

Nueva metodología para el diseño rápido de sistemas de potabilización de agua en la enseñanza universitaria en Ingeniería ambiental

Novel methodology for easy design of water purification systems in high school education in environmental Engineering

Alejandro Hidalgo Valdivia^a, Javier Roque Rodríguez^b, Daniela Delgado Pineda^b

^aEscuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

^bEscuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, Universidad Católica de Santa María. Arequipa Perú.

INFORMACIÓN

Historia del Artículo

Recepción: 13/09/2019

Revisión: 22/10/2019

Aceptación: 28/11/2019

Palabras Clave

Nueva metodología. Diseño rápido. Sistemas de potabilización de agua. Enseñanza universitaria. Ingeniería ambiental

Key Words

Novel Methodology. Easy design. Water purification systems. High school education. Environmental engineering.

DOI

<https://doi.org/10.35286/veritas.v21i1.261>

RESUMEN

A nivel mundial día a día las fuentes de recurso hídrico superficial dotadas con cualidades aptas para consumo humano disminuyen resultando en afecciones a comunidades dependientes de dichas fuentes de este preciado recurso. Dada la situación actual, la opción más viable para favorecer a comunidades aisladas o alejadas es mediante la construcción de pequeñas plantas de tratamiento de agua potable (PTAP's) con módulos de diseño rápido y sistematizado que permita obtener las especificaciones para su construcción y operación en forma segura y sostenible con el tiempo cumpliendo con el ODS 6 (Agenda 2030, ONU). Dentro de este contexto, el diseño de sistemas para la obtención de agua potable se convierte en una herramienta valiosa que permite la configuración rápida de este tipo de infraestructura para levantar sistemas eficientes y completamente sostenibles en comunidades con escaso recurso hídrico. Actualmente, la enseñanza de este tipo de conceptos y fundamentos se encuadran en las curriculas de programas y escuelas profesionales a nivel universitario que imparten la especialización en ingeniería ambiental con escaso nivel informático y sistematizado decayendo en su aplicación por su manejo tradicional con cálculos tediosos y lentos en la obtención de resultados. Por ello en este estudio se propone una nueva dinámica de aprendizaje utilizando la aplicación de software de modelado 3D para el estudio de casos reales con aplicación práctica y resolución inmediata permitiendo el pleno desarrollo de la capacidad crítica en el grupo de alumnos que la utilizarán.

ABSTRACT

Globally, day-to-day sources of surface water resources endowed with qualities suitable for human consumption decrease resulting in conditions affecting communities dependent on these sources of this precious resource. Given the current situation, the most viable option to favor isolated or remote communities is through the construction of small potable water treatment plants (PTAP's) with fast and systematized design modules that allow obtaining the specifications for their construction and operation in a safe and sustainable way over time complying with SDG 6 (Agenda 2030, UN). Within this context, the design of systems for obtaining potable water becomes a valuable tool that allows the rapid configuration of this type of infrastructure to build efficient and completely sustainable systems in communities with low water resources. Currently, the teaching of this type of concepts and fundamentals are part of the curricula of programs and professional high schools education that teach the specialization in environmental engineering with a low level of computer science and systematization, declining its application due to its traditional management with tedious and slow calculations in obtaining results. Therefore, in this study a new learning dynamic is proposed using the 3D modeling software application for the study of real cases with practical application and immediate resolution allowing the full development of the critical capacity in the group of students who will use it

INTRODUCCIÓN

Actualmente la calidad del recurso hídrico viene siendo afectada por la presencia de contaminantes en diferentes concentraciones provenientes de diversas fuentes antropogénicas; esta problemática se intensifica con el hecho de que algunos de estos no pueden ser removidos por

métodos convencionales o simplemente no se les presta la debida atención. Una de las alternativas más viables es el diseño de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP's), las cuales presentan como finalidad obtener agua para consumo humano y proteger la salud pública garantizando su calidad (Corominas y otros, 2013).

