

# Ñawparisun

[ Adelantemos ]

Revista de Investigación

# Científica

Volumen 1.

Número 4.

Julio - Setiembre, 2019.

ISSN versión impresa: 2663-5977

ISSN versión digital: 2706-6789



Fotografía: Flo\* Ruiz  
Artesanía de la Artesanía: Edwin A. Loza Huarach





*Universidad Pública de Calidad*

## **Comisión Organizadora**

**Dr. Freddy Martín Marrero Saucedo**  
Presidente

**Dr. Percy Francisco Gutiérrez Salas**  
Vicepresidente Académico

**Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso**  
Vicepresidente de Investigación



# Ñawparisun

Revista de Investigación

# Científica

## Entidad Editora:

AÑO 1 - N° 4 - JULIO-SETIEMBRE 2019

## Entidad Editora:

La revista ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica es una publicación editada por la Vicepresidencia de Investigación, de la Universidad Nacional de Juliaca.

Dirección: Av. Nueva Zelanda N° 631, Urb. La Capilla.

Correo electrónico: [revistanric@unaj.edu.pe](mailto:revistanric@unaj.edu.pe)

Web: <http://revista.unaj.edu.pe>

Lugar de edición: Juliaca - Puno - Perú

## Editor Principal

*Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso*

Universidad Nacional de Juliaca, Puno

## Editor Adjunto

*M.Sc. Gustavo Luis Vilca Colquehuanca*

Universidad Nacional de Juliaca, Puno

## Consejo Editor

*Dr. Fortunato Escobar Mamani*

Universidad Nacional del Altiplano, Puno

*Dra. Antonina Juana García Espinoza*

Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica

*Dr. Florencio Flores Ccanto*

Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima

## Traducción

*José Macedo Tristán*

## Diseño y Diagramación

*Milton Edward Humpiri Flores*

## Periodicidad

4 números al año

## Correspondencia y solicitudes de canje

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca - Perú

Teléfono: 051 332927

E-mail: [revistanric@unaj.edu.pe](mailto:revistanric@unaj.edu.pe)

ISSN 2663-5917 (Versión Impresa)

ISSN 2706-6789 (Versión Digital)

@ 2019 Vicepresidencia de Investigación - UNAJ. Este es un documento Open Access bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Perú.

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú:

N° 2018-12716

Impreso en Setiembre de 2019 en:

Tiraje:

500 Ejemplares



## Editorial

La investigación resulta ser una herramienta clave para mejor establecer la relación Universidad-Empresa-Estado, siendo la creación del *semillero de investigación* una necesidad en el cual se promuevan los valores de la investigación formativa como una alternativa de respuesta a las exigencias de un mercado empresarial cada vez más competitivo y que requiere sin duda, la participación de la academia a través de las instituciones de educación superior.

Es indiscutible que para que esto funcione, no baste el entusiasmo del estudiante sino la presencia y compromiso del docente. Entonces ¿qué clase de docente es el apropiado para sacar adelante a un *semillero*? En principio, su misión es la de proporcionar las situaciones y experiencias que permitan el logro de los conocimientos para el desarrollo académico y el ejercicio profesional, en un ambiente de relación interpersonal que facilite una identidad adecuada, teniendo en cuenta que la mayoría de las dificultades se deben a que en muchas ocasiones está ante la necesidad de reeducar para después educar.

Esto implica que la transformación académica de toda institución de educación superior pasa necesariamente por una docencia renovada y por un docente innovador, formado en una doble perspectiva: la disciplinaria y la pedagógico-didáctica. La docencia deberá ser una docencia transformadora, profesional, creativa; enseñar para el cambio, para lo nuevo. En lo primero, transmitir crítica y creativamente los conocimientos prácticos de la profesión; en lo segundo, enseñar a producir conocimientos, no sólo a consumirlos. En consecuencia, se necesita urgentemente revisar y replantear los supuestos teóricos y sus prácticas en el aula, imprimir ingenio, creatividad y compromiso en la acción diaria.

En conclusión, necesitamos al frente de un *semillero de investigación*, al docente que pueda enseñar desde su propia experiencia y opción de vida, para el cambio y la transformación, aquel que desde la posición crítica y reflexiva, potencie en el estudiante el estado constante de asombro, interés y pasión por la investigación. Ese docente ha de ser un visionario, capaz de ver en cada uno de sus estudiantes al futuro investigador. Ese es el docente que proponemos y necesitamos.

*Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso*



## **Revista de Investigación Científica**

Ñawparisun, es una publicación periódica cuatrimestral, editada por la Universidad Nacional de Juliaca, cuyo objetivo es ofrecer comunicación científica a través de la publicación de investigaciones científicas realizadas a nivel nacional e internacional. Los trabajos que se presentan, corresponden a diversas temáticas relacionadas con la Ingeniería Ambiental y Forestal, Ingeniería Textil y de Confecciones, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Ingeniería en Energías Renovables, Gestión Pública y Desarrollo Social, así como de otras disciplinas afines.

La comunicación científica de los trabajos es publicada en idioma español e inglés, siendo su contenido original e inédito, por lo que no pueden haber sido presentados de manera parcial o total en ninguna otra plataforma de revistas científicas electrónicas y/o impresas.

Los trabajos científicos que aparecen en Ñawparisun, son únicamente responsabilidad de los autores. Sin embargo, cuando un trabajo científico es aceptado para su publicación, los derechos de impresión y reproducción serán propiedad de la revista. El Comité Editorial de Ñawparisun se reserva el derecho de realizar modificaciones pertinentes y formales sobre los artículos, con el propósito de adaptar el texto recepcionado a las normas de publicación. Ñawparisun, no ofrece copia de los artículos científicos publicados.

Los trabajos deberán ser enviados a la Dirección del Consejo Editor: Avenida Nueva Zelandia N° 631- Juliaca, Puno. Teléfono 051-333927. E-mail: [revistanric@unaj.edu.pe](mailto:revistanric@unaj.edu.pe)



◆	<b>Editorial</b>	<i>Domingo Jesús Cabel Moscoso</i>	<b>7</b>
◆	<b>Estimación del Potencial Energético Eólico para la Ciudad de Juliaca, Perú</b>		<b>13</b>
	<b>Potential Estimation of Wind Energy in Juliaca - Peru</b>	<i>Ubaldo Yancachajlla Tito, Ciro William Taipe Huaman, Julio Romualdo Gallegos Ramos</i>	
◆	<b>Actitudes de los estudiantes de secundaria hacia la conservación del ambiente en Acora – 2018</b>		<b>19</b>
	<b>High School Students' Attitudes Towards Preservation of the Environment. In Acora-Peru - 2018</b>	<i>Enrique Gualberto Parillo Sosa, Víctor Rogelio Marca Maquera, Illich Xavier Talavera Salas</i>	
◆	<b>Segmentación del uso de Medios de Comunicación en la población electoral de la Región Puno</b>		<b>25</b>
	<b>Psychographical Segmentation on the Use of Mass Media in the Electoral Population in Puno Region</b>	<i>Vitaliano Enriquez Mamani, Nestor Bolivar Espinoza</i>	
◆	<b>Contaminación de las Aguas Subterráneas por Arsénico (As) el caso del distrito de Juliaca – Perú</b>		<b>31</b>
	<b>Groundwater Polluted by Arsenic (As) as the case in Juliaca district - Peru</b>	<i>Wile Mamani Navarro</i>	
◆	<b>Recuperación de oro de residuos electrónicos aplicando métodos no convencionales de baja contaminación ambiental, a nivel de laboratorio</b>		<b>37</b>
	<b>Recovery of gold from electronic waste by applying unconventional methods of low environmental contamination, at laboratory level</b>	<i>Jorge Emilio Ricardo Yaya Lévano, Miguel Angel Coaquira Yapu</i>	
◆	<b>Reconstrucción y análisis de la Evolución Temporal de la Radiación Solar Global en la ciudad de Puno durante el periodo 1964-2008</b>		<b>45</b>
	<b>Reconstruction and analysis of the Temporary Evolution of Global Solar Radiation in the city of Puno during the period 1964-2008</b>	<i>Lelia Quispe Huamán, Guina Sotomayor Alzamora</i>	
◆	<b>Avances y perspectivas para la optimización de microorganismos relevantes y limitación de bacterias filamentosas en lodos activados: una revisión</b>		<b>55</b>
	<b>Advances and perspectives for the optimization of relevant microorganisms and limitation of filamentous bacteria in activated sludge: a review</b>	<i>Ricardo Chambi Apaza, Katerin Chambi Torres, Nestor Deza Chavez, Edwin Mamani Coyla, Jhelsi Milagros Mamani Quispe, Fiorela Esmeralda Quispe</i>	
◆	<b>Diseño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente a Nivel de Laboratorio Para el Tratamiento de Agua Residual Municipal en el Distrito de Guadalupe</b>		<b>63</b>
	<b>Design of an Upstream Anaerobic Flow Reactor for the Municipal Wastewater Treatment at Laboratory Level in the District of Guadalupe</b>	<i>Isis C. Córdova Barrios, Pedro Córdova Mendoza, Teresa O. Barrios Mendoza, Antonina J. García Espinoza, Ana María Huayta Arroyo</i>	
◆	<b>Determinación de las características Físico Químicas y Microbiológicas de las Aguas de las principales fuentes de consumo en la Región Puno</b>		<b>71</b>
	<b>Determination of the Physic- Chemical and Microbiological characteristics in Waters of the main sources of consumption in Puno Region</b>	<i>José Luis Pineda Tapia, Dany Coaquira Mamani, Lisbeth Carina Coaquira Huacani, Diego Wilman De La Cruz Paredes, Maribel Jara Mamani</i>	
◆	<b>La regeneración de los aceites usados de los motores de combustión disminuye el impacto ambiental en la ciudad de Ica</b>		<b>81</b>
	<b>Regeneration of used oils from combustion engines, reduces the environmental impact in Ica city</b>	<i>Luis Alberto Massa Palacios, Rosalio Cusi Palomino, Sofia Andrea Cuneo Macedo, Mirna Vanessa Alvaro Huillcara, Elizabeth Escate Reyna, Allan Flores Ramos</i>	
◆	<b>Normas generales para la presentación de artículos en Ñawparisun</b>		<b>87</b>



