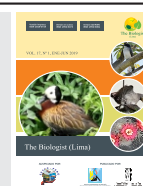




The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

EFFECT OF TURBIDITY IN LEAD RETENTION WITH THE KONDESKOMPRESOR IRRIGATION SYSTEM

EFFECTO DE LA TURBIDEZ EN LA RETENCIÓN DE PLOMO CON EL SISTEMA DE RIEGO KONDESKOMPRESOR

Yazmín León-Casós¹ & Armando Vélez-Azañero¹

¹Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Carrera de Ingeniería Ambiental. Panamericana sur Km 19. Lima 42.

Corresponding author: E-mail: fonia14@gmail.com

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the effect of turbidity on the retention of lead with the irrigation system Kondenskompresor, in order to increase food safety and improve water quality with little to zero cost for the micro-farmer. To achieve this water quality measurements of water run through 30 kondenskompresor systems with different values of turbidity at uncontrolled humidity and temperature were made across eight days. Turbidity, electrical conductivity, distilled volume and concentration of retained lead were measured. The results obtained show that the turbidity was not significantly related to the distilled volume or to the pH; however, it presented a very high correlation with electrical conductivity and the lead retained in the samples. The Kondenskompresor system had an efficiency for lead retention of 87%.

Keywords: Kondenskompresor – Lead – Turbidity – Solar distillation

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de la turbidez en la retención de plomo con el sistema de riego Kondenskompresor, con el fin de aumentar la salubridad alimentaria y la conservación de la calidad del agua con costos accesibles o nulos para el micro-agricultor, mediante 30 sistemas kondenskompresor con diferentes valores de turbidez a humedad y temperatura no controladas, durante ocho días. Se midieron los parámetros de turbidez, conductividad eléctrica, volumen destilado y concentración de plomo retenido. Los resultados obtenidos demuestran que la turbidez no se relacionó significativamente con el volumen destilado ni con el pH; sin embargo, presentó una correlación directa muy elevada con la conductividad eléctrica y el plomo retenido en las muestras; registrando una eficiencia en la retención de plomo del 87%.

Palabras clave: Destilación solar – Kondenskompresor – Plomo – Turbidez

INTRODUCCIÓN

La agricultura consume el 70% del recurso hídrico a nivel mundial (FAO, 1993), y junto con la ganadería en el Perú, representan el 89% del consumo del agua disponible (FAO, 2015); sin embargo, los controles en la calidad de agua para estas actividades no han sido eficientes, y han generado un sistema paulatino de contaminación, donde las aguas subterráneas y superficiales son afectadas (Méndez *et al.*, 2009). Los diversos agentes contaminantes como efluentes y residuos sólidos están asociados en la mayoría de los casos a la dispersión de metales pesados, los que se disponen en las aguas de riego y son acumulados en los cultivos vegetales (Juárez, 2012).

En el Perú, las aguas del río Rímac (en especial la cuenca alta) en el Perú, se encuentran contaminadas con trazas de metales pesados provenientes de actividades mineras e industriales (Juárez, 2012); donde el plomo, principal agente contaminante, ha excedido el límite máximo permisible de la normativa peruana DS N° 004-2017-MINAM (Estándares de calidad ambiental para agua categoría III), y ha mostrado un patrón de incremento desde 1997 hasta el 2002 (Juárez, 2012); asimismo, el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima Metropolitana (SEDAPAL) registró que en el mes de enero de 2017, la concentración máxima de plomo (Pb) en el río Rímac que alcanzó $1,949 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, cifra mayor en 6187,1% a lo registrado en enero de 2016 ($0,031 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (INEI, 2017). Por tanto, el río Rímac, se ha convertido en uno de los principales cursos de agua del Perú, donde se descargan aguas residuales sin tratamiento previo (INEI, 2015). Además, la escasa información sobre los efectos de los metales pesados en la agricultura y en el ecosistema (Bedregal *et al.*, 2003), viene generando una preocupación constante, promoviendo el uso de nuevas alternativas de riego poco convencionales como el sistema Kondenskompressor (KDK), sistema de riego por goteo que permite el uso de aguas contaminadas, reteniendo el contaminante, y evitando su disponibilidad en el suelo.