La actividad de diseño de nuevas PTAP's y la optimización y mejora de las que se encuentran en operación involucra una serie compleja de etapas. El diseño completo de una PTAP resulta ser un problema complejo por diferentes, siendo las más destacadas las siguientes: i) falta de información confiable y verídica de las características y propiedades de las aguas crudas y, sobre todo; ii) la consideración que el proceso

Correspondencia:
ahidalgo@ucsm.edu.pe

integral que las compone involucra etapas fisicoquímicas íntimamente relacionadas por lo que es muy difícil construir su modelación generalizada para generar diseños que permitan describir satisfactoriamente la transformación de aguas crudas en potables (Gabaldo, Ferrer, Seco, & Marzal, 1997).

El proceso de diseño se hace aún más complejo si no se cuenta con herramientas que permitan una adecuada conformación; esta problemática se observa con notoriedad en la enseñanza a nivel universitario que se imparte en la currícula actual de la especialidad de ingeniería ambiental cuando los estudiantes de décimo semestre no reconocen la tarea de diseño por no poseer una metodología sistematizada, eficiente y garantizada para obtener este tipo de competencia. Dentro de este contexto, en el presente estudio se propone y aplica una nueva metodología ágil y eficaz con componentes fácilmente reconocibles por parte de los estudiantes para diseñar en forma rápida y segura una PTAP que se alimente de una fuente de agua natural para conseguir su transformación en agua potable construyendo su hoja de especificaciones para definir su operación y lograr su evaluación para su configuración final.

METODOLOGÍA

Identificación de parámetros de diseño, operación y control

Se identificaron sistematizadamente los parámetros de diseño con los que debe contar la operación de una PTAP; a) abastecimiento actual y futuro con horizonte de vida no menor 25 años; b) consumo diario de agua; c) capacidad mínima del reservorio; d) potencia de bomba para llenar el reservorio.

Conformación del diseño inicial usando la nueva metodología.

Para iniciar la tarea de diseño se utilizó Ecuaciones Matemáticamente Desarrolladas (EMD) generalizadas y secuenciales que fueron sintetizadas por la experiencia en el área de los autores.

Abastecimiento actual y abastecimiento futuro

Para esta etapa fue necesario estimar la población futura (Pf) utilizando la ecuación 1.

$$Pf = 303.83n^2 - 352.17n + Pa$$

Consumo diario de agua

La ecuación 2 permitió el cálculo del consumo de agua diario (C) utilizando los conceptos de población futura (Pf) determinada en una etapa previa conociendo la dotación (D) máxima suministrada.

$$C = Pf D_{máxima}$$

Parámetros de operación del reservorio

Se determinó el número de parámetros mínimos para el diseño del reservorio como se presenta a continuación:

Cálculo de volumen (V) de reservorio.

Se determinó el volumen del reservorio mediante el uso de la ecuación 3. Se asumió un reservorio decagonal (n=10) y el ángulo se determinó dividiendo 360/n. El volumen del reservorio resultó ser:

$$V = 15 Ap^3 \tan 36^\circ$$

Cálculo de apotema (Ap)

El apotema simplemente resultó ser el despeje de la ecuación 3.

$$Ap = \left(\frac{V \tan 36^\circ}{15} \right)^{1/3}$$

Cálculo de altura

Para calcular la altura, se utilizó la ecuación 4.

$$\frac{Hr}{Ap} = 3$$

Cálculo de volumen de agua

Este parámetro es de especial cuidado, ya que, el volumen de agua no debe exceder el 80 % de su capacidad con el fin de evitar una presión insostenible, para poder determinarlo se utilizó la ecuación 5.

$$V_{agua} (\% \text{almacenamiento}) = V \times \frac{\% \text{almacenamiento}}{100\%}$$