---

**Estimación del Potencial Energético Eólico para la Ciudad de Juliaca, Perú**  
**Potential Estimation of Wind Energy in Juliaca - Peru**

---

Ubaldo Yancachajlla Tito  
*ubaldoy@hotmail.com - Universidad Nacional de Juliaca*  
Ciro William Taipe Huaman  
*cwtaipe@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca*  
Julio Romualdo Gallegos Ramos  
*jgallegos@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*

**Resumen**

En el contexto actual de reconversión de la base energética, el viento es una buena fuente de energía que se viene aprovechando en muchos países del mundo. Es una fuente de energía renovable que se utiliza para la generación de electricidad, el bombeo de agua y muchas otras actividades. Pero en el Perú, en ciertas regiones, la extracción de energía eólica es más difícil debido a la baja velocidad del viento. La presente investigación trata sobre la estimación del potencial de energía eólica disponible en la ciudad de Juliaca. Los datos de viento obtenidos en la estación meteorológica del campus de la Universidad Nacional de Juliaca, ubicada en la siguiente coordenada -15.489172, -70.152718, zona urbana de Juliaca se analizan en términos de parámetros establecidos, como la distribución Weibull, la distribución de frecuencias de las direcciones del viento. Nos puede ayudar a comprender cuánta energía tenemos y cuánta energía se puede utilizar de manera fructífera.

**Palabras claves:** *Potencial eólico, distribución de Weibull, rosa de vientos, velocidad de viento.*

**Abstract**

In the current context of reconversion of energy base, wind is a good source of energy that has been used in many countries in the world. It is a renewable energy source that is used for the generation of electricity, water pumping and many other activities. But in Peru, in certain regions, the advantage taking of wind energy is more difficult due to the low wind speed. The present reseach deals with the potential wind energy available in Juliaca city. Wind data has been obtained from the Juliaca National University Meteorological Station, located at the coordinate -15.489172, -70.152718, an urban area in Juliaca; the data has been analyzed in terms of establishing parameters such as the "Weibull Distribution" as well as the "Frequency Distribution of Wind Directions". This study will help us understand how much energy we have and how much energy can be used successfully.

**Keywords:** *Wind potential, Weibull distribution, wind rose, wind speed.*

## Introducción

La energía renovable es una fuente de energía ecológica, que se considera como la forma de energía más prometedora y útil. Existen varios tipos de recursos de energía renovable disponibles en todo el mundo, como energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, biogás, biocombustible e hidroeléctrica (Halder, Paul, Joardder, & Sarker, 2015). Entre ellos, la energía eólica es una de las fuentes de energía de más rápido crecimiento en todo el mundo (Ackermann & Söder, 2000). Se ha estimado que el potencial global de energía eólica total alcanzó 486.74 GW a fines del año 2016 (Sahu, 2018).

La energía eólica es una de las fuentes más prósperas de energía renovable, que se puede utilizar para generar electricidad en algunos lugares aislados. En Australia, recientemente, muchos grupos de investigación han investigado diferentes ideas y técnicas innovadoras para pronosticar datos del viento y desarrollar formas más eficientes de extraer la energía del viento (Liu, Mi, & Li, 2018; Moreno & dos Santos Coelho, 2018; Vogel, Saravia, Kobe, Schumann, & Schuster, 2018).

El análisis de los datos del viento se considera como el primer paso para la identificación de los posibles emplazamientos eólicos. En la literatura, los investigadores utilizaron un enfoque diferente para encontrar el emplazamiento eólico más prospectivo. Hasta la fecha, la distribución de Weibull es el modelo matemático más ampliamente investigado utilizado para la estimación de la energía eólica disponible (Wais, 2017). Por ejemplo, Azad y sus colaboradores, describieron el diagnóstico estadístico de los mejores métodos de Weibull para la evaluación de la energía eólica (Abul Kalam Azad, Rasul, & Yusaf, 2014). Según los autores, existen siete métodos diferentes, como el método de densidad de potencia, el método de máxima verosimilitud, el método de momentos, el método de desviación estándar, el método gráfico, el método de máxima verosimilitud modificada y el método de equivalente de energía utilizado para la estimación de los parámetros de Weibull. Descubrieron que el método del momento y el método de máxima verosimilitud eran los métodos más adecuados para la estimación del valor  $k$  y el valor  $c$  que se ajustaban mejor a la curva de distribución de Weibull. Además, Akpınar y Akpınar llevaron a cabo una investigación similar utilizando un enfoque estadístico para analizar los datos de velocidad del viento para la instalación de sistemas de conversión de energía eólica (Kavak Akpınar & Akpınar, 2005).

En este estudio, se analizaron estadísticamente los datos de la velocidad media del viento por hora para el emplazamiento. Keban-Elazığ utilizando los modelos de Weibull y Rayleigh. Encontraron que la distribución de Weibull proporcionó mejores estimaciones de densidad de potencia a lo largo de los 12 meses que la distribución de Rayleigh. Además, Parajuli (Parajuli, 2016) también se analizó la velocidad del viento y la densidad de potencia según los modelos de Weibull y Rayleigh de Jumla, Nepal. En este estudio, el autor analizó estadísticamente los datos de la velocidad del viento media diaria durante 10 años del período. El autor derivó la distribución de

densidad de probabilidad y la densidad de potencia a partir de datos de series de tiempo. El resultado del estudio indicó que la distribución de Weibull se ajustaba mejor a la distribución de probabilidad medida que la distribución de Rayleigh. En otro estudio, Azad y Saha llevaron a cabo el análisis de Weibull sobre el potencial de la energía eólica en los emplazamientos costeros (A K Azad & Saha, 2011).

Los autores recopilaron datos de velocidad del viento en intervalos de 10 minutos a 20 m de altura desde el suelo para diferentes emplazamientos. Los datos se organizaron en una secuencia adecuada, por ejemplo, por hora, día, mes y año. El resultado del estudio indicó que la función de densidad de probabilidad  $F(v)$  y la función de distribución acumulada  $f(v)$  para los datos observados y los datos calculados se ajustaron estrechamente entre sí, lo que indica la idoneidad del emplazamiento para la generación de electricidad. Khan et al. realizó un análisis similar de Weibull sobre el potencial de la energía eólica de tres regiones diferentes en Bangladesh (Khan, Halder, & Rahman, 2014). La distribución de Weibull se empleó en algunos otros estudios más recientes para analizar los datos del viento, estimar el factor de forma y escala, y evaluar el potencial de la energía eólica en diferentes emplazamientos eólicos de Chad, Turquía y Egipto (Kaplan, 2018; Soulouknga, Doka, N.Revanna, N.Djongyang, & T.C.Kofane, 2018). El diseño de la turbina eólica para la elección del emplazamiento también es crucial para la generación de energía eólica sostenible. Normalmente, hay dos tipos de turbinas eólicas disponibles, como la turbina eólica de eje vertical y la turbina eólica de eje horizontal. Una turbina eólica de eje horizontal es la más utilizada para la extracción de energía eólica comercial.

La generación de energía del aerogenerador varía según los diferentes tamaños de forma y tamaño de la pala de la turbina (A. K. Azad & Kaysar, 2012).

En Perú se han establecido diversos mecanismos para promover la participación de las energías renovables en la generación. La ley 29157 de 2010 tiene como objetivo "promover la inversión en la generación de electricidad con el uso de fuentes de energía renovable" estimar los recursos energéticos renovables aprovechables en el territorio peruano. En el presente artículo se realiza la estimación del potencial eólico en Juliaca, determinando si es viable el emplazamiento para un aerogenerador.

## Materiales y Métodos

Para la estimación del potencial eólico en un lugar es necesario los siguientes datos: presión atmosférica, temperatura del lugar, altura sobre el nivel del mar y velocidad del viento, entre otros, por esta razón los datos serán tomados de la estación meteorológica del campus de la Universidad Nacional de Juliaca.



Figura 1. Estación meteorológica instalada en el Campus de la Universidad Nacional de Juliaca.

La distribución de Weibull y la rosa de los vientos nos permite estimar el potencial eólico y determinar qué tipo de aerogenerador es el adecuado.

