiana / SE. *XII Encuentro de Recursos Hídricos En Sergipe*, 0–4. <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/100/ENREHSE0054-1-20190228-185550.pdf>
- Roque, D. Q., & Aravena, C. (2021). Interacción con la Reserva Nacional del Titicaca y percepción de la problemática ambiental. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 22(1), 35–58. <https://doi.org/10.7201/EARN.2021.01.02>
- Samudio Oggero, A., Nakayama, H., Avalos, C. R., Cantero, I., Benitez, J. V., Ayala, J., Elkhaili, R., & Peralta, I. (2021). Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. *Revista de La Sociedad Científica Del Paraguay*, 26(2), 100–113. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>
- Schoonenberg Kegel, F., Rietman, B. M., & Verliefde, A. R. D. (2010). Reverse osmosis followed by activated carbon filtration for efficient removal of organic micropollutants from river bank filtrate. *Water Science and Technology*, 61(10), 2603–2610. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.166>
- SERNANP. (2020). *Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca 2021–2025*. 2, 1–75. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per206905anx.pdf>
- UNESCO. (2021). El valor del agua–Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. In *Ecología Política* (Vol. 26, Issue 19). <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es/node/24>
- Uyanik, A., Sen, N., & Yilmaz, M. (2011). Improvement of catalytic activity of lipase from *Candida rugosa* via sol-gel encapsulation in the presence of calix(aza)crown. *Bioresource Technology*, 102(6), 4313–4318. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.105>
- Van Auken, O. W. (2009). Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 2931–2942. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.023>
- Villanueva, C. M., Kogevinas, M., & Grimalt, J. O. (2001). Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gaceta Sanitaria*, 15(1), 48–53. [https://doi.org/10.1016/s0213-9111\(01\)71517-8](https://doi.org/10.1016/s0213-9111(01)71517-8)
- Wong, H., & Hu, B. Q. (2013). Aplicación del enfoque de agrupamiento de intervalos para la evaluación de la calidad del agua.

Journal of Hydrology, 491(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.009>

Wu, Z., Zhang, D., Cai, Y., Wang, X., Zhang, L., & Chen, Y. (2017a). Water quality assessment based on the water quality index method in Lake Poyang: The largest freshwater lake in China. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18285-y>

Wu, Z., Zhang, D., Cai, Y., Wang, X., Zhang, L., & Chen, Y. (2017b). Water quality assessment based on the water quality index method in Lake Poyang: The largest freshwater lake in China. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18285-y>

Zavala-Rivera, C., Dueñas Gonza, A. P., Huarachi Olivera, R. E., Yapo Pari, U. A., Mendoza-Puertas, R., Lázaro-Puma, R., & Bocardo-Delgado, E. (2015). Remoción anaerobia del colorante azul directo en Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) con carbón activado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(2), 55–64. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54276>

Zhu, J., Hu, H., Tao, S., Chi, X., Li, P., Jiang, L., Ji, C., Zhu, J., Tang, Z., Pan, Y., Birdsey, R. A., He, X., & Fang, J. (2017). Carbon stocks and changes of dead organic matter in China's forests. *Nature Communications*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00207-1>