Según Martínez & del Río (2013) el sistema KDK es un sistema basado en la destilación solar, creado por Arti Leimbacher en el año 2008, que incorpora un ciclo hidrológico con un componente adicional

que los destiladores solares habituales no poseen: la infiltración; Asimismo los resultados experimentales realizados por el propio Leimbacher demostraron reducir la dotación de riego hasta diez veces con respecto a los sistemas tradicionales de irrigación en huertos, siendo un sistema útil no solo en la micro agricultura sino también en la reforestación, ya que tiene como ventaja, generar un circuito cerrado de evaporación y condensación en el que el agua no se pierde, puesto que no sale del propio destilador solar (Figura 1).

El sistema permite ahorrar enormes cantidades de agua para el riego como cultivar plantas que necesitan para su crecimiento la mejor calidad de agua, es así que el agua que produce el KDK no tiene sal, tampoco nitratos, ni otros contaminantes, por lo que se puede usar para desalinizar el agua marina (Ecoinventos, 2017). El riego KDK ha demostrado ser un tipo de riego viable y efectivo en lo que respecta al control y a la demanda del agua, otorgando en los cultivos una productividad promedio del 60%, ofreciéndose así como una alternativa para el ahorro de agua, siendo eficiente para enfrentar, adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático (Galindo-Montero *et al.*, 2017).

La turbidez es un parámetro que ha demostrado dificultades para la evaporación en los destiladores solares (Flores, 2015), así como en la incidencia de la radiación sobre la superficie del agua a destilar (Gonzales, 2011); asimismo, el plomo presenta efectos nocivos para el sistema nervioso humano, la producción de células sanguíneas, los riñones, el sistema reproductivo y la conducta (García *et al.*, 2007). La presencia de plomo en el ecosistema también afecta las relaciones planta-agua; el incremento de la permeabilidad de las raíces; la inhibición de la fotosíntesis y respiración; y la modificación de las actividades de algunas enzimas metabólicas (Peris-Mendoza, 2005).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la turbidez en la retención de plomo con el sistema de riego KDK, con el fin de aumentar la salubridad alimentaria y la conservación de la calidad del agua con costos accesibles o nulos para el micro-agricultor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en el campus Villa 3 de la Universidad Científica del Sur, ubicada en el Km 19 de la Av. Panamericana Sur, Villa El Salvador, Lima, Perú ($12^{\circ}13'23.46''S$ y $76^{\circ}58'41.87''O$); en el mes de septiembre de 2016 a temperatura y humedad relativa no controladas, las que fluctuaron entre los $15,4^{\circ}C - 19,8^{\circ}C$ y $67,38\% - 74,73\%$, respectivamente. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica de la Universidad Científica del Sur Lima, Perú.

Diseño y análisis

El sistema KDK, consistió en dos botellas de plástico PET de primer uso (de 5L y 2L) cortadas por la mitad, empleando la parte inferior de las botellas 2L, y la parte superior de las botellas 5L, siguiendo la metodología de Amaguaña & Llamba (2013). Se instalaron un total de 30 sistemas en un área de $9m^2$ protegida con malla para evitar

cualquier tipo de contaminación; considerando la instalación a 5cm de profundidad y 30cm de separación entre cada sistema (Martínez & del Río, 2013).

Se establecieron cinco tratamientos y un control (C, T₁, T₂, T₃, T₄ y T₅), considerando cinco repeticiones en cada tratamiento, en un arreglo de 6x5 completamente aleatorizado (Figura 1). Para todos los tratamientos y el control se consideró una concentración de plomo de $0,02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, tomando como referencia la estación E-15 SEDAPAL Puente Morón, Lurigancho, Chosica, río Rímac ($11^{\circ}58'39.39''S$ y $76^{\circ}47'05.22''O$); la concentración de plomo fue obtenida a partir de la sal acetato de plomo. Los niveles de turbidez fueron determinados siguiendo el promedio del año 2015 de la misma estación, considerando este dato para el tratamiento central (14 NTU), y generando una progresión con un factor de 0,5 para los otros valores (T₁: 3,5 NTU; T₂: 7 NTU; T₃: 14 NTU; T₄: 21 NTU; T₅: 31,5 NTU); la turbidez fue generada al añadir suelo de chacra, en un volumen



Figura 1. Instalación de 30 sistemas Kondenskompressor (KDK), en las inmediaciones de la Universidad Científica del Sur, para evaluar el efecto de la turbidez en la retención del plomo en agua.

final de 500 mL, que representó el 80% de la capacidad del sistema.