Se realiza un histograma con la ayuda del software Wrplot, el número óptimo de clases, está dado por la regla de Sturges, descrita a continuación:

$$No. Clases = 1 + 3.32 \log(N) \quad (1)$$

Dónde: N, es el número de datos de la muestra.

### Distribución de Weibull

La distribución de Weibull se caracteriza por dos parámetros como el parámetro de forma  $k$  (sin dimensiones) y el parámetro de escala  $c$  (m / s)

La función de densidad de Weibull (densidad de probabilidad) está dada por

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-(v/c)^k} \quad (2)$$

Donde:  $v$ , velocidad del viento (m/s)

En la Figura 2, se muestra gráficas de Weibull para distintos valores del parámetro  $k$ ,

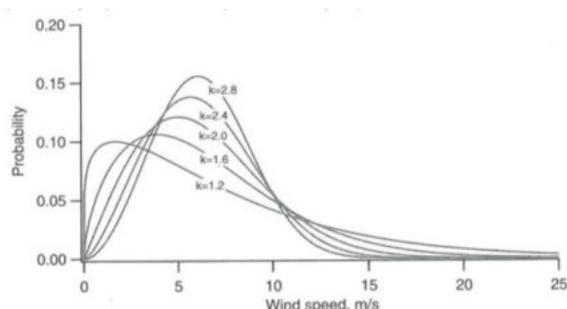


Figura 2. Densidad de probabilidad de la velocidad para Weibull para varios valores de k. (López, 2012).

Los mínimos cuadrados es un método que permite estimar los parámetros de la función Weibull, para lo cual se realiza de la siguiente manera:

Se calcula  $y_i$  y  $x_i$  del siguiente modo:

$$y_i = \ln(\ln(1 - F_i)) \quad (3)$$

$$x_i = \ln(v_i) \quad (4)$$

Donde:

( $v_i$ ) las clases del histograma

( $f_i$ ) la frecuencia relativa

( $F_i$ ) frecuencia relativa acumulada.

Luego, se calculan los valores de A y B

$$A = \frac{\sum f_i x_i y_i - (\sum f_i x_i)(\sum f_i y_i)}{\sum f_i x_i^2 - (\sum f_i x_i)^2} \quad (5)$$

$$B = f_i y_i - \sum f_i x_i \quad (6)$$

Se calcula  $k$  y  $c$ ,

$$k = A \quad (7)$$

$$c = e^{-(B/A)} \text{ m/s} \quad (8)$$

### Densidad del aire

Para estimar la densidad del aire puede determinarse de forma indirecta conociendo la temperatura, altura sobre el nivel del mar:

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{T+273}\right) e^{-\left(\frac{h}{8435}\right)} \quad (9)$$

Donde  $\rho$  - densidad del aire,  $h$  - altura del lugar de estudio y  $T$ - temperatura del lugar.

### Potencial energético disponible

La potencia eólica disponible.

$$P_d = \frac{1}{2} \rho F_e v^3 A \quad (10)$$

La densidad de potencia disponible por unidad de área.

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2} \rho F_e v^3 \quad (11)$$

dónde:  $P_d$ , - potencial eólico (w/m<sup>2</sup>), A- área(m<sup>2</sup>),  $\rho$ - densidad del aire(kg/m<sup>3</sup>),  $v$  el valor promedio de velocidad (m/s) y  $F_e$  el factor de potencia eólica o factor de energía, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$F_e^{1/3} = \frac{\hat{v}}{v} \quad (12)$$

El término del numerador se halla elevando primero las velocidades instantáneas al cubo y luego se calcula el promedio de este valor. El denominador es el promedio de las velocidades elevado al cubo.

**Rosa de los vientos**

Un diagrama de rosa de los vientos es una herramienta que muestra gráficamente la velocidad del viento y la dirección del viento en un lugar en particular durante un período de tiempo.

**Resultados y discusión**

Se utilizaron los datos obtenidos de la estación meteorológica Universidad Nacional de Juliaca, la cual está configurada para tomar muestras cada hora; se utilizó el programa MATLAB obteniendo los siguientes resultados para los meses de enero hasta agosto.

**Velocidad del viento**

Para los meses enero hasta agosto del año 2018 se tiene un total de 5831 datos, el tiempo de muestreo es de una hora entre mediciones, según la regla de Sturges el número de clases óptimo será:

$$No. Clases = 1 + 3.32 \log(5831) = 13.5 \dots(13)$$

La velocidad media del viento y la desviación típica de la muestra es.

$$\hat{v} = 2.27515m/s \dots(14)$$

$$\sigma = 1.902018 m/s \dots(15)$$

En la Figura 3 se observa el histograma de los datos de la estación meteorológica. La velocidad media y desviación típica se encuentran entre 0.50 m/s y 3.60/s.

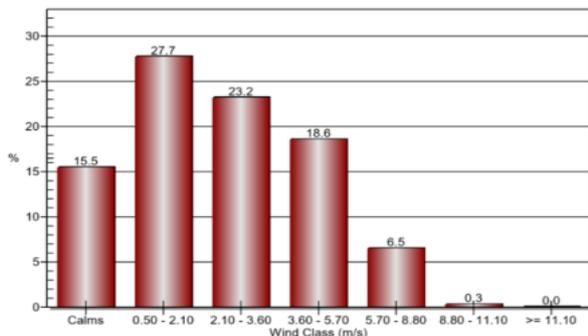
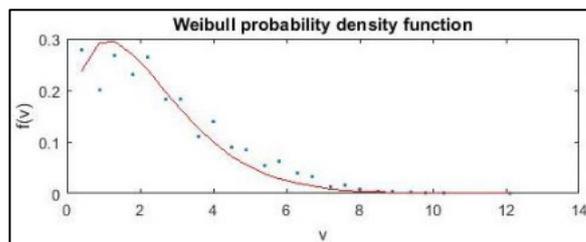
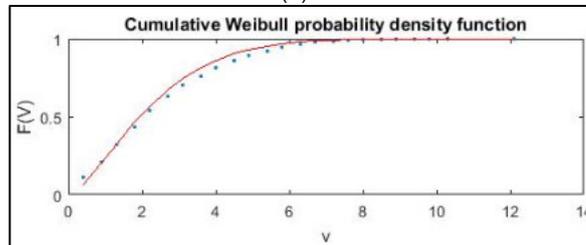


Figura 3. Distribución de Weibull para enero hasta agosto 2018.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Función de densidad de probabilidad de Weibull; (b) Función de densidad de probabilidad de Weibull acumulada.

Los parámetros de forma y escala calculados son:

$$k = 1.4526 m/s \dots(16)$$

$$c = 2.4973 m/s \dots(17)$$

El valor del factor de forma  $k$ , es un valor que indica que la gráfica de la distribución de Weibull no es tan asimétrica; adicionalmente, el factor de escala  $c$ , es una velocidad cercana a la velocidad media.

**Densidad de viento**

Los datos registrados por la estación meteorológica temperatura y presión:

$$T_{promedio} = 9.55 \text{ }^\circ\text{C} \dots(18)$$

$$P_{promedio} = 640.2 \text{ mBar} \dots(19)$$

La altura en metros sobre el nivel del mar:

$$h = 3825 \text{ m s. n. m.} \dots(20)$$

Entonces la densidad es calculada con la ecuación,

$$\rho = 1.225 \left( \frac{288}{9.55+273} \right) e^{-\left( \frac{3825}{8435} \right)} \dots(21)$$

$$\rho = 0.7934 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \dots(22)$$

**Potencial energético del viento**

Se halla el factor de energía:

$$F_e = \frac{42.585}{11.777} = 3.62 \dots(23)$$

Luego se halla la densidad de potencia eólica:

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2} * 0.7934 * 3.62 * 2.27515^3 \dots(24)$$

$$\frac{P_d}{A} = 16.912 \text{ W/m}^2 \dots(25)$$

Realizados los cálculos para la estación ubicada en las instalaciones de la Universidad Nacional de Juliaca, se tiene una velocidad promedio media de 2.27515 m/s y una densidad de potencia eólica de 3.2636 W/m<sup>2</sup>. Estos valores se corroboran con el atlas eólico del Perú (Vidal Perez, 2008).

Para efectos de cálculo se supone un aerogenerador BLACK 300 cuyas características técnicas se ven en la Tabla 1

Tabla 1.  
Características aerogenerador BLACK 300

Hélice	3 hojas
Material	Carbón-Nylon
Diámetro de rotor	1.22 m
Generador	Permanente, Direct Drive
Voltaje	12V DC (24V, 48V disponible)
Rendimiento a 9.36 m/s	343 W (max. 450 a 12 m/s)
Velocidad mínima para cargar	1.8 m/s
Peso de generador	15 kg
Medidas y peso del paquete	70cm*40cm*21cm (18Kg)
Área	1.17 m <sup>2</sup>
Potencia nominal	343 W

Finalmente se remplazan los resultados obtenidos en la siguiente ecuación, para determinar el potencial eólico.

$$P_d = 3.2636 * A$$

$$P_d = 16.912 * 1.17$$

$$P_d = 19.78 W$$

La potencia alcanzada utilizando un aerogenerador Black 300 en el campus de la Universidad Nacional de Juliaca es de 19.78 W

**Dirección de viento**

Se observa en la Figura 5 que existe una dirección dominante entre 247.5° con 584 frecuencias, 270° con 550 frecuencias y 315° con 522 frecuencias.