Cálculo de altura de agua dentro del reservorio

Se utilizó la ecuación 6 para calcular la altura dentro del reservorio

$$H_{agua} (\% \text{almacenamiento}) = Hr \times \frac{\% \text{almacenamiento}}{100\%}$$

Cálculo de altura para columnas internas

El cálculo de la altura para columnas internas se realizó mediante el uso de la ecuación 7.

$$H_{columnas} = \text{Presión mínima de salida de reservorio} - (\text{presión atmosf. local} + H_{agua})$$

Cálculo de la potencia de la bomba del reservorio

Es vital definir la potencia de la bomba requerida por el sistema a fin de no generar gastos innecesarios o evitar una insuficiencia posterior.

Los pasos se detallan a continuación:

Determinación de caudal

Se determinó el caudal utilizando la ecuación 8.

$$Q = \frac{\text{Flujo Masico}}{\text{Densidad}}$$

Cálculo de diámetro interno de tubería

Se realizó usando el nomograma de Hazen-Williams, utilizando la ecuación 9

$$D_{\text{interno}} = D_{\text{externo}} - 2 * \text{espesor}$$

Cálculo del área transversal de tubería

El área transversal se calculó usando la ecuación 10

$$A_{\text{transversal}} = \frac{\pi * D_{\text{interno}}^2}{4}$$

Cálculo de velocidad

Se usó la ecuación 11 para determinar la velocidad

$$v = \frac{Q}{A_{\text{transversal}}}$$

Cálculo de N° de Reynolds

El número de Reynolds se halló utilizando la ecuación 12

$$Re = \frac{D_{\text{interno}} * \text{densidad} * v}{\text{viscosidad}}$$

Cálculo de fricción del material

La fricción se halló mediante el uso de la ecuación 13

$$f = \left(\frac{1}{-3.6 + \log\left(\frac{6.9}{Re + (Rugosidad * D_{\text{interno}} + 3.7)^{1.11}}\right)} \right)^2$$

Cálculo de eficiencias

Una vez definida la longitud, altura y la longitud equivalente (A partir de los accesorios de la red de tuberías) se calcularon los datos “E fricción” y “E bomba” se pudo calcular las eficiencias utilizando la ecuación 14 y 15.

$$E_{\text{fricción}} = \frac{2fv^2 * (L + Leq)}{D_{\text{interno}}}$$

E bomba = 9.81 H+ E fricción

Cálculo de potencia teórica y potencia real

El cálculo de las potencias teórica se determinó utilizando la ecuación 16 y para el cálculo de la potencia real se utilizó la ecuación 17.

Potencia teórica= E bomba* Flujo másico

$$\text{Potencia real} = \frac{\text{Potencia teórica}}{\text{Eficiencia} * 100}$$

Caso de estudio

Se resolvió un caso de estudio para demostrar la facilidad del empleo de las Ecuaciones Matemáticamente Desarrolladas (EMD).

RESULTADOS

Caso de estudio

Evaluación final del impacto

Mediante la resolución del caso de estudio se logró comprobar la eficiencia de la nueva metodología, ya que, los estudiantes al usar estas ecuaciones pudieron diseñar los diferentes procesos de una manera más sencilla y eficaz, los resultados de cada EMD, se detallan a continuación:

Abastecimiento actual y abastecimiento futuro

Se determinó la población reemplazando los datos de la ecuación 1. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y en las Figuras 1,2.

Consumo diario de agua

Los resultados se muestran en la Tabla 1 y en Figura 3

Tabla 1: Estimación de la población futura y consumo de agua.

Año	n	Población, hab.	Consumo de Agua m³/día
2016	0	2 845	426.75
2018	2	3 356	503.40
2019	3	4 523	678.44
2044	28	231 187	34 678.00

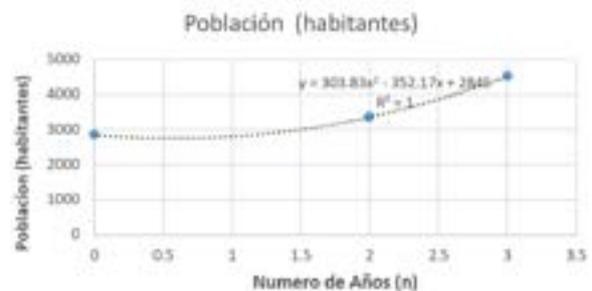


Fig. 1: Estimación de la población futura, empleando EMD.