El experimento duró un total de ocho días, donde se registró diariamente el pH a través del método potenciométrico referido en la norma técnica peruana NTP 339.176 2002, conductividad eléctrica (CE) a través del método electrométrico (ANA, 2016), y la turbidez a través del método de la turbidimetría (ISO, 1990) de cada muestra. El último día de evaluación se consideró el volumen de agua en cada sistema. Los datos de temperatura ambiental, y humedad relativa fueron obtenidos mediante un hidrómetro Coolbox – TH-439. Finalmente las muestras fueron colocadas en botellas de 600 mL, para su traslado al laboratorio certificado Cerper (Certificaciones del Perú), para conocer la concentración de plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se realizó un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA), para identificar las diferencias estadísticas entre los tratamientos y el control; y se realizó la prueba de comparaciones múltiples por el test de Tukey, para determinar específicamente el nivel de significancia entre los tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron a través del software estadístico MINITAB versión 16, con un nivel de confianza de 95%.

Durante la experimentación no se trató con animales o seres humanos por lo que no hubo conflicto de intereses éticos.

RESULTADOS

El comportamiento promedio del pH a lo largo de la investigación mostró valores muy similares, con un promedio mínimo de 5,92 en T₂, y un promedio máximo de 6,67 en el control (Tabla 1); sin embargo, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, indica que el control presentó diferencias significativas con el resto de tratamientos (Tabla 1, Figura 2); la variable turbidez se relacionó de forma inversa con el pH ($r: -0,28$) aunque esta relación no fue significativa ($p: 0,25$); los cambios de pH no se relacionaron con las diferentes concentraciones de turbidez en el ensayo, ya que todos los tratamientos (T₁; T₂; T₃; T₄ y T₅) fueron significativamente iguales según la prueba

estadística (Tabla 1, Figura 2).

Los valores promedio de CE, mostraron cuatro agrupaciones evidentes: la menor en el control con $12,28 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$; la segunda agrupación en T₁ y T₂, con $23,99 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ y $24,54 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ respectivamente; la tercera agrupación en T₃ y T₄, con $50,36 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ y $49,70 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ respectivamente; y la mayor en T₅ con un promedio de $80,48 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Figura 2). Esta agrupación se confirma con la prueba de Tukey, que asignó diferencia significativa a estas cuatro conformaciones (Figura 2, Tabla 1); lo que deja clara la relación directa entre la turbidez y la CE en cada sistema estudiado ($r: 0,98$; $p < 0,05$).

Los promedios de la turbidez expresada en NTU, mostraron cinco agrupaciones: la menor en el control con un valor de 1,43NTU; la segunda en T₁, con 4,45NTU; la tercera en T₂, con 8,17NTU; la cuarta en T₃ y T₄, con 20,89NTU y 22,69NTU respectivamente; y finalmente la mayor en T₅ con 34,14NTU. La agrupación se confirma con la prueba de Tukey, que asignó diferencia significativa a las cinco conformaciones (Figura 2, Tabla 1).

La concentración de plomo expresada en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, evaluada al final de la experiencia, ofrece tres agrupaciones con valores intermedios según la prueba de Tukey: el control, T₁, T₂ y T₃, no presentaron diferencia significativa; sin embargo, la segunda agrupación considera también a T₂ y T₃, junto a T₄; finalmente el mayor valor promedio con diferencia significativa se encontró en el último tratamiento con $0,035 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Tabla 1); evidenciando una relación directa entre la concentración de plomo retenido en cada sistema y la turbidez ($r: 0,95$; $p < 0,05$). Considerando un cambio del volumen de 15 L con 0,3 mg de Pb a 11,9 L con 0,26 mg de Pb, la eficiencia de retención del plomo en el sistema fue de 87%.