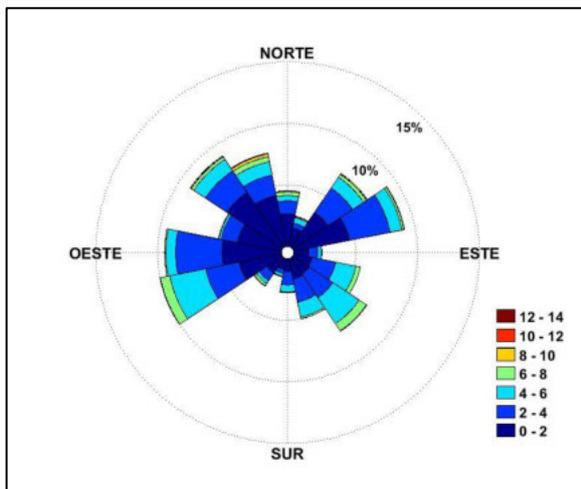


Figura 5. Rosa de los vientos enero hasta agosto

**Conclusiones**

El valor estimado del factor de forma de la distribución de Weibull k, es 1.4526. Es un valor que indica que la gráfica de la distribución de Weibull no es tan asimétrica, pero es menor que 2. También se observa que, el factor de escala c, tiene un valor cercano la media

Realizada la estimación del potencial eólico en Juliaca, determina el potencial energético del lugar un valor de 16.912 W/m<sup>2</sup>, lo cual es un valor pequeño y no es poco viable.

La velocidad promedio del viento es de 2.27515 m/s. También se tiene que la velocidad del viento no es constante y la direcciones de estas varían (existe una dirección dominante alrededor entre 247.5° con 584 frecuencias, 270° con 550 frecuencias y 315° con 522 frecuencias).

Para un aerogenerador BLACK 300 que requiere una velocidad de arranque mínima 1.8m/s, con una potencia nominal de 343W, para la densidad de potencia eólica de 16.912W/m<sup>2</sup> y el radio del rotor es de 1.22m, se obtiene una potencia de 19,78W, el cual está muy por debajo del valor nominal de la turbina eólica back 300.

## Referencias bibliográficas

- Ackermann, T., & Söder, L. (2000). Wind energy technology and current status: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(4), 315–374. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(00\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(00)00004-6)
- Ahmed, N. A., & Cameron, M. (2014). The challenges and possible solutions of horizontal axis wind turbines as a clean energy solution for the future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 439–460. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.06.004>
- Azad, A. K., & Kaysar, M. M. (2012). Design of a Horizontal Axis Wind Turbine for Electricity Generation in Low Speed Windy Sites. *International Journal of Advanced Renewable Energy Research*, 1(6), 363–373.
- Azad, A. K., & Saha, M. (2011). Weibull's Analysis of Wind Power Potential at Coastal Sites in Kuakata, Bangladesh. *International Journal of Energy Machinery*, 4(1), 36–45.
- Azad, Abul Kalam, Rasul, M. G., & Yusuf, T. (2014). Statistical diagnosis of the best weibull methods for wind power assessment for agricultural applications. *Energies*, 7(5), 3056–3085. <https://doi.org/10.3390/en7053056>
- Halder, P. K., Paul, N., Joardder, M. U. H., & Sarker, M. (2015). Energy scarcity and potential of renewable energy in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51(April 2018), 1636–1649. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.069>
- Kaplan, Y. A. (2018). Performance assessment of Power Density Method for determining the Weibull Distribution Coefficients at three different locations. *Flow Measurement and Instrumentation*, 63, 8–13. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2018.07.004>
- Kavak Akpınar, E., & Akpınar, S. (2005). A statistical analysis of wind speed data used in installation of wind energy conversion systems. *Energy Conversion and Management*, 46(4), 515–532. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2004.05.002>
- Khan, P. A., Halder, P. K., & Rahman, S. (2014). Wind energy potential estimation for different regions of Bangladesh, 3(3), 47–52. <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20140303.11>
- Liu, H., Mi, X., & Li, Y. (2018). An experimental investigation of three new hybrid wind speed forecasting models using multi-decomposing strategy and ELM algorithm. *Renewable Energy*, 123, 694–705. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.02.092>
- López, M. V. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Marcombo.
- Moreno, S. R., & dos Santos Coelho, L. (2018). Wind speed forecasting approach based on Singular Spectrum Analysis and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *Renewable Energy*, 126, 736–754. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.11.089>
- Parajuli, A. (2016). A Statistical Analysis of Wind Speed and Power Based on Weibull and Rayleigh Models of Jumla, Nepal, (July), 271–282.
- Sahu, B. K. (2018). Wind energy developments and policies in China: A short review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1393–1405. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.183>
- Soulouknga, M. H., Doka, S. Y., N.Revanna, N.Djongyang, & T.C.Kofane. (2018). Analysis of wind speed data and wind energy potential in Faya-Largeau, Chad, using Weibull distribution. *Renewable Energy*, 121, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.002>
- Vidal Perez, J. (2008). Atlas Eólico del Perú, 87. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0176-1>
- Vogel, E. E., Saravia, G., Kobe, S., Schumann, R., & Schuster, R. (2018). A novel method to optimize electricity generation from wind energy. *Renewable Energy*, 126, 724–735. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.03.064>
- Wais, P. (2017). A review of Weibull functions in wind sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1099–1107. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.12.014>

**Actitudes de los estudiantes de secundaria hacia la conservación del ambiente en Acora – 2018**  
**High School Students' Attitudes Towards Preservation of the Environment. In Acora-Peru - 2018**

---

Enrique Gualberto Parillo Sosa  
*eparillo@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*  
Víctor Rogelio Marca Maquera  
*vmarca@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*  
Illich Xavier Talavera Salas  
*i.talavera@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*

### Resumen

El objetivo del estudio es determinar las actitudes de los estudiantes hacia la conservación del ambiente. El método empleado según el grado de profundidad es de tipo descriptivo. El grupo de estudio estuvo conformado por 127 estudiantes de la Institución Educativa Secundaria Alfonso Torres Luna del distrito de Acora, determinado por muestreo tipo probabilístico aleatorio simple. En la recolección de datos se aplicó un instrumento de medición de escala tipo Likert con 37 ítems (5 opciones de respuesta) se valoraron los componentes cognoscitivo, reactivo o conductual y afectivo. Los resultados señalan que el 81.1% de los estudiantes poseen actitudes positivas hacia la conservación del ambiente. Las conclusiones que se alcanzaron reflejan que los componentes cognoscitivo y afectivo están interrelacionadas con las acciones sociales de los estudiantes, por lo tanto; se fomenta la conservación del ambiente.

**Palabras claves:** *Actitudes, ambiente, conservación, desarrollo sostenible.*

### Abstract

The goal of the study was developed to determine students' attitudes towards preservation of the environment. The method used according to the degree of estimation is the Descriptive. The study sample consisted of 127 "Alfonso Torres Luna High School" students in Acora district, determined by simple random probabilistic sampling. In the data collection a Likert-type scale measuring instrument with 37 items (5 response options) has been applied. The cognitive, reactive or behavioral and affective components have been evaluated. The results indicate that 81.1% of the students have positive attitudes towards the preservation of the environment. The conclusions reached at, reflect that the cognitive and affective components are interrelated within the social actions of the students. Therefore; the preservation of the environment has been encouraged.

**Keywords:** *Attitudes, environment, conservation, sustainable development.*

## Introducción

La conservación del ambiente adquiere en la actualidad un significado de enorme importancia para la sociedad en que nos toca vivir, todo ello es fruto del convencimiento de que la naturaleza no es capaz de neutralizar los efectos derivados de la actividad humana sobre el planeta. La conservación del ambiente es una preocupación que trasciende fronteras, por lo que se hace necesaria una actuación conjunta, de ámbito planetario, para conseguir de una vez por todas aunar esfuerzos entre crecimiento económico y conservación del ambiente.

El concepto de "actitud" fue introducido en ciencias sociales por W. Thomas y F. Znanieck en su obra *Campesinos polacos en Europa y América* (Ezequiel Ander- Egg, 1980). Han sido diversas las formas de entender el concepto actitud bien como predisposición, estado mental, estado afectivo (Matas, 2004). En esta ocasión, se entiende que la actitud es un componente del sistema socio-afectivo del sujeto, definido por tres factores:

- Factor ideológico o cognitivo: ideas y convicciones sobre el objeto de actitud y sus implicaciones.
- Factor afectivo-emocional: simpatía o antipatía hacia el objeto de actitud.
- Factor reactivo-comportamental: implicación del comportamiento y del pensamiento a favor o en contra del objeto de actitud.

La mayoría de los investigadores han asumido la definición de actitud a partir de tres elementos: cognoscitivo, afectivo y reactivo a la acción. Considerando que los aspectos cognoscitivos, reactivos o conductuales y afectivos.