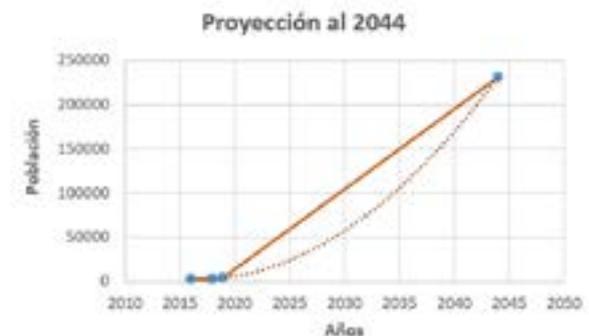


Fig. 2: Población estimada al año 2044

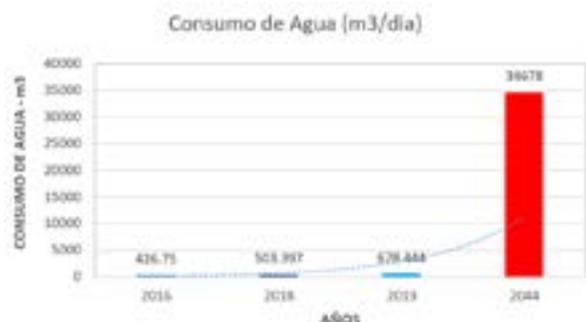


Fig. 3: Determinación del consumo de agua (m3/día)

Diseño del reservorio

Despejando y resolviendo las EMD, se determinó los parámetros restantes del diseño del reservorio, estos se detallan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Cálculos obtenidos mediante el uso de EMD para el diseño de un reservorio

CALCULOS - Diseño reservorio		
RESULTADOS		Unidades
Volumen total	350	m3
Tan 36°	0.726542528	
Hreservorio / apotema	3	m
Apotema	3.18	m
Altura	9.54	m
Lado	4.62	m
Porcentaje de Almacenamiento	80	%
VOLUMEN DEL AGUA AL (80%)	280	m3
ALTURA DEL AGUA AL (80%)	7.629	m
Presión mínima a la salida de reservorio	5	atm
Presión mínima a la salida de reservorio	51.65	mH2O
Presión Atmosférica Arequipa	0.75	atm
Presión atmosférica Arequipa mH2O	7.7475	mH2O
Altura de las Columnas	36.274	m

Cálculos finales

Mediante el despeje de las EMD, se determinó la potencia de la bomba, el caudal, diámetro interno de la tubería, área transversal, velocidad, eficiencias, potencia real y teórica. Estos resultados se detallan en la Tabla 3 y en la figura 1 y 2.

Tabla 3. Parámetros finales para el diseño de diseño

Dexterno	0.053975	m
Espesor	0.0021082	m
Dinterno	0.0497586	m
Area transv.	0.001944582	m2
Velocidad	4.1140	m/s
Reynolds (Re)	204707	
Propiedades del material de la tubería		
MOC	Tubos de latón o cobre	
Rugosidad	1.50E-03	m
Friccion (f)	0.014389	
Red de tubería		
Longitud (L)	750	m
Altura (H)	50	m
Efricción	8145	m2/s2
Ebomba	8635	m2/s2
Potencia teórica	69083	Watts
Eficiencia	90	%
Potencia real	76759	Watts
	101	HP

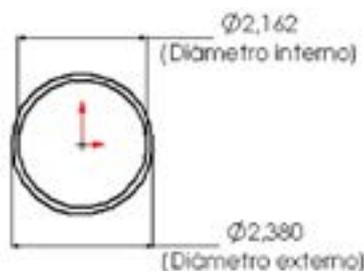


Fig. 4: Estimación de diámetro interno y externo

Diseño de la PTAP

Mediante el empleo de la nueva metodología se conformó los procesos que se deben de realizar en un PTAP

Cribado

Se estila el uso de éste procedimiento de forma general para tratar agua superficial, esto debido a la acumulación de materiales ajenos al cuerpo de agua. El método por excelencia es el uso de rejillas con un diámetro acorde al tamaño de los residuos a remover (El material de las rejillas depende de la velocidad del afluente y de los residuos comúnmente hallados).

Desarenado

El desarenado tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales relativamente finas, complementando de esta forma el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, así como para proteger las bombas y otros aparatos de la abrasión y/o evitar sobrecargas en las siguientes fases de tratamiento. El proceso de desarenado, en aguas potables, se

sitúa, frecuentemente, en la captación, siendo poco frecuente que se sitúe en la estación de tratamiento (Casero, 2007).

Pre decantación

La pre decantación es una operación que se efectúa con aguas muy cargadas. Tiene por objeto eliminar la totalidad de la arena fina y la mayor cantidad posible de barro. El umbral de concentración de materias en suspensión del agua bruta, a partir de la cual se hace necesaria la pre decantación, es función del tipo de decantador clarificador principal. Este umbral se encuentra entre las 2.000 y las 10.000 ppm (Casero, 2007).

Desaceitado y desengrase

El desaceitado es una operación de separación líquido-líquido, en tanto que el desengrase es una operación de separación sólido-líquido (siempre que la temperatura del agua sea lo suficientemente baja como para permitir la coagulación de las grasas) (Casero, 2007).

Los aceites y grasas, generalmente más ligeros que el agua, tienden a subir a la superficie. Por ello, todo dispositivo en el que se reduzca la velocidad del flujo, y que ofrezca una superficie tranquila, actúa como separador de grasa y aceite. La recogida en superficie puede efectuarse por vertido, arrastre con cinta sin fin y rascado, entre otros (Casero, 2007).

Sedimentación

Es el proceso físico mediante el cual las partículas en suspensión presentes en el agua son removidas o separadas del fluido, debido al efecto de la gravedad. Dichas partículas deberán ser más densas que el agua, y el resultado que se obtenga será un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Chulluncuy, 2011).

Mezclado

El mezclado sirve para conseguir una rápida dispersión de los productos químicos en el agua cruda y requiere un alto grado de turbulencia y de disipación de energía (Casero, 2007). Los tiempos de retención para la mezcla rápida son tan cortos como 10 a 20 segundos, aunque algunos organismos pueden exigir otros valores superiores. (Casero, 2007).

Filtración

El tamaño de las partículas que quedan retenidas en mayor o menor proporción en los granos del lecho filtrante varía desde floculos de 1mm hasta coloides, bacterias y virus inferiores a 10-3 mm. Cuando el floc tiene un volumen mayor que el de los poros del lecho filtrante quedará retenido por cernido en los intersticios del lecho; sin embargo, en el caso de las bacterias cuyo tamaño es mucho menor que el de los poros quedarán removidas por una serie de fenómenos (Chulluncuy, 2011).

Aireación

Sirven para remover o introducir gases en el agua. Pueden ser utilizados en la oxidación de compuestos solubles y remoción de gases indeseables. Las tomas de aire para aeración en tanques con aire difundido no pueden ser hechas en lugares que presenten impurezas atmosféricas perjudiciales al proceso de tratamiento. Deben estar protegidas con filtros

o tela metálica de acero inoxidable o de latón y el sistema mecánico para la producción de aire no puede ser del tipo que disipe el aceite en el aire a ser comprimido (Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2006).

DISCUSIÓN

La nueva problemática a las que hoy en día no vemos afectados en torno a la falta de disposición de recurso hídrico, genera gran interés en proponer técnicas y procesos que permitan contrarrestar estos efectos, se comprobó que mediante el empleo de la metodología propuesta utilizando las ecuaciones matemáticamente desarrolladas (EMD) los alumnos del programa profesional de ingeniería ambiental pudieron elaborar más rápida y eficazmente los diseños de las PTAPs , de esta forma se enriqueció sus conocimiento adoptándoles de mayor capacidad de resolución de problemas. Esta metodología puede ser usado incluso por personas que no tengan cierto de grado de especialización y que tengan interés en proponer alternativas de solución.

Lista de símbolos

- Pf*: Población Futura
- n*: diferencia de años
- Pa*: Población actual
- C*: Consumo de agua (m³/día)
- Pf*: Población Futura (hab)
- D_{max}*: Dotación máxima actual (m³/hab.día)
- V*: Volumen total del reservorio (m³)
- Ap*: Apotema (m) *Hr*: Altura del reservorio (m)
- Ap*: Apotema (m)
- V_{agua}*: Volumen del agua al % de almacenamiento(m³)
- V*: Volumen total (m³)
- H_{agua}*: Altura del agua al % de almacenamiento(m)
- Hr*: Altura del Reservorio (m)
- D_{interno}*: Diámetro interno de la tubería
- D_{externo}*: Diámetro externo de la tubería
- A_{transversal}*: Área transversal de la tubería
- D_{interno}*: Diámetro interno de la tubería
- v*: velocidad
- Q*: Caudal
- A_{transversal}*: Área transversal de la tubería
- Re*: Reynolds
- v*: velocidad
- D_{interno}*: Diámetro interno de la tubería
- Donde:
- f*: fricción
- v*: velocidad
- L*: Longitud
- Leg*: Longitud equivalente
- D_{interno}*: Diámetro interno de la tubería
- H*: Altura de la red de tubería

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Petróvic, M.; Gonzales, S.; Barceló, D. (2003). Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, (10), pp. 685 - 696,
2. Teodosiu, C.; Gilca, A.; Barjoveanu, G.; Fiore, G. (2018). Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment. *Cleaner Production*, (197), pp. 1210-1221,
3. Chun Ming, C.; Aroua, M.; Hussain, M.; Wan Ismail, W. (2015). Practical performance analysis of an industrial-scale ultrafiltration membrane water treatment plant. *Taiwan Institute of Chemical Engineers*, (46), pp. 132-139,
4. Wintgens, T.; Salehi, F.; Hochstrat, R.; Melin, T. (2008). Emerging contaminants and treatment options in water recycling for indirect potable use. *Water Science et Technology*, (57), pp. 99-107,
5. Stefan, M. (2018). *Advanced Oxidation Processes for Water Treatment*. United Kingdom: IWA publishing
6. Broadwell, J. (2016). *A Practical Guide to Particle Counting for Drinking Water treatment*. Boca Ratón: CRC Press
7. López-Roldán, R.; Rubalcaba, A.; Martín Alonso, J.; González, S.; Martí, V.; Cortina, J. (2016). Assessment of the water chemical quality improvement based on human health risk indexes: Application to a drinking water treatment plant incorporating membrane technologies. *Science of the Total Environment*, (540), pp. 334-343,
8. Jianglin, H.; Wenhai, C.; Minghao, S.; Bin, X.; Naiyun, G.; Shunke, D. (2018). Comparison of drinking water treatment processes combinations for the minimization of subsequent disinfection by-products formation during chlorination and chloramination. *Chemical Engineering Journal*, (335), pp. 352-361,
9. Kroll, D.; Salzer, C.; Vishnu, R.; Young, R. (2017). *Intelligent Innovation in the Water Sector. Opportunities and Challenges in Sensor Design for the Drinking and Wastewater Markets*. The Electrochemical Society, (80), pp. 1355-1367,
10. Drewes, J.; Khan, S. (2015). Contemporary design, operation, and monitoring of potable reuse systems. *Journal of Water Reuse and Desalination*, (5), pp. 1-7,
11. Constantino, L.; Barlocco, D. (2019). Teaching an Undergraduate Organic Chemistry Laboratory Course with a Tailored Problem-Based Learning Approach. *Journal of Chemical Education*, (96), pp- 888-894,
12. Lu, L.; Xuesong, X.; Papelis, Ch.; Pei, X. (2017). Innovative use of drinking water treatment solids for heavy metals removal from desalination concentrate: Synergistic effect of salts and natural organic matter. *Chemical Engineering Research and Design*, (120), pp. 231-239,
13. Abdollah, D.; Meghdad, P.; Sadegh, H.; Mehdi, F.; Razie, K.; Tahere, A. (2014). Evaluating efficiency of H₂O₂ on removal of organic matter from drinking water. *Desalination and Water Treatment*, (54), pp. 1589-1593,
14. Adib, A.; Youngwoon, K.; Jie, Z.; Boyer, T.; Qiong, Z. (2015). Environmental and economic sustainability of ion exchange drinking water treatment for organics removal. *Cleaner Production*, (104), pp. 413-421,
15. R. Proctor, C.; Hammes, F. (2015). Drinking water microbiology — from measurement to management. *Current Opinion in Biotechnology*, (33), pp. 87-94,
16. Fernandes, D.; Sabogal, L.; Kennedy, W. (2016). Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). *Ecological Engineering*, (94), pp. 516-524,
17. Ming, S.; Dongmin, J.; Jianwei, Y.; Vogt, R.; Jingshi, W.; Wei, A.; Min, Y. (2017). Reducing production of taste and odor by deep-living cyanobacteria in drinking water reservoirs by regulation of water level. *Science of the Total Environment*, (574), pp. 1477-1483,
18. Weber, M.; Rinke, K.; Hipsey, M., Boehrer, B. (2017). Optimizing withdrawal from drinking water reservoirs to reduce downstream temperature pollution and reservoir hypoxia. *Journal of Environmental Management*, (197), pp. 96-105,
19. (14 de Julio de 2019). Operational short-term water quantity and quality forecasting in reservoirs intended for potable water production.. SAO/NASA ADS Recuperado de <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..20.7090R>
20. Harangus, K.; Kátai, Z. (14 de Julio de 2019). Algorithmic thinking vs. text comprehension. *Science Direct. Procedia Manufacturing* Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324204047_Algorithmic_thinking_vs_text_comprehension
21. Polizzi, N. (2015). Open-Access, Interactive Explorations for Teaching and Learning Quantum Dynamics. *Journal of Chemical Education*, (92), pp. 2161-2164,
22. Hinde, R.; Kovac, J. (2001). Student Active Learning Methods in Physical Chemistry. *Journal of Chemical Education*, (78), p. 93,
23. MINSA. (14 de Julio de 2019). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. MINSA. MINSA Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
24. Qingji, X.; Zhili, L.; Chunyan, D.; Meiling, L.; Youyu, Z.; Ming, M.; Shaoxi, X.; Xiaoming, X.; Dulin, Y.; Shouzhao, Y. (2007). Electrochemical Quartz Crystal Microbalance Monitoring of the Cyclic Voltammetric Deposition of Polyaniline. A Laboratory Experiment for Undergraduates. *Journal of Chemical Education*, (84), p. 681,
25. Gerlach, S.; Reiser, R.; Brecke, F. (1977). Algorithms in Education. *Educational Technology*, (17), pp. 14-18,
26. Krewski, D., Balbus, J., Butler-Jones, D., Haas, C., Isaac-Renton, J., Roberts, K. J., & Sinclair, M. (2002). Managing health risks from drinking water – A report to the Walkerton Inquiry. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 65(21), 1635–1823.