El volumen de agua destilada evaluado en cada sistema, presentó un valor promedio mínimo de 70 mL en T₁, y un valor promedio máximo de 100 mL en T₂, sin embargo, no presentó diferencia significativa en ningún tratamiento ($p = 0,66$, Tabla 1); lo que indica que la turbidez no se relacionó al volumen de agua destilado luego de ocho días de experiencia; el porcentaje de destilación promedio en la experiencia fue 17,33%.

Tabla 1. Comparaciones múltiples de las medias de las variables Conductividad eléctrica, pH y turbidez en cada tratamiento con la prueba de Tukey entre los tratamientos del Sistema Kondenskompresor (KDK) a los ocho días de medición, donde letras diferentes en sentido horizontal indican diferencia significativa con un alfa de 0,05. Pr (>F) indica el p-value del análisis de varianza (ANOVA).

Variables	Tratamientos						Pr(>F)
	C	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	
Conductividad eléctrica	13,28 ^d	23,99 ^c	24,54 ^c	50,36 ^b	49,7 ^b	80,48 ^a	0,000 **
pH	6,67 ^a	5,96 ^b	5,92 ^b	5,94 ^b	6,03 ^b	6,16 ^b	0,000 **
Turbidez (NTU)	1,43 ^c	4,45 ^d	8,17 ^c	20,89 ^b	22,69 ^b	34,14 ^a	0,000 **
Plomo (mg.L-1)	0,013 ^c	0,014 ^c	0,021 ^{bc}	0,022 ^{bc}	0,029 ^{ab}	0,035 ^a	0,000
Volumen destilado (mL)	80 ^a	70 ^a	100 ^a	92 ^a	86,02 ^a	91 ^a	0,66