Yarlequé (2004), manifiesta que la nomenclatura especializada según los objetos, ideas o sujetos hacia los que tenemos una determinada actitud se le denomina objeto actitudinal. Dentro de los rasgos más comunes de las actitudes tenemos: La organización duradera de creencias. Es decir que hacen referencias a un sistema de valores más o menos permanentes y estables, para evaluar los fenómenos psicosociales. La carga afectiva, puede ser a favor o en contra y está en relación con los valores que posee el sujeto, los cuales le permite aceptar o rechazar el objeto actitudinal. La predisposición de la acción, toda actitud tiene elementos conductuales observables; los cuales no se encuentran determinados únicamente por lo que a las personas les gustaría hacer, sino también por lo que piensan que deben hacer, o sea normas sociales por las que ellas generalmente se rigen.

La formación y desarrollo de las actitudes se realizan mediante el aprendizaje social (Baron y Byrne, 2005). Por lo que la actitud como una predisposición aprendida para actuar en forma favorable o desfavorable con respecto a la elección de un objeto.

El estudio de las actitudes ha ocupado un lugar muy importante en la psicología social. Sin embargo, con el desarrollo de la cognición por una parte y del trabajo por competencias en el terreno educativo, las actitudes no son ya más patrimonio exclusivo de la psicología social (Rodríguez, 1993). Su estudio se ha

extendido en general a todas aquellas disciplinas que de un modo u otro estudian al hombre; debido a que constituyen valiosos elementos para la predicción de conductas. Matas (2004) afirma que las actitudes, es un tópico clásico en investigación educativa. Pero reconoce que, "los instrumentos utilizados para recoger información sobre las actitudes, no sólo es *exclusivo en educación* sino en otras muchas disciplinas, han sido las escalas".

Se puede afirmar que existe una escala cuando a partir de una distribución de frecuencias de un universo de atributos, es posible generar una variable con las características de los objetos de estudio, de forma que en cada atributo se reconozca una función simple de la variable inicial. Según el procedimiento de construcción pueden identificarse distintos tipos de escalas: de puntos, de comparación binaria, de Thurstone, de Likert, escalograma de Guttman, diferencial semántico de Osgood, etc., entre otros.

Ahora bien, el estudio de las actitudes es sumamente importante porque involucra mucho más que el conocimiento, implica una importante dosis de racionalidad, a través del componente cognitivo, una cuota de afectividad importante para sostener la actividad humana y finalmente una disposición a la acción (componente reactivo o conductual).

En el Perú, hay una serie de investigaciones en torno al tema ambiental (Rivera y Rispa, 2005) (Canales; Vargas y Rodríguez; Credo; Sánchez; Fuentes, Chávez y Contreras, 2002), motivar el cambio de actitudes de la población respecto al uso, protección y cuidado del medio ambiente (Fuentes, Chávez y Contreras, 2002 y Villacorta et al, 2004 establecer diferencias en las actitudes hacia la conservación ambiental de estudiantes de educación secundaria en función al lugar de residencia Villacorta et al. (2010).

En el caso de la educación ambiental, son muy diversos los instrumentos propuestos para la valoración de las actitudes. En 1995 Castanedo elaboró un instrumento eficaz que mida las actitudes proambientales de estudiantes universitarios. Álvarez, Fuente, García, & Fernández (1999), publicaron un cuestionario sobre actitudes ambientales para los alumnos de la ESO que conseguía medir un constructo unidimensional. Luego estos mismos autores han realizado una revisión de la estructura del mismo instrumento. Destacan también la utilización de la "Escala del Nuevo Paradigma Ecológico" propuesto por Dunlap et al., el 2000. Berenguer y Corraliza (2000) construyeron un cuestionario auto-administrado tipo Likert, con la intención de analizar las variables relevantes en el concepto "preocupación ambiental".

En 2005 Moreno, Corraliza, y Ruiz, publicaron un cuestionario para medir la conciencia ambiental, de 15 ítems que trata de analizar unidimensionalmente las creencias generales de la relación entre el ser humano y su entorno natural. Las posibilidades de utilización en el ámbito peruano de una escala para medir actitudes ha sido puesta de manifiesto por Yarlequé, (2004) como instrumento que tiene por finalidad medir las actitudes hacia la conservación ambiental.

Otro aspecto importante en el estudio de las actitudes es el procedimiento analítico utilizado sobre la información recopilada. El análisis de componentes principales permite validar el instrumento (validez teórica factorial) al mismo tiempo que ofrece la posibilidad de obtener una puntuación global de los sujetos en los componente latentes.

### Materiales y métodos

#### Muestra

En este estudio transversal realizado entre abril y mayo del 2018 han participado 127 estudiantes de secundaria del 4º año 71 estudiantes y del 5º año 56 estudiantes, de edades comprendidas entre los 14 y los 18 años (media 15,95, desviación 3,2), el 46,5% fueron mujeres mientras que el 53,5% varones.

El muestreo de tipo probabilística aleatorio simple, se ha realizado en un centro educativo de educación secundaria Alfonso Torres Luna del distrito de Acora, provincia de Puno. Los cuestionarios fueron administrados por los investigadores y asistentes. Previamente, los investigadores ofrecían una breve introducción al alumnado sobre el objetivo de la encuesta así como de la utilización reservada de la información recogida en ella.

#### Instrumento

Se utilizó un instrumento de medición de escala tipo Likert adaptado de Yarlequé, Monroe y Zúñiga (2003), compuesto por 37 ítems, con cinco opciones de respuesta que van desde "Muy de acuerdo" hasta "Muy en desacuerdo" con el objetivo de valorar las actitudes de los estudiantes hacia el ambiente. El componente cognoscitivo comprendió 17 ítems, mientras que el componente afectivo 4 ítems y el componente comportamiento 16 ítems. Además se valoraron indicadores socio-demográficas, las cuales fueron género y edad. Para lograr la confiabilidad, valides y objetividad del instrumento se realizó una prueba piloto con el 10% de la muestra y para lograr la consistencia interna se realizó a través del coeficiente alfa de Cronbach (escala de actitudes = 0,801).

#### Procedimiento

Se aplicó el instrumento en forma colectiva, para lo cual se acudió a las aulas para la recolección de los datos y se les dio las instrucciones. El tiempo de aplicación fue en promedio de 20 minutos, la aplicación fue anónima y la participación voluntaria.

A cada ítem se otorgó una escala de puntuación de 1 a 5, posteriormente, se estimaron los niveles de actitud de los sujetos mediante la suma de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los ítems.

Los análisis realizados se han efectuado con el paquete estadístico SPSS versión 24.0

## Resultados y discusión

### Actitudes de los estudiantes hacia la conservación del ambiente

Tabla 1  
*Actitudes de los estudiantes hacia la conservación del ambiente*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Actitud Indiferente	23	18,1	18,1	18,1
Actitud positiva	104	81,9	81,9	100,0
Total	127	100,0	100,0	

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 1 se muestran la actitud de los estudiantes de la Institución Educativa Secundaria Alfonso Torres Luna de Acora de 4º y 5º año hacia la conservación es calificado como positiva, con un porcentaje de 81,9%, mientras que un 18,1% muestran una actitud indiferente.

Tabla 2.  
*Actitudes de los estudiantes hacia la conservación del ambiente por componentes*

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Actitudes hacia la conservación del ambiente	127	3	5	3,91	,511
Componente cognoscitivo	127	3	5	3,81	,484
Componente afectivo	127	2	5	4,02	,845
Componente reactivo	127	3	5	4,06	,588
N válido (según lista)	127				

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 2 se aprecia que la actitud de los estudiantes hacia la conservación ambiental de un total de 127 estudiantes se obtuvo una media de 3,91 de la variable en estudio, con una desviación estándar es 0,511. Además se muestra el análisis de cada componente, en la cual se obtuvo que el cognoscitivo presenta una media de 3,81 y una desviación estándar de 0,484, en el componente afectivo se aprecia una media de 4,02 y una desviación estándar de 0,845, finalmente se observa una media de 4,06 y su desviación estándar de 0,588 del componente reactivo.

Tabla 3.  
*Componente cognoscitivo de la actitud de los estudiantes hacia la conservación del ambiente*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Actitud Indiferente	29	22,8	22,8	22,8
Actitud positiva	97	77,1	77,1	100,0
Total	127	100,0	100,0	

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestra el componente cognoscitivo de los estudiantes de la Institución Educativa Secundaria Alfonso Torres Luna de Acora de 4º y 5º año, hacia la conservación del ambiente, es calificado como positiva, con un porcentaje de 77,1%, mientras que un 22,8% muestran una actitud indiferente.

Tabla 4.  
*Componente afectivo de la actitud de los estudiantes hacia la conservación del ambiente*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Actitud negativa	6	4,7	4,7	4,7
Actitud Indiferente	26	20,5	20,5	25,2
Actitud positiva	99	74,8	74,8	100,0
Total	127	100,0	100,0	

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 4 se muestra el componente afectivo de los estudiantes de la Institución Educativa Secundaria Alfonso Torres Luna de Acora de 4º y 5º año, hacia la conservación del ambiente, es calificado como positiva, con un porcentaje de 74,8%, mientras que un 4,7% muestran una actitud negativa.

Tabla 5.  
*Componente reactivo de la actitud de los estudiantes hacia la conservación del ambiente*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Actitud Indiferente	18	14,2	14,2	14,2
Actitud positiva	109	85,9	85,9	100,0
Total	127	100,0	100,0	

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 5 se muestra el componente reactivo de los estudiantes de la Institución Educativa Secundaria Alfonso Torres Luna de Acora de 4º y 5º año, hacia la conservación del ambiente, es calificado como positiva, con un porcentaje de 85,9%, mientras que un 14,2% muestran una actitud indiferente.

## Discusión

De acuerdo con lo obtenido en el presente estudio respecto a la actitud de los estudiantes hacia el ambiente se muestra que el 81,9% posee una actitud positiva, de los dos grados de estudio, además se puede indicar que los estudiantes del 5º año son los que manifiestan en su mayoría estar más predispuestos a conservar el ambiente. Estos resultados concuerdan la investigación de Rivera y Rodríguez (2009) sobre las actitudes de estudiantes de enfermería quienes expresan que el incremento de la contaminación podría ser perjudicial para la salud, además dentro del comportamiento ambiental más frecuente es cerrar el grifo de agua mientras cepillan sus dientes. Así mismo la investigación de Villacorta et.,al (2010) señala que los estudiantes de la zona urbana y rural expresan un nivel positivo sobre el cuidado del ambiente. Por otra parte Vargas, Medellín, Vázquez y Gutiérrez (2011) afirma que la actitud de estudiantes de nivel superior de México con un 75,3%, son ecologistas, *cuidadosos de la madre Tierra* y además practican un *consumo consciente*.

Ahora habría que analizar si existe un vínculo entre educación ambiental alcanzado por los estudiantes, corresponden con las actitudes del cuidado ambiental. Así tenemos el estudio de González y Abregú (2015) que afirma que en los tópicos vinculados al cambio de actitudes, en la forestación, en el reciclaje de residuos sólidos, y en la aplicación de la biología y ecología; los estudiantes lograron asimilar conceptualmente un 63,2% de lo impartido en aulas académicas.

Por tanto, es importante que se continúe con la promoción de la educación ambiental, sobre todo en los centros educativos y se haga énfasis acerca de los beneficios que se obtienen al cuidar el ambiente y sus recursos a través de programas que hasta ahora han dado buenos resultados, para crear conciencia en las personas acerca de la importancia del medio ambiente para la preservación de la vida en el planeta Tierra (Condori, 2016). Se puede vislumbrar que en los alumnos existe una educación ambiental, por lo que se podría decir que los estudiantes poseen conocimientos sobre la conservación y el cuidado del ambiente y que pueden ser portavoces para nuevas generaciones (Fierro & Fortoul, 2011).

En el componente cognoscitivo de los estudiantes el 71.1% muestran una actitud positiva hacia la conservación ambiental, identifican los factores ambientales, las sustancias contaminantes del ambiente, como *la contaminación afecta al hombre y a las especies: animales y vegetales* - pero reconociendo que - esto no solo se notará en unos cientos de años, porque *no hay que pensar solo en el ambiente en que vivimos hoy, hay que pensar también en el ambiente que le dejaremos a las generaciones posteriores*. Además, conocen las actividades que alteran la conservación ambiental como *el uso de venenos contra plantas e insectos indeseables haya disminuido la cantidad y calidad de suelos fértiles*, así también señalan que *preservar la flora y fauna silvestre es preservar la vida del hombre*, desde un enfoque de desarrollo sostenible (Moreno, Corraliza, & Ruiz, 2005). Y finalmente afirman que *la naturaleza es fuente de riqueza, pero si no la cuidamos se nos agotará*. Son las mujeres las que reconocen que *el*

*agua es fuente de vida hay que procurar no contaminarla y se muestran sensibles ante la problemática ambiental*.

Por otra parte, el componente afectivo de los estudiantes hacia la conservación del ambiente muestra una actitud positiva del 74,8%, estos datos están en concordancia con el estudio de Villacorta et.,al (2010), que indica que la carga emocional que muestran los estudiantes por el ambiente y su conservación se plasman en afirmaciones como *hay que amar a la naturaleza como a uno mismo. Porque todo lo que haces a la naturaleza te lo haces a ti mismo*. Sin embargo, existe un porcentaje de alumnos que muestran un porcentaje importante en el hecho de afirmar que *es tonto preocuparse por el medio ambiente en un país tan pobre como el nuestro, ya que la primera preocupación debería ser la economía*. Haciendo reflexionar el sentido de las categorías prioritarias de la preocupación por el ambiente, no está en el primer lugar. Así mismo, hay una predisposición por instruirse en el colegio y la universidad en cursos de educación ambiental y participar en proyectos de conservación ambiental, reafirmando la experiencia que narró Fierro y Fortoul (2011) en un caso de la escuela primaria "La esperanza" ubicada en Ensenada, Baja California, que en 2006 involucró a toda la escuela en un proyecto ecológico que incluía actividades como la limpieza escolar, reforestación, adopción de áreas verdes, entre otras. Con el paso de los meses, estas actividades comenzaron a repercutir en la dinámica escolar, fortaleciendo otras áreas como la convivencia escolar, la colaboración entre pares e incluso expandirse a los hogares de los estudiantes. Incluso, los estudiantes comenzaron a hablar sobre el deseo de ser biólogos o de asistir a la universidad.

Finalmente el componente reactivo de los estudiantes hacia la conservación, muestran una actitud positiva del 85,9%, resaltando acciones que contribuyan a la conservación ambiental como *clasificar los residuos sólidos como papel, cartón, plásticos, vidrios en los hogares para ayudar a la conservación ambiental*, calificando que *clasificar la basura es importante, porque permite reciclarla con mayor facilidad*. Sin embargo, existe vacío que necesitan ser tratados por el servicio público de la ciudad, ya que consideran que *la basura se bota al río o la calle, porque es el único lugar donde se puede botar, cuando no pasa el camión que la recoge*. Así mismo, se aprecia interés por participar en actividades que protejan el ambiente, como estar *dispuesto a ayudar a las personas en el sembrado de plantas y flores, para embellecer la ciudad o estar dispuesto a colaborar en las campañas para que no se quemen llantas, cohetes, pirotécnicos, bosques ni basura* incluso afirmando que *las personas que arrojan basura en la calle deberían ser multadas*. Y promueve la participación de los demás en el cuidado del ambiente cuando afirman que *debe ser obligatorio que cada estudiante se haga responsable de cuidar por lo menos una planta y un animal* al igual que la investigación de Páramo y Gómez (1997) donde señala que hay programas de reforestación impulsadas por escuelas, donde a cada estudiante se le asigna un árbol desde que ingresa a la escuela hasta que culmina sus estudios básicos.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez, P., Fuente, E. D., García, J., & Fernández, M. (1999). Evaluación de actitudes ambientales en la ESO. Análisis de un instrumento. *Alambique*, 77-86.
- Baron, R., & Byrne, D. (2005). *Psicología social*. Madrid: Pearson.
- Berenguer, J., & Corraliza, J. (2000). Preocupación ambiental y comportamientos ecológicos. *Psicothema*, 325-329.
- Castanedo, C. (1995). Escala para la evaluación de las actitudes pro-ambientales (EAPA) de alumnos universitarios. *Revista Complutense de Educación*, Vol. 6, núm. 2, 45 - 75
- Condori, M. (2016). Relación entre el conocimiento y la actitud hacia la ecoeficiencia en estudiantes de las Instituciones Educativas Secundarias de la ciudad de Juliaca – 2015. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Ezequiel Ander- Egg. (1980). *Técnicas de investigación social*. Buenos Aires: El Cid.
- Fierro, C., & Fortoul, C. (2011). Escuelas que construyen contextos para el aprendizaje y la convivencia democrática. Quince estudios de caso. México: Red latinoamericana de convivencia escolar.
- González, T., & Abregú, L. (2015). Nivel de información y actitudes de estudiantes y profesores. Aproximación a la educación ambiental en Selva Alta. *Investigación y Amazonía*, 110-113.
- Matas, A. (2004). Diagnóstico de las actitudes hacia el medio Ambiente en alumnos de secundaria: una aplicación de la TRI. *Revista de Investigación Educativa*, Vol. 22, núm. 1, 233-244.
- Moreno, M., Corraliza, J., & Ruiz, J. (2005). Escala de actitudes ambientales hacia problemas específicos. *Psicothema*, Vol. 17, núm. 3, 502-508 .
- Páramo, P., & Gómez, F. (1997). Actitudes hacia el medio ambiente: su medición a partir de la teoría de facetas. *Revista Latinoamericana de Psicología*, Vol. 29, núm. 2, 243-266.
- Rivera, M., & Rodríguez, C. (2009). Actitudes y comportamientos ambientales en estudiantes de Enfermería de una universidad pública del norte del Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 338-42.
- Rodríguez, A. (1993). *Psicología Social*. Mexico: Trillas.
- Vargas, C., Medellín, J., Vázquez, L., & Gutiérrez, G. (2011). Actitudes ambientales en los estudiantes de nivel superior en México. *Luna Azul*.
- Villacorta, J., & al, e. (2010). Actitudes hacia la conservación del medio ambiente de padres de familia, docentes y estudiantes de la zona urbana y rural de Belén – 2008. *Conocimientos*, 26-41.
- Whittaker, J. (2004). *La psicología social en el mundo de hoy*. México. D.F.: Trillas. S.A.
- Yarlequé, L. (2004). Actitudes hacia la conservación ambiental en estudiantes de educación secundaria. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Yarlequé, I., Monroe, J., & Zúñiga, J. (2003). Actitudes hacia la conservación ambiental en estudiantes de secundaria de las tres regiones naturales del Perú. Huancayo: Investigación preliminar.

## Segmentación Psicográfica del uso de Medios de Comunicación en la población electoral de la Región Puno

### Psychographical Segmentation on the Use of Mass Media in the Electoral Population in Puno Region

---

Vitaliano Enriquez Mamani  
*ey\_enriquez@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*  
Nestor Bolivar Espinoza  
*n.bolivar@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*

#### Resumen

La investigación identifica los segmentos de la población electoral según el uso de los medios de comunicación en la región de Puno. Se realizó bajo la aplicación del muestreo probabilístico, se aplicó un cuestionario mediante la entrevista personal a una muestra de 323 potenciales electores de 18 a 69 años, se recolectó los datos según las características personales y uso de medios de comunicación; de ello se escogió cinco indicadores que guardan mayor relación, los que intervinieron en el análisis de correspondencia múltiple. Las características personales más representativas fueron: 42,1% de los potenciales electores tienen de 20 a 34 años, el 30,3% se dedican al estudio como actividad principal; 37,2% son de tendencia política centro derecha. En cuanto al uso de medios de comunicación el 76,5% si hace uso del internet, siendo la televisión (87,3%) el medio que usa frecuentemente para informarse de los acontecimientos diarios. Se identificó cuatro segmentos, el primer segmento engloba el 51,8% de los electores potenciales, siendo ellos menores de 34 años, usan interdiariamente el internet, no se definen políticamente y se informan a través de la televisión o internet. El segundo segmento engloba el 12,69% de los electores potenciales, quienes laboran para el sector privado, usan el internet de una a dos veces por semana para obtener información y se definen políticamente de centro derecha. El tercer segmento engloba el 6,5% de los electores potenciales, tienen entre 50 a 69 años, usan el internet menos de una vez por semana y se definen de centro izquierda. El cuarto segmento engloba el 29,72% de los electores potenciales, tienen entre 34 a 69 años, no usan el internet y se informan de los acontecimientos diarios a través de la radio o diarios.

**Palabras claves:** *Segmentación Pictográfica, Medios de Comunicación.*

#### Abstract

The research identifies segments of the voting population by the use of the media in Puno Region .It has been conducted under the application of probabilistic sampling, a questionnaire has been administered by the technique of "Personal Interview" to a sample of 323 potential voters; the data's been collected based on personal characteristics and by the use of media; five of the most inter-related indicators have been chosen those which participated in the multiple correspondence analysis. The most representative personal characteristics were: 42,1% of potential voters aged 20 to 34 years, 30.3% are students as their main activity, in terms of politics, 37,2% are center-right wingers. Referred to the use of media 76,5% use the internet. (87,3%) frequently use the television to have information about the daily events. Four segments 've been identified: The first one covers the 51,8 % of the potential voters, aged under 34 years, use the internet every other day, politically not defined use television. The second segment includes the 12,69% of the potential voters, which work for private sector, use the Internet for information once or twice a week and are politically defined as center-right wingers. The third segment covers the 6,5% of the potential voters, aged between 50 and 69, use the internet less than once a week and are defined center-left wingers. The fourth segment includes 29,72% of the potential voters, aged between 34-69 years old, do not use the internet and are reported of daily events through radio or newspapers.

**Keywords:** *Segmentation, Using Mass Media.*

## Introducción

La segmentación de mercados se define como la partición del mercado total en subconjuntos homogéneos, los que están determinados por las necesidades y motivaciones de compra (Jacques, 2003), también se considera la segmentación como el proceso de analizar el mercado para reconocer grupos de consumidores que poseen características similares con respecto de la satisfacción de determinadas necesidades (Arellano, 2009). La segmentación del mercado identifica comportamientos semejantes entre los individuos de un determinado mercado, formando grupos con características similares. Existe cierto consenso en la literatura especializada entre Yanaze (2011) y Kotler Armstrong (2007), acerca de ciertos tipos y grados de segmentación, entre las que destacan: geográficos, demográficos psicográficos y de comportamiento. Yanaze (2011) asegura que la segmentación psicográfica caracteriza cualquier segmentación que considere una o más variables en su análisis como: valores, actitudes, personalidad, intereses, etc. También Solomon (2011) menciona que la pictografía consiste en el uso de factores psicológicos, sociológicos y antropológicos empleados para determinar la segmentación acertada del mercado sobre un producto, surgiendo por ende una metodología de investigación alternativa, que tiene como objetivo llenar los vacíos dejados por otros tipos de segmentación. La segmentación psicográfica propone una nueva forma de apreciar el mercado, donde el perfil psicográfico de un segmento de consumidores es considerado como una combinación de actividades, intereses y opiniones de los consumidores (Shiffman y Kanuk, 2012).

Basándonos según el tipo de mercado a servir la segmentación de mercados de consumo se puede realizar considerando cuatro grupos de variables: geográficas, demográficas, psicográficas y conductuales (Kotler, 2007), las que se utilizan mayoritariamente de forma independiente. Tal es así que, en el año 2010 en Quito- Ecuador se realizó una investigación relacionado a la segmentación de mercado, concluyendo que, el relacionar múltiples variables para delimitar segmentos homogéneos envuelve un proceso difícil de diseñar, principalmente para empresas pequeñas y con pocos recursos (Ortiz, 2010), lo que refiere tácitamente la predisposición a realizar estudios univariados. Asimismo otro estudio de investigación de mercados realizado en el distrito de Puno, durante el año 2003, utilizó la conjunción de las variables: Demográficas y Psicográficas, concluyendo que, la manera eficaz de clasificar segmentos apropiados según similitud de características del consumidor, es a través de la aplicación del análisis multivariado de correspondencia múltiple (Gallegos, 2003). También la aplicación del marketing según los requerimientos de segmentos específicos se diseñan con la implantación de variables demográficas, conductuales o motivacionales el cual se logra a través del Análisis de Correspondencias, metodología que proporciona información relevante al momento de trabajar en las etapas de segmentación de mercados (Fernandez, C. y Aqueveche, C., 2001). Igualmente Gallegos, J.; Enriquez, V. y Bolívar, N. (2018). En un estudio relacionado a la segmentación de mercados

respaldan la eficacia de los métodos multivariados en la segmentación de mercados cuando se trabaja con más de una variable.

Para esta investigación, la segmentación psicográfica aplicada al marketing político consiste en fraccionar el mercado electoral en conjuntos que tengan características similares para establecer objetivos, mensajes y medios de comunicación específicos para cada uno de ellos, siendo una herramienta que todo partido político debe utilizar, ya que es prioritario conocer el público objetivo al que se dirigirá para determinar la estrategia y el canal de comunicación a emplear. Golovina (2014) considera que los medios de comunicación influyen al comportamiento del consumidor de forma bidireccional causando efectos cognitivos, afectivos y actitudinales los consumidores ya no son usuarios pasivos de la información, sino que cumplen los papeles de comunicadores, navegadores y productores de información, proporcionando opiniones, valoraciones e informaciones personales, las cuales ayudan a los empresarios en la construcción de perfiles de los consumidores.

Por otro lado Martínez, G. (2003) clasifica los medios de comunicación masivos desde el punto de vista del marketing político, es decir aquellos que se utilizan en las estrategias comunicacionales de las campañas electorales, en tres tipos: impresos, electrónicos y sociales, de ello Barreto (1991) refiere que la radio tiene un efecto repetitivo que permite fijar la idea del voto en el elector y reforzar el recuerdo de los mensajes emitidos. Este medio tiene una audiencia superior a la prensa, aunque menor que la televisión, ya que el elector tiene la oportunidad de escuchar radio mientras trabaja, estudia o conduce, indica que la gran ventaja de la radio es que llega a los sectores rurales del país. Así también Matute, G. y otros (2011), realizaron el trabajo de investigación titulado "Rol de los medios digitales en el marketing electoral: el caso de Lima. A través de esta investigación se concluye que los medios digitales influyen en el voto del elector, pero en una proporción todavía menor ya que también se puede indicar que los hábitos de buscar información política en Internet aún no están muy difundidos ni están en proporción con la importancia que los políticos le dan a este medio, pues no todos preparan una estrategia de comunicación digital.

En la actualidad el comportamiento político de la población electoral ha cambiado, desde el propio hecho de acudir a votar hasta la participación ciudadana en las cuestiones políticas, la actitud de los votantes hacia las élites políticas se ha vuelto mucho menos predecible y mucho más consumista, la propia naturaleza de la arena política se ha visto alterada por cambios tales como la llegada y creciente importancia del uso que dan los electores respecto a los medios de comunicación. A su vez, Las bases tradiciones de segmentación del electorado (como la clase social, la geografía o el historial familiar) fue erosionando al tiempo, donde nuevos segmentos electorales mucho más complejos se han vuelto predominantes, tales como los basados en etnia, raza, estilo de vida, fase vital o logros alcanzados en función de la edad configurando una segmentación psicográfica.

## Materiales y métodos

La investigación fue de nivel exploratorio y descriptivo, la técnica empleada fue la encuesta teniendo como instrumento el cuestionario, los datos se recolectaron mediante la aplicación del muestreo probabilístico en el que se obtuvo una muestra de 323 electores potenciales de la región Puno cuyas edades oscilaban entre 18 a 69 años, los que fueron encuestados durante los meses de enero y febrero del 2014; luego de realizar el análisis exploratorio se seleccionó para la segmentación considerando a cinco indicadores de mayor correlación, siendo: edad, ocupación principal, definición política, uso de internet y el medio de comunicación usual para informarse.

Se utilizó los siguientes métodos estadísticos:

Muestreo Bietápico, en la primera etapa se utilizó el muestreo estratificado por provincias de la región Puno. En la segunda etapa se eligieron al elector potencial por edad y género utilizando el muestreo aleatorio simple (Cochran, 2000).

Análisis de Correspondencias Múltiples, es un método multivariado de interdependencia creado por el estadístico francés Jean-Paul Benzecri; cuyo objetivo es describir la asociación entre las diferentes modalidades de las variables categóricas, a partir del análisis de información contenida en una tabla de contingencia múltiple y graficar la estructura de dicha tabla en un espacio formado por nuevas dimensiones (Crivisqui, 2002).

Para crear la base de datos y realizar los cálculos se utilizó los paquetes estadísticos SPSS versión 21 y SPAD N. versión 5.0

## Resultados y discusión

Las características personales que presentan con mayor frecuencia los electores potenciales fueron: el 42,1% de los entrevistados tienen una edad comprendida entre 20 a 34 años, siendo el grupo menos representativo los electores con edades menores de 20 años (6,5%). El 30,3% considera al estudio como actividad principal, el 25,45% labora para el sector público y el 17,3% se dedica al comercio y/o actividad empresarial. Así también se aprecia el 37,2% tiene una definición política con tendencia centro derecha y 32,2% denotan tendencia centro izquierda.

Referente al uso de medios de comunicación el 76,5% de los electores potenciales hace uso del internet, 87,3% se informa de los acontecimientos diarios a través de la televisión, continuado por los diarios (76.8%).

La Tabla 1 identifica cuatro segmentos acerca del uso de medios de comunicación por la población electoral de la región Puno:

El primer segmento está conformado por el 51,8% de los electores de la región Puno, con edades inferiores a 34 años, quienes se dedican al estudio como ocupación principal, predomina en ellos el uso interdiario de internet, no se definen políticamente y se informan de los acontecimientos diarios a través de la televisión o internet.

El segundo segmento está conformado por el 12,69% de los electores de la región Puno, quienes laboran para el sector privado, usan el internet de una a dos veces por semana para obtener información y se definen políticamente de centro derecha.

El tercer segmento está conformado por el 6,5% de los electores de la región Puno, con edades que oscilan entre 50 a 69 años, quienes denotan emprendimiento hacia el comercio o la actividad empresarial, usan el internet menos de una vez por semana y se definen políticamente de centro izquierda.

El cuarto segmento está conformado por el 29,72% de los electores de la región Puno, con edades entre 34 a 69 años, quienes consideran múltiples actividades principales como: el comercio, la actividad empresarial, empleado del sector público u otra característica, no usan el internet y los que se informan de los acontecimientos diarios a través de la radio o diarios.

Tabla 1.  
Segmentación del elector potencial según uso de medios de comunicación en la región Puno, 2014

valor test	probabilidad	grupo	porcentaje modalidad	gupo global	modalidad característica	modalidad variable
<b>Grupo 1</b>				51.08		
12.08	0.000	97.96	58.18	30.34	Estudiante	Ocupación principal
9.02	0.000	86.54	54.55	32.2	Diariamente	Uso de internet
5.93	0.000	70.59	58.18	42.11	20 a 34 años	Edad
5.16	0.000	70.00	50.91	37.15	Televisión	Información diaria
5.09	0.000	85.11	24.24	14.55	Interdiario	Información diaria
4.79	0.000	73.81	37.58	26.01	Internet	Uso de internet
4.62	0.000	70.71	42.42	30.65	Sin partido poli	Definición política
4.28	0.000	95.24	12.12	6.5	menos de 20 año	Edad
<b>Grupo 2</b>				12.69	CLASSE 2 / 4	
12.58	0.000	79.17	92.68	14.86	empleado privado	Ocupación principal
5.81	0.000	34.67	63.41	23.22	2 veces por sem	Uso de internet
3.21	0.001	23.81	48.78	26.01	internet	Información diaria
2.81	0.002	20.00	58.54	37.15	centro derecha	Def. política
<b>Grupo 3</b>				6.50	CLASSE 3 / 4	
11.99	0.000	100.00	100.00	6.50	1 vez por semana	Uso de internet
3.00	0.001	15.71	52.38	21.67	50 a 69 años centro	Edad
2.68	0.004	12.50	61.90	32.20	izquierda comer	Def. política
2.64	0.004	16.07	42.86	17.31	empresario	Ocupación principal
<b>Grupo 4</b>					CLASSE 4 / 4	
14.46	0.000	96.05	76.04	29.72	Ninguna vez	Uso de internet
8.57	0.000	74.63	52.08	23.53	Diarios	Información diaria
5.21	0.000	51.04	51.04	20.74	35 a 49 años	Edad
4.95	0.000	66.67	27.08	29.72	Otro	Ocupación principal
4.67	0.000	51.22	43.75	12.07	Empleado publico	Ocupación principal
4.47	0.000	57.69	31.25	25.39	Radio	Información diaria
3.09	0.000	45.71	33.33	16.10	50 a 69 años	Edad
2.47	0.000	44.64	26.04	21.67	Comer-empresario	Ocupación principal

## Discusión

De los resultados obtenidos se aprecia una población mayoritaria inmersa en la era de la información adecuándose al avance tecnológico, teniendo a los medios audiovisuales como prioridad para recabar información, continuado por los medios impresos y medios digitales. Así también esta variada segmentación solo fue posible en un escenario multivariado, permitiendo conocer el comportamiento de la población electoral respecto al uso frecuente de los medios de comunicación. Aludiendo que la manera eficaz de clasificar segmentos apropiados según similitud de características del consumidor es a través de la aplicación del análisis multivariado de correspondencia múltiple (Gallegos, 2003) y (Gallegos, Enriquez y Bolivar, 2018). También Matute, G. y otros (2011), indican que los medios digitales influyen en el voto del elector, pero en una proporción todavía menor ya que también se puede indicar que los hábitos de buscar información política en Internet aún no están muy difundidos ni están en

proporción con la importancia que los políticos le dan a este medio, pues no todos preparan una estrategia de comunicación digital. Así también Barreto (1991) refiere que la radio tiene una audiencia superior a la prensa, aunque menor que la televisión, ya que el elector tiene la oportunidad de escuchar radio mientras trabaja, estudia o conduce, indica que la gran ventaja de la radio es que llega a los sectores rurales del país. Respalda lo expresado Fernandez y Aqueveche (2001) quienes manifiestan que la aplicación del análisis de correspondencia múltiple en la segmentación proporciona información relevante.

## Conclusiones

La caracterización de cuatro segmentos referenciales denota de manera reluciente la información para cada uno de los grupos:

El primer segmento conformado por el 51,8% de electores potenciales, menores de 34 años, usan interdiario el internet, no se definen políticamente y se informan de los acontecimientos diarios a través de la televisión o internet.

El segundo segmento conformado por el 12,69% de electores potenciales, usan el internet de una a dos veces por semana para informarse del día a día, y se definen políticamente de centro derecha.

El tercer segmento conformado por el 6,5% de electores potenciales, entre 50 a 69 años, usan el internet menos de una vez por semana y se definen políticamente de centro izquierda.

El cuarto segmento conformado por el 29,72% de electores potenciales, entre 34 a 69 años, no usan el internet y se informan de los acontecimientos diarios a través de la radio o diarios.

## Referencias bibliográficas

- Arellano, R. (2009). *Estilos de vida en el Perú: cómo somos y pensamos los peruanos del siglo XXI*. (2ª. Ed.) Lima: Arellano Investigación de Marketing.
- Barreto, W. (1991). *Marketing político*. (1ra ed.) Lima: Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico.
- Cochran W. (1998). *Técnicas de Muestreo*. (3ra. Ed.) México: Compañía Editorial Continental S.A.
- Crivisqui, E. (1992). *Análisis Factorial de Correspondencias*. Asunción: Laboratorio de Informática Social.
- Gallegos J. (2003). *Investigación de mercados para el mejoramiento competitivo de las empresas productoras de muebles de madera del distrito de Puno*. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Gestión Empresarial. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Jacques J. (2003). *Marketing Estratégico*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- Kotler, P. y Armstrong, G. (2007). *Marketing*. Madrid: Pearson Prentice Hall, S.A
- Martínez, G. (2003). *¿Qué es el marketing político?* Recuperado en <http://www.slideshare.net/gm5/márketing-politico-electoral-presentation> (2013, 15 de diciembre).
- Matute, G. y otros (2011). *Rol de los medios digitales en el marketing electoral: el caso de Lima*. Lima: Universidad ESAN.
- Ortiz, S. (2010). *Segmentación de mercado para la comercialización de accesorios para mascotas (perros y gatos), fabricados en materiales sintéticos. Caso: Microempresa Alfa*. Tesis para optar el grado académico de Magíster. Universidad Andina Simón Bolívar, Quito.

## Contaminación de las Aguas Subterráