

Desarrollo de un sistema electrónico que aporta a la potabilización de agua mediante electrofloculación, ozonificación y radiación ultravioleta

Development of an electronic system that contributes to the water purification through electroflocculation, ozonation and ultraviolet radiation

Javier VARGAS ¹

Recibido: 13/02/2018 • Aprobado: 30/03/2018

Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

El artículo presenta los resultados de investigación de un sistema electrónico que aporta a la potabilización de agua. El sistema utiliza técnicas de electrofloculación, ozonificación y radiación ultravioleta, con la finalidad de contribuir a los desafíos del desarrollo sostenible respecto al acceso de agua potable para todas las personas. El desarrollo tecnológico propuesto permitió recuperar aguas contaminadas por nivel de turbidez, microorganismos aeróbicos, coliformes totales y coliformes fecales. El sistema electrónico implementado permitió el tratamiento de 30 litros de agua por hora.

Palabras-Clave: Agua potable; Electrocoagulación; Radiación Ultravioleta; Ozonificación.

ABSTRACT:

The article presents the research results of an electronic system that contributes to the potabilization of water. The system uses techniques of electro-flocculation, ozonation and ultraviolet radiation, in order to contribute to the challenges of sustainable development regarding access to drinking water for all people. The proposed technological development allowed the recovery of contaminated waters by level of turbidity, aerobic microorganisms, total coliforms and fecal coliforms. The electronic system implemented allowed the treatment of 30 liters of water per hour.

Keywords: Drinking water; Electrocoagulation; Ultraviolet Radiation; Ozonation.

1. Introducción

El desarrollo sostenible busca mitigar el impacto del consumo de la generación presente y previendo recursos para las generaciones futuras, por tal razón el tema de aprovechamiento del agua como recurso renovable es indispensable para los objetivos del nuevo milenio, esta aprovechamiento puede ser desde la generación de tecnología que genere energía a partir del agua (Vargas et al., 2016) o como en el caso de esta investigación donde el objeto de estudio es la potabilización del recurso hídrico.

De acuerdo con UNEP (2010) el 80 por ciento de las aguas residuales en países en desarrollo fluye hacia cuerpos de aguas naturales sin tratamiento alguno; Esto causa detrimento del ecosistema, sanidad y promueve las enfermedades de transmisión por agua pues los ríos se han convertido en colectores de agua residual. El agua resultante de verter agua contaminada en los cuerpos de agua naturales es inutilizable si no se cuentan con tecnologías avanzadas de tratamiento de agua pues tal es su nivel de degradación que incluso estos cuerpos de agua son declarados biológicamente muertos. Según PNUD (2014), para 2025 se espera que la escasez de agua afecte a más de 1.800 millones de personas. El doble desde 2006 cuando cerca de 1.100 millones de personas en el mundo carecían de acceso a agua potable. Colombia no es ajena a esta situación, a pesar de ser considerado como un poseedor de los mayores volúmenes de agua en el mundo, tiene 10 cuencas con mayor dificultad de recuperación; Cuencas como la de Bogotá, mencionan expertos de Minvivienda (2004), tardarían muchos años en descontaminarse a pesar de las millonarias inversiones, por eso el gobierno ha tomado medidas para administrar el agua del territorio nacional por medio del Proyecto de ley No 365 de 2005, en el cual se decreta la planificación y administración del recurso hídrico.

En esta investigación se propuso como objetivo diseñar e implementar un prototipo electrónico que aporte a la potabilización de agua, como respuesta a la problemática mencionada. El prototipo se fundamentó en la remoción de contaminantes biológicos y coloides usando las técnicas de electrofloculación, ozonificación y radiación ultravioleta. Por tanto el prototipo diseñado se propone como una alternativa tecnológica sostenible y viable en comparación con los procesos convencionales de tratamiento de agua, ya que acelera los procesos de coagulación y floculación de coloides que poseen velocidades de asentamiento bajas usando técnicas electroquímicas; para los procesos de eliminación de organismos patógenos en la descontaminación biológica, se propone el uso de radiación ultravioleta y ozonificación.

Con el uso de este sistema las aguas residuales provenientes de la industria podrán ser tratadas antes de verterse a cuerpos de agua naturales, disminuyendo así el impacto negativo sobre el agua natural alcanzando altos índices de descontaminación que contribuyen a la sanidad. De igual manera, se puede transportar el prototipo a cualquier población que no tenga acceso a agua potable como es el caso de municipios en el departamento del Meta, Magdalena, Guaviare, Caquetá y Putumayo, pues entre 25% y 50% de estos no cuentan con sistemas de potabilización UNICEF(2006). El prototipo puede ser implementado en poblaciones que no cuenten con electricidad pues está diseñado de forma modular y para ser compatible con energía solar de baja potencia.

Una vez implementado el sistema electrónico se evidenció que la efectividad del prototipo fue del 100% para una capacidad de 30 litros de agua almacenamiento en tanques y el tiempo de exposición fue de 1 hora para aguas con nivel de turbidez de 25 NTU, y de 15 minutos para aguas limpias.

El sistema de instrumentación electrónico implementado se basó en sensores de efecto hall, sensor de pH, tarjetas de desarrollo, sensor de radiación ultravioleta e interfaz gráfica de usuario con protocolo de internet de las cosas con el fin de realizar un monitoreo constante mediante aplicativo web.

En consecuencia, se realizó una revisión sistemática de literatura la cual presenta los antecedentes que preceden la investigación realizada; en este sentido, se encuentra el interés de diversos investigadores por el mismo objeto de estudio enmarcado en la potabilización de agua. De esta manera, en 2011 proyectaron una estrategia para el abastecimiento de agua a comunidades marginadas y urbanas, donde se formularon estrategias y escenarios para el abastecimiento de agua para el consumo humano, uso doméstico y productivo, considerando condiciones socioculturales, económicas y modos de producción. (Martínez,2011)

Delgado (2011), propone un modelo de negocios para un empresa de potabilización de agua para Venezuela, logrando una utilidad Neta del 32% en seis meses, esta utilidad fue debido a la incorporación de un filtro residencial que represento el 21% en el primer mes de lanzamiento.

Para el año 2012, se realizó el diseño de un filtro con piroclastos gruesos para la purificación del agua de la comunidad de Vizcaya (baños-Tungurahua), en la comunidad de Vizcaya, la calidad del agua no cumple con las normas requeridas, siendo esta una de las razones que motivaron el diseño y la aplicación de un filtro con piroclastos (material volcánico poroso) gruesos, para la purificación del agua de la comunidad. (Villota, 2010)

Samayoa (2013), desarrolló un equipo para purificación de agua a bajo costo, la metodología fue orientada a prototipos logrando un sistema de purificación de agua modular con el objetivo de potabilizar agua que cumpla los normativos nacionales e internacionales en relación al agua potable.

En este orden, Barrientos, Tello & Palomino (2011), desarrollaron un sistema de purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la

comunidad de kuychiro, donde se logro purificar aguas del río Kuychiro contaminado para consumo humano por. El método de filtración lenta de arena y verificar que pueda utilizarse para consumo humano, no obstante presenta debilidades en el mantenimiento y sustentabilidad del sistema.

Así mismo, Wright & Cairns (2014), desarrollaron un trabajo el cual se tituló "Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta", donde por medio de la luz ultravioleta lograron aportar a la eliminación de ciertos microorganismos de tipo bacteriano, mostrando además las diferentes bondades que llevaba consigo utilizar dicho método.

Pérez (2014), desarrolló una tesis que se tituló "Diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación en modelos de radiación UV, donde se propuso diseñar un radiómetro ultravioleta de bajo costo, para su aplicación en proyectos desarrollados en México que involucren la medición del recurso solar, en específico el espectro que comprende a la radiación UV (300-400nm). Aplicando conocimientos de circuitos y sistemas electrónicos.

En 2014 se desarrolló un sistema de instrumentación y control para el almacenamiento de agua potable, mostrando las necesidades de almacenar en óptimas condiciones el recurso hídrico, el cual satisface necesidades básicas de la sociedad. (Vargas *et al.*, 2014)

En 2017 se presenta una investigación en el análisis prospectivo en el sector del agua, con el fin de identificar los desarrollos tecnológicos necesarios para innovar en los procesos de tratamiento, almacenamiento y comercialización del agua, se destaca la incorporación de la biotecnología en el sector. (Escorsa *et al.* 2017)

2. Metodología

La investigación realizada fue de enfoque cuantitativo, de tipo interactivo y experimental, se utilizó una metodología por fases, distribuidas en tres etapas, electro floculación, ozonificación y radiación ultravioleta, las cuales se describen a continuación.

Fase 1. Electrofloclación

La fase de electrofloclación consiste en utilizar un dispositivo basado en electrodos de aluminio, la selección de este metal es debido a que este presenta un bajo nivel de oxidación, los electrodos se denominó celda electrolítica. Esta celda se alimenta de una fuente de voltaje en corriente directa con un nivel de 12 voltios, el cual puede provenir de la red eléctrica comercial acoplado por ciclo conversor de 120 voltios en corriente alterna a 12 voltios en corriente directa, adicionalmente tiene la opción de interconexión con un sistema de generación eléctrica por radiación solar fotovoltaica.

Adicionalmente se instaló una trampa para partículas grandes que logran pasar a la segunda etapa, se diseñó un filtro basado en porosidad, en material polietileno extendido, el cual se encarga de llevar consigo diferentes partículas que se adhieran a él o que en su defecto queden atrapadas en sus poros.

Fase 2. Ozonificación

Para el control de esta fase del filtrado se utiliza una tarjeta de desarrollo Arduino leonardo, el programa consiste en generar una salida PWM durante un intervalo de tiempo, periódicamente. Esta salida se genera siempre y cuando un pin de entrada de la tarjeta se encuentre en estado HIGH lo cual se puede controlar desde la interfaz gráfica del operador, el modulador de ancho de pulso, permite excitar la base de una interfaz de potencia electrónica y generar por inducción electromagnética un voltaje de 10 kilovoltios (Vargas, Arango, and Isaza 2015), necesario para la producción de ozono.

Fase 3. Luz ultravioleta

En la última etapa, se utilizó la radiación ultravioleta para purificar el agua. En el tanque de almacenamiento se realizó la adecuación de luminarias led ultravioleta. Se realzo un sistema de control para regular el nivel de intensidad de las lámparas y lograr el punto óptimo de eficiencia de la radiación UV.

Fase 4. Validación

En esta fase se realizaron las mediciones de turbidez, concentración de ozono y pH del agua tratada por el sistema implementado, adicionalmente se realiza un análisis microbiológico del agua de entrada y del agua de salida con el fin de diagnosticar si el agua tratada es apta para el consumo humano. El análisis microbiológico se determinara la presencia de microorganismos aeróbicos, coliformes totales y fecales.

3. Resultados

La cantidad de agua tratada de acuerdo al diseño elaborado, fue de 30 litros almacenado en tanques de forma cubica, una vez expuesta el agua al tratamiento planteado por un tiempo de 60 minutos, se encontró que el agua contaminada proveniente de proceso industrial perdió nivel turbidez, recuperando el nivel de turbidez natural. Las sustancias coloidales se aglomeraron y posteriormente formaron flocs. La figura 1, presenta el proceso de floculación y por tanto recuperación del nivel de turbidez del agua.

Figura 1
Proceso de electro floculación



Fuente: Elaboración autor

Para la instrumentación y supervisión del nivel de turbidez se utilizó el sensor SEN0189, cuyas características se presentan en la tabla 1. Este sensor detecta partículas en suspensión en el agua mediante emisión y recepción de luz, también la frecuencia cambia con la cantidad de sólidos en el agua, por tanto en la medida que aumentan los sólidos en el agua el nivel de turbidez aumenta.

Tabla 1
Características eléctricas del sensor de turbidez SEN0189

Descripción	Unidad
Voltaje de operación	5V DC
Corriente	40mA (MAX)
Tiempo de respuesta	<500ms
Método de salida	Análogo
Salida analógica	0-4.5V
Salida Digital	High/Low
Temperatura de operación	5°C~90 °C

Temperatura de almacenamiento	-10°C~90°C
Peso	30g.

Fuente. Fabricante

La tabla 2, presenta los niveles de turbidez medidos en el prototipo implementado, mostrando que en 60 minutos el nivel de turbidez desciende al nivel permitido por la Organización Mundial de la Salud para el agua potable.

Tabla 2
Tabla de medición de turbidez

Tiempo (Minutos)	Nivel de Turbidez (NTU)
0	25
10	21
20	17
30	12
40	9
50	5
60	1
70	1
80	1
90	1

Fuente: Elaboración autor

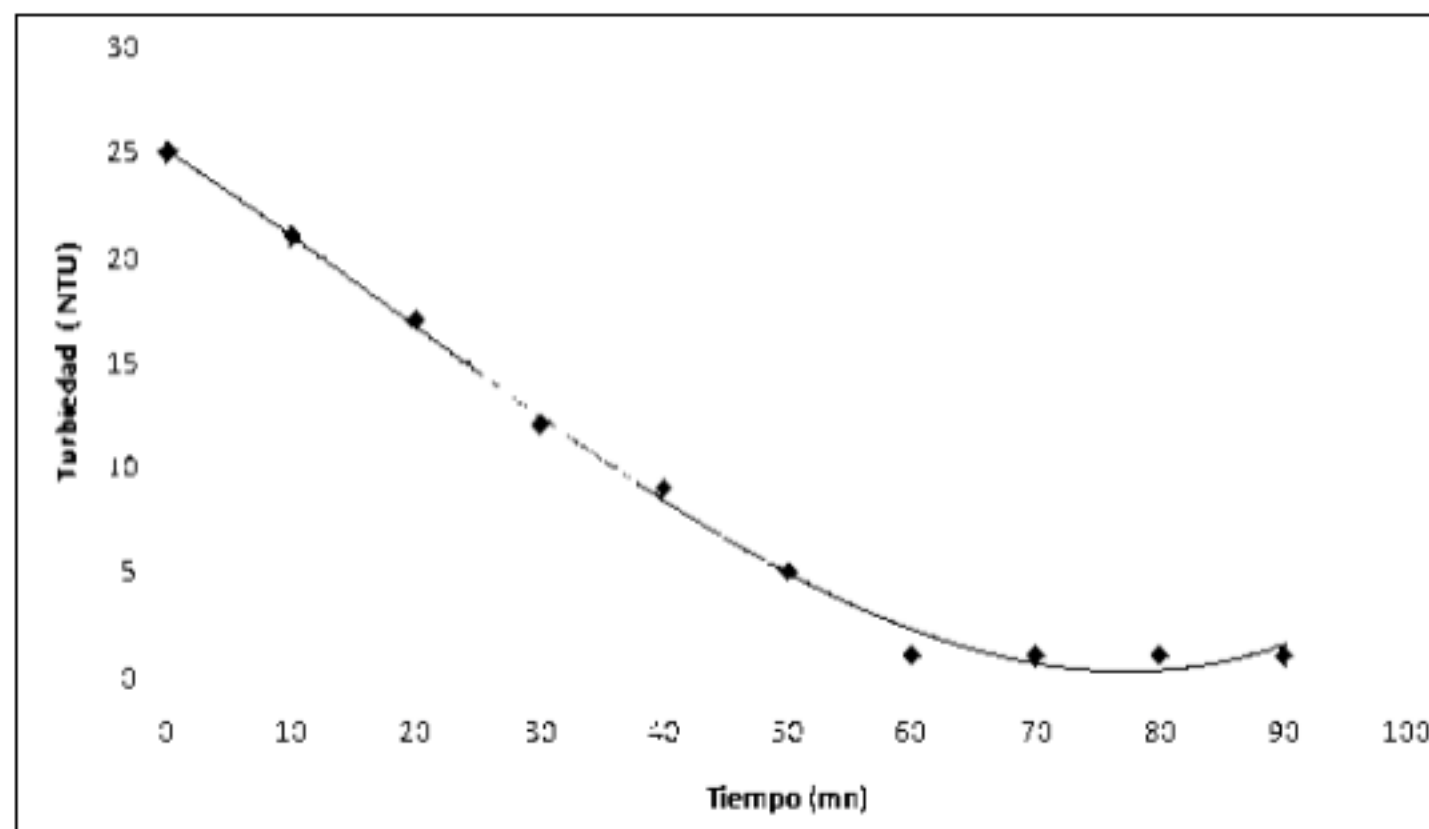
La función de transferencia del comportamiento del sistema de electrofloculación mediante celdas de aluminio se expresa en la ecuación (1), donde x representa el tiempo de exposición a electrolisis y $f(x)$ la turbidez del agua.

(1)

La figura 2, presenta el ajuste de curvas y regresión polinomial de tercer orden.

Figura 2

Comportamiento de la turbidez del agua sometida al sistema de electrofloculación.



Fuente. Elaboración autor

Respecto al sistema de ozonificación, se implemento con un transformador de muy alta tensión MAT, el voltaje de salida controlado fue de 10 kilo voltios, la tensión de salida se acoplo con un sistema intercambiador de oxigeno el cual se instaló en el tanque de almacenamiento de agua, la tabla 3, registra los datos obtenidos de la medición de la concentración de ozono en el agua sometida a la ozonificación.

Tabla 3
Medición de concentración de ozono

Tiempo (minutos)	Concentración de Ozono (mg/L)
5	0
10	0,5
15	0,8
20	0,9
25	1,2
30	1,3
35	1,5
40	1,6

45	1,6
50	1,7
55	1,7
60	1,7

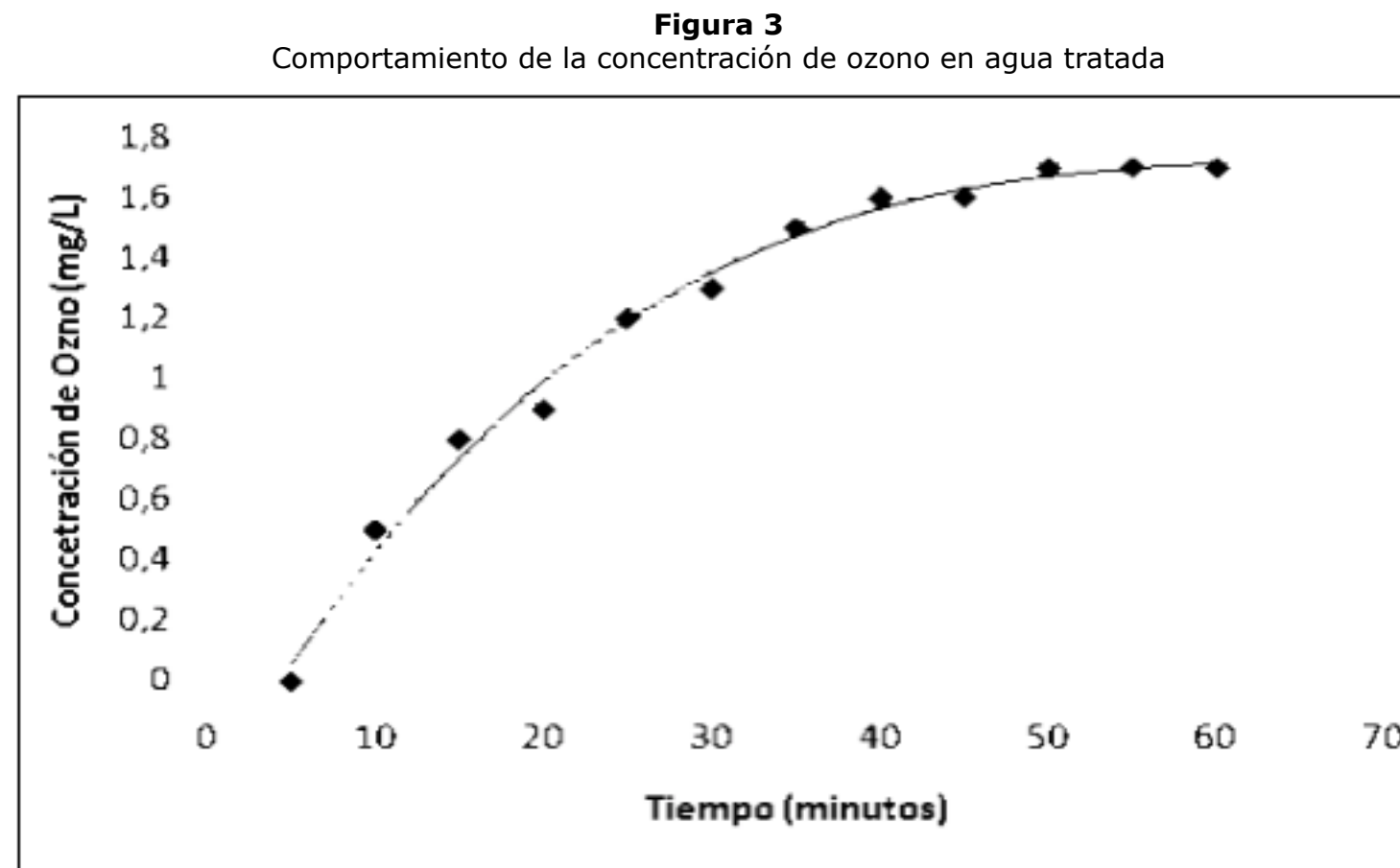
Fuente. Elaboración autor

La ecuación 2 presenta el modelamiento del sistema con una correlación de 0,991.

(2)

$$R^2 = 0,991$$

La figura 3, presenta el ajuste de curva del sistema de ozonificación, donde se observa que el tiempo de estabilidad es a los 60 minutos con un nivel de concentración de ozono de 1,6mg/L.



Fuente. Elaboración autor

Finalmente, el agua tratada fue sometida a radiación lumínica ultravioleta durante un tiempo de 5 minutos, Una vez concluido el proceso se realizó la medición de pH a la salida del sistema comparando con el pH medido antes de iniciar el tratamiento, en consecuencia se obtuvo un pH de, 8.9 para el agua sin tratar y de 7.3 para el agua tratada. Las muestras obtenidas antes y después del tratamiento se presentan en la figura 4, a las cuales se les realizó el análisis microbiológico.

Figura 4
Muestras para el análisis microbiológico



Fuente. Elaboración Autor

La tabla 4, presenta el análisis microbiológico realizado, donde se aprecia que el agua sin tratamiento no es apta para el consumo humano, debido a los niveles de microorganismos aeróbicos, coliformes fecales y coliformes totales.

Tabla 4
Resultados análisis microbiológico

Característica	Agua Sin tratamiento	Agua Tratada	Valores de Referencia V/R
RTO Microorganismos Aeróbicos	48000 ufc/ml	<30ufc/ml	<30ufc/ml
RTO Coliformes Totales	1100/ml	<3ufc/ml	<3ufc/ml
RTO Coliformes Fecales	Positivo	Negativo	Negativo
Observaciones	Agua No apta para el consumo humano	Agua apta para el consumo humano	Apta

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que el sistema electrónico implementado permite potabilizar agua de una manera eficiente, con capacidad de 30 litros por hora, el nivel de turbidez alcanzado es de 1 NTU, el pH medido fue de 7,3 unidades, la concentración de ozono fue de 1,6 mg/L, respecto al análisis microbiológico los resultados fueron óptimos para el consumo humano.

4. Conclusiones

El prototipo implementado presentó fidelidad debido a los resultados obtenidos con el agua tratada, donde se evidencia en el análisis microbiológico, la cual es apta para el consumo humano, con niveles de microorganismos aeróbicos menor a 30 ufc/ml, coliformes fecales y totales menor a 3 ufc/ml

La electrofloculación permitió devolver la característica de translúcida al agua, con niveles de turbidez óptimos de 1 NTU y adecuados para agua potable, a nivel técnico esta etapa es la de mayor consumo energético por el proceso de electrolisis, la cual puede ser alimentada por ciclo convertidor a red eléctrica o mediante sistema de energía solar fotovoltaica.

La ozonificación utilizada aportó a la disminución de bacterias presentes en el medio por tanto la técnica de alto voltaje utilizada fue efectiva y pertinente, se logró obtener una concentración de ozono de 1,6 mg/L.

El nivel de radiación de ultravioleta fue pertinente y adecuado, aportando a la reducción de gran escala especialmente a nivel microbiológico.

Referencias bibliográficas

- Barrientos Honorio, Tello Jonny, Tito Consuelo Y Palomino Maribel profesores de la Universidad Nacional de San Antonio de Abad de Cusco, desarrollaron un proyecto que se tituló "Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de kuychiro" Recuperado de <http://perusolar.org/16-spes-ponencias/PURIFICACION%20DE%20AGUA%20POR%20MEDIO%20DE%20FILTROS%20LENTOS%20DE%20ARENA%20EN%20LA%20COMUNIDAD%20DE>
- Cañedo Ricardo, 2012, Diseño de un Equipo Generador de Ozono Clínico para Blanqueamiento Dental, tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1266?show=full>
- Delgado Carlos (2011). **Innovación en el Modelo de Negocios de una empresa de tratamiento de agua de Venezuela**, Revista espacios. Vol 38 Año 2017 Num 27 recuperado de <http://www.revistaespacios.com/a17v38n27/17382720.html>
- Escorsa, Pere et al. 2017. "Análisis Prospectivo Del Sector Del Agua Para Panamá Al Año 2040 Como Estrategia Para La Identificación de Oportunidades Tecnológicas Y de Innovación." *Revista ESPACIOS* 38(43): 6. <http://www.revistaespacios.com/a17v38n27/17382720.html>.
- Espinoza Ramón, 2010, Planta de tratamiento de aguas residuales en san juan de Miraflores, Tesis de grado de Master, Universidad de Piura, Piura Perú, Recuperado en [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/29571C95BEF797F705257DCC0053233E/\\$FILE/MAS_GAA_010.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/29571C95BEF797F705257DCC0053233E/$FILE/MAS_GAA_010.pdf)
- Gloria Inés Barboza Palomino, 2011, Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá -Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación, tesis de grado, Universidad Nacional De Ingeniería, Lima Perú. http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf
- López Diana, Vásquez Juan, 2013, Diseño e Implementación de un Prototipo Generador de Ozono para Purificación de Agua para el Consumo Humano, tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7053>
- Martínez José, 2011, Estrategias para el abastecimiento de agua a comunidades marginadas y urbanas, Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco del Estado de México, Recuperado de: www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/601/1/Juan_Martinez_J_DC_Hidrociencias_2011.pdf
- Monroy Jennifer, 2015, Propuesta de sistema de desinfección primaria con ozono en la red de suministro de agua potable del Instituto de Ingeniería de la UNAM, tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8463/Tesis.pdf?sequence=1>
- Orcés Eduardo, Pincay Guillermo, Desarrollo de un Reactor Químico para Tratar Aguas Contaminadas con Cianuro. Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Escuela Superior Politécnica, desarrollaron una tesis que se tituló. Recuperado en <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1329/2/TESIS%20ozono%20julio%2009.pdf>
- Pérez Martín, 2014, Diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación en modelos de radiación UV, Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3246/Dise%C3%B1o%20de%20un%20radiometro%20ultravioleta,%20par> sequence=1
- Samayoa Luis, 2013, Diseño y construcción de equipo para purificación de agua a bajo costo, tesis de pregrado, Universidad de San Carlos De Guatemala, Guatemala, Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2860_IN.pdf
- Villota Gabriela, Diseño de un filtro con piroclastos gruesos para la purificación del agua de la comunidad de Vizcaya (baños- Tungurahua), Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador. Recuperado de dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/237/1/236T0024.pdf
- Vargas-Guativa, J., Andrés, J., Velásquez, L. and Cárdenas, L. C. (2014) 'Sistema de Instrumentación y Control para Tanques de Almacenamiento de Agua Potable Instrumentation and Control System for Storage Tanks of potable Water', *Ingeniare*, 17, pp. 69–85. Available at: <http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/revistas2/index.php/ingeniare/article/view/604/513>.
- Vargas, J., Arango, J. and Isaza, L. (2015) 'Prototipo de unidad de ionización electrónica para conservación de la «carica papaya»', *Revista Ingenium*, 16(31), pp. 55–70.
- Vargas, J., Arango, J., Salazar, M., Torres, H. and Herrera, L. (2016) 'Prototipo mecánico para la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica', *Visión Electrónica Más que un estado sólido*, 10(1), p. 10.
- Wright H.B y Cairns W. L, Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta, Trojan Technologies Inc. London, Ontario, Canada. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/2info/ultravio.pdf>

1. Profesor Investigador grupo Macrypt. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad de los Llanos. Ingeniero electrónico. Esp en Mecatrónica Industrial. MSc. Administración Educativa. Javier andres.vargas@unillanos.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 39) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar un error en esta página notificar a [webmaster](#)]

©2018. revistaESPACIOS.com • ©Derechos Reservados