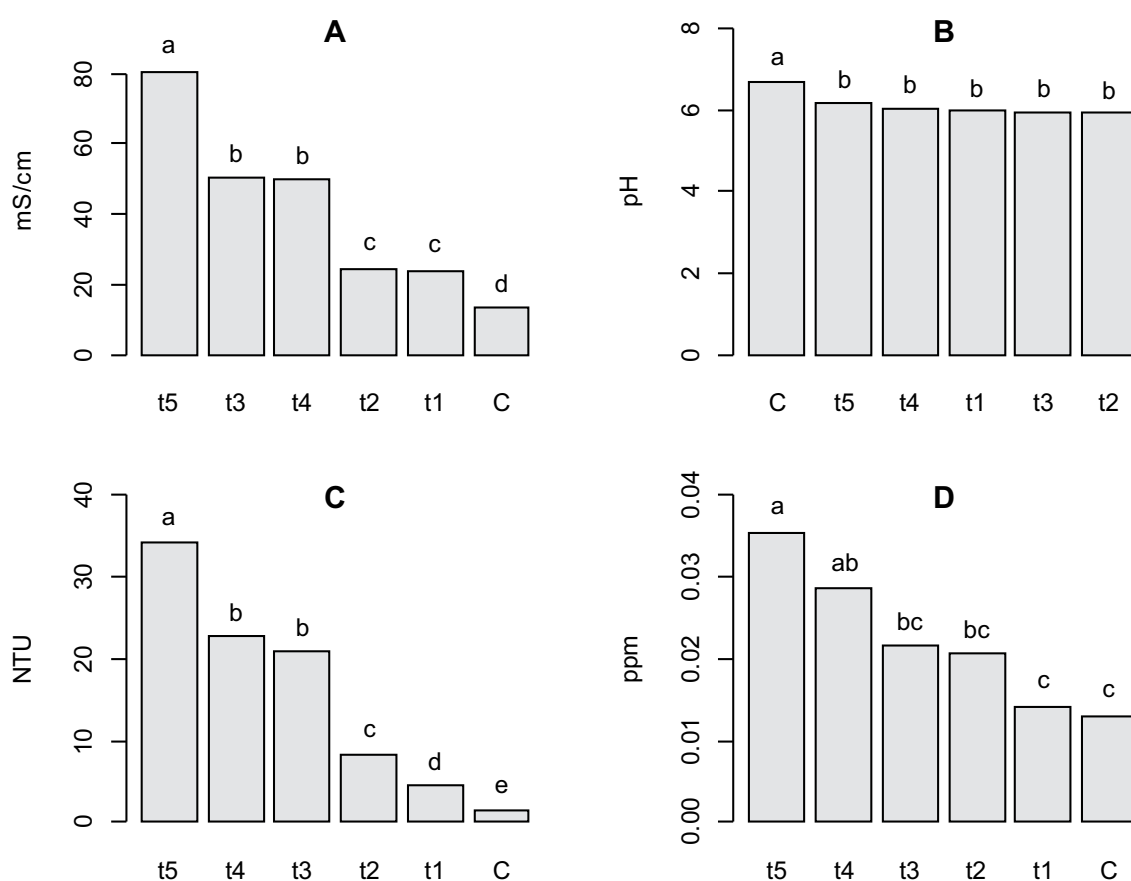


Figura 2. Comparaciones Múltiples con la prueba de Tukey donde letras diferentes indican diferencia significativa con un alfa de 0,05. A: CE; B: pH; C: Turbidez (NTU); D: Concentración de plomo.

DISCUSIÓN

La baja correlación negativa entre el pH y la turbidez en nuestra investigación no fue significativa, resultados que se confirman con los registros de Betanzos-Vega (2013), Mandal (2014) y Feria-Díaz *et al.* (2016) quienes indican que existe una correlación negativa no significativa entre el pH y la turbidez. La relación negativa entre el pH y la turbidez también fue mencionada por Fonturbel (2005); y se puede explicar debido a que los procesos de descomposición de materia orgánica en los tratamientos con suelo tienden a liberar ácidos que reducen gradualmente los niveles de pH (Bridgewater, 2007).

La turbidez y la CE presentaron una correlación positiva muy alta, debido a que la CE ofrece una medida de los sólidos o sales disueltas en el sistema (Rocha, 2010), mientras la turbidez por su parte representa el contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas (Marcó, 2004), los que aumentaron en función a la disminución del volumen en cada sistema, y se confirman con altos valores de correlación entre 37% (Bradner, 2013) y 78% (Shroff *et al.*, 2015) en otras investigaciones. Aunque los valores de conductividad encontrados podrían relacionarse también, a la presencia de materia orgánica en descomposición flotante, principalmente insectos y otros artrópodos encontrados al finalizar la experiencia (Urrutia, 2015).

En contraposición a nuestros resultados, Flores (2015) afirma que las sustancias contenidas en el sistema de destilación solar (turbidez) disminuyen la evaporación, lo que no sucedió en nuestro caso, donde las diferentes concentraciones de turbidez no afectaron significativamente el volumen evaporado después de ocho días de experimentación. Wang & Seyed-Yagoobi (1994) encontraron que la turbidez, juega un papel crítico en la magnitud de la penetración de la radiación solar, y que el efecto de la turbidez en la penetración aumenta con la profundidad del agua; además, la claridad del agua desarrolla un papel significativo en el rendimiento térmico de un estanque solar (Wang & Seyed-Yagoobi, 1995), lo que no se evidenció en nuestros resultados probablemente porque la tierra de chacra que se empleó para dar turbidez a las muestras precipitó

en el fondo de los envases y otorgó un color oscuro al fondo de las muestras, ejerciendo un efecto de absorbancia de la radiación y poca reflectancia como sucedió en diversos destiladores solares con fondo negro (Esteban *et al.*, 2000; Armendáriz, 2005; Nandwani, 2005). Las partículas coloidales flotantes son prácticamente responsables de toda la dispersión de la luz y absorción de la luz en estanques de agua natural (Kirk, 1985); sin embargo, para el caso del sistema KDK, la turbidez no pareció afectar la destilación, lo cual concuerda con los estudios de Ochoa (2009) donde a partir de aguas residuales con el sistema KDK, los cultivos tuvieron una mayor productividad que con el riego tradicional, por lo que el volumen destilado tampoco se vio afectado por las propiedades fisicoquímicas de las aguas residuales.

La alta relación directa entre la turbidez y la concentración de plomo retenido, se explica por la capacidad de las fuentes de carbono, o materia orgánica en descomposición (tierra de chacra en nuestro caso) para adsorber fácilmente los cationes de plomo (Abdel-Ghany *et al.*, 2007; Benhima *et al.*, 2008) y otros metales importantes como el Zn y el Cu (Kazemipour *et al.*, 2008); además, los minerales absorbentes como la zeolita y zeolita acondicionada con FeCl₃ provenientes de rocas volcánicas que se obtienen naturalmente en la tierra, contribuyen también en la adsorción y retención del plomo (Cruz-Arteaga, 2013). En ese sentido, la turbidez para el presente estudio fue otorgada por la tierra de chacra, la cual contenía compuestos orgánicos que pudieron tener un efecto positivo en la adsorción y retención del plomo; sin embargo no se estudió la composición de la tierra de chacra o los compuestos que pudieron ocasionar dicho efecto, por lo que esto fue una limitante.

La eficiencia de retención de plomo promedio de los sistemas evaluados (87%) no alcanzó mayores valores, probablemente por la sedimentación del metal, y la pérdida del mismo al verter el contenido para la medición del volumen final. Diversas investigaciones recomiendan acidificar la solución con ácido nítrico (Iglesias *et al.*, 2006) previa a la medición del volumen, hasta obtener un pH menor a 2, y de esta manera evitar la precipitación del plomo (Taylor & Demayo, 1989; Van den Beerg *et al.*, 1998; IDEAM, 2004; DIGESA, 2007); las muestras en nuestra investigación no fueron acidificadas, lo que pudo afectar los resultados

reportados. La evaporación del metal, no afectó los resultados, ya que el plomo requiere temperaturas mayores a los 300°C para cambiar de estado (Feuerstein *et al.*, 1991), y la experimentación fue desarrollada a temperatura ambiental. El análisis de plomo retenido se realizó a partir de la muestra contenida dentro del sistema, sin embargo el análisis de la concentración de plomo en el agua destilada proveería datos más exactos sobre la retención del metal.

Los sistemas de destilación solar como el KDK han demostrado la producción de agua de excelente calidad con eficiencia en la remoción de sales de hasta un 99% (Barroso & Gil, s.f.; Yabroudi *et al.*, 2011; Ecoinventos, 2017) y apta para el consumo humano, según normas mexicanas (De la Cruz, 2015); el sistema KDK es un método de potencial importancia para la micro-agricultura, presentando también eficiencia para remover microorganismos patógenos (Ochoa, 2009). Los resultados de la presente investigación añaden una ventaja adicional al sistema Kondenskompresor al evidenciar que la turbidez no fue un impedimento para la retención del plomo dentro del sistema, sino que por el contrario, tuvo un efecto positivo en su retención, encontrándose un 87% de plomo retenido.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a Carlos Acosta por su apoyo con el análisis estadístico de los datos y a Sabrina Ruiz Gonzales por su apoyo en la fase de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Ghani, N.T.; Hefny, M. & El-Chaghaby, G.A. 2007. Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4: 67-73.
- Amaguaña, S. & Llamba, C. 2013. *Diseño e implementación de la fase inicial de un sistema de manejo sustentable para suelo y agua en el sector sur oeste de la UPS*. Tesis de bachiller, Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2016. *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Autoridad Nacional del Agua, Lima, consultado el 01 de septiembre de 2018, <<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/209>>
- Armendáriz, S.I.; Porta-Gándara, M.A.; Foster, R.E.; Koutsoukos, P.G.; Bautista-Margulis, R.G.; Grado, J.A. & Alonso, G. 2005. Estudio de la precipitación de carbonato de calcio en un destilador solar experimental. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 21: 5-15.
- Barroso, M.; Gil, L. & Arcetti, S. s.f. *Destilador Solar para usos múltiples*. Universidad Católica Andrés Bello, consultado el 01 de Septiembre del 2018, <<http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/tekhne/article/view/2735>>
- Bedregal, P.; Torres, B.; Olivera, P.; Ubillus, M.; Mendoza, P.; Creed-Kanashiro, H.; Penny, M.; Junco, J. & Ganoza, L. 2003. *Determination of trace elements and heavy metals in agricultural products cultivated at the river Rimac in the city of Lima*. Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN), consultado el 01 de Septiembre del 2018, <https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:35062988>
- Benhima, H.; Chiban, M.; Sinan, F.; Seta, P. & Persin, M. 2008. Removal of lead and cadmium ions from aqueous solution by adsorption onto micro-particles of dry plants. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 61:10-16.
- Betanzos-Vega, A.; Capetillo-Piñar, N.; Lopeztegui-Castillo, A.; Martínez-Daranas, B.; Rodríguez-Ramos, T. & Coello, D. 2013. Variación espacio-temporal de la turbidez y calidad en cuerpos de agua marina de uso pesquero, región norcentral de Cuba, 2008-2010. *Serie Oceanológica*, 12: 24-35.
- Bradner, A. 2013. *Correlations Between Water Quality Parameters and Levels of 4-NP in Water and Sediment of Stroubles Creek Watershed*. Ph.D. Dissertation, Virginia

- Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Bridgewater, P. 2007.** *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México.* Ciudad de México, México. Instituto Nacional de Ecología.
- Cruz-Arteaga, L. S. 2013.** *Remoción de Arsénico y Plomo del agua utilizando minerales adsorbentes.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila.
- De la Cruz, D.A. 2015.** *Eliminación de sales de diferentes fuentes de agua utilizando un destilador solar portátil de cristal filtra sol.* Tesis de Licenciatura. México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila.
- DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental, Perú). 2007.** *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales.* Dirección General de Salud Ambiental, Perú, consultado el 30 de Agosto de 2018, [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)
- DS N° 004-2017-MINAM.** Diario Oficial de la República del Perú, Lima, Perú, 7 de junio del 2017.
- Ecoinventos. 2017.** *Kondenskompresor; técnica de riego solar,* consultado el 01 de septiembre de 2018, <https://ecoinventos.com/kondenskompresor-destiladora-solar-goteo-solar/>
- Esteban, C., Franco, J & Fasulo, A. 2000.** Destilador solar asistido con colector solar acumulador. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4: 39-41.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1993.** *El estado mundial de la agricultura y la alimentación.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, consultado el 01 de septiembre de 2018, <http://www.fao.org/publications/sofa/the-state-of-food-and-agriculture/es/>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015.** *Informe regional de América del Sur, Centroamérica y Caribe.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, consultado el 20 de Agosto de 2017, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/indexesp.stm
- Feria-Díaz, J. J.; Rodiño-Arguello, J.P. & Gutiérrez-Ribon, G.E. 2016.** Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú River raw water treated by natural coagulants. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 78: 112-118.
- Feuerstein, H., Gräbner, H., Oschinski, J., Horn, S., & Bender, S. 1991.** Evaporation of lead and lithium from molten Pb, Li Transport of aerosols. *Fusion Engineering and Design*, 17: 203-207.
- Flores, R. 2015.** *Diseño y construcción de un prototipo de destilador de agua, utilizando energía solar.* Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Fonturbel, F. 2005.** Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología aplicada*, 4: 135-141.
- Galindo-Montero, A.; Pérez-Montiel, J. & Rojano-Alvarado, R. 2017.** Medidas de adaptación al cambio climático en una comunidad indígena del norte de Colombia. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 20: 187-197.
- García, D.; Barceló, J. & Gunsé, B. 2007.** *Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de Zea mays L. expuestas a la toxicidad por plomo.* Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Gonzales, R. 2011.** *Aplicación del método de desinfección solar en fuentes de aguas naturales utilizadas para consumo humano en comunidades de San Juan Sacatepéquez,* Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala.
- IDEAM. 2014.** *Determinación de metales pesados totales con digestión ácida- lectura directa por espectrofotometría de absorción atómica.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia, consultado el 01 de Septiembre de 2018, <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Absorción+C3%B3n+At%C3%B3mica.pdf/e233a63d-378c-4f83-9311-d9375043cf2a>

- Iglesias, M.; Hidalgo, M. & Rodríguez, R. 2006. *Toma, conservación y tratamiento de muestras*. Instituto Geológico y Minero de España, consultado el 01 de septiembre del 2018 <https://www.researchgate.net/publication/263747236_Toma_conservacion_y_tratamiento_de_muestras>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2015. *Perú: Anuario de estadísticas ambientales 2015*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, consultado el 01 de septiembre del 2018 <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecurso/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2017. *Informe técnico de estadísticas ambientales - febrero 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, consultado el 01 de septiembre del 2018 <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecurso/boletines/03-informe-tecnico-n03_estadisticas-ambientales-feb2017.pdf>
- International Organization for Standards (ISO). 1990. *International Standard ISO 7027 – Water Quality – Determination of Turbidity*. ISO. 2nd ed. 1990-04-15.
- Juárez Soto, H.S. 2012. *Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima Metropolitana*, Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Kazemipour, M.; Ansari, M.; Tajrobehkar, S.; Majdzadeh, M. & Kermani, H.R. 2008. Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot stone. *Journal of Hazardous Materials*, 150: 322-327.
- Kirk, J.T. 1985. Effects of suspensoids (turbidity) on penetration of solar radiation in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, 125:195-208.
- Mandal, H.K. 2014. Influence of wastewater pH on turbidity. *International Journal of Environmental Research*, 4:105-114.
- Marcó, L.; Azario, R.; Metzler, C. & García, M.D.C. 2004. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Revista de Higiene y Sanidad Ambiental*, 4:72-82.
- Martínez, A.A. & del Río, S.J.J. 2013. *Los riegos de apoyo y de socorro de poblaciones forestales*. FORESTA, España, consultado el 01 de septiembre del 2018, <<http://www.oasification.com/archivos/Riegos%20de%20apoyo%20y%20socorro.pdf>>
- Méndez, J.P.; Ramírez, C.A.G.; Gutiérrez, A.D.R. & García, F.P. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 29-44.
- Nandwani, S.S. 2005. *Energía solar. Conceptos básicos y su utilización*. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional Heredia.
- Peris-Mendoza, M. 2005. *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón*. Tesis Doctoral. Universitat de València, Valencia.
- Ochoa, L.R. 2009. *Utilización de aguas residuales en el sistema de goteo solar*. Sitio Solar, Colombia, Consultado el 01 de septiembre del 2018, <<http://www.sitiosolar.com/utilizacion-de-aguas-residuales-en-el-sistema-de-goteo-solar/>>
- Rocha, E. 2010. *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. Universidad Autónoma de Chihuahua, México, consultado el 01 de septiembre del 2018 <https://www.academia.edu/8844036/Ingenier%C3%ADa_de_Tratamiento_y_Acondicionamiento_de_Aguas>
- Shroff, P.; Vashi, R.T.; Champaneri, V.A. & Patel, K.K. 2015. Correlation study among water quality parameters of groundwater of Valsad district of south Gujarat (India). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 7: 340-349.
- Taylor, M.C. & Demayo, A. 1989. *Zinc. In: Guidelines for surface water quality. Vol. 1. Inorganic chemical substances*. Inland waters directorate, water quality branch, Ottawa. Canada, pp 9.
- Urrutia, N. 2015. *Técnica de riego por goteo solar*. Universidad del Valle, Colombia, consultado el 01 de Septiembre del 2018 <

- https://www.academia.edu/12938658/INFORME_TECNICA_DE_RIEGO_POR_GOTEO_SOLAR>
- Van Den Beerg, G.A.; Loch, J.P. & Winkels, H. J. 1998. Effect of fluctuating hidrological conditions on the mobility of heavy metals in soils of a freshwater estuary in the Netherlands. *Water, earth and soil pollution*, 102:377-388.
- Yabroudi, S.; Cárdenas, C.; Aldana, L.; Núñez, J. & Herrera, L. 2011. Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular. *Interciencia*, 36: 731-737.
- Wang, J. & Seyed-Yagoobi, J. 1994. Effects of water turbidity and salt concentration levels on penetration of solar radiation under water. *Solar Energy*, 52: 429-438.
- Wang, J. & Seyed-Yagoobi, J. 1995. Effect of water turbidity on thermal performance of a salt-gradient solar pond. *Solar Energy*, 54: 301-308.

Received August 3, 2018.
Accepted September 5, 2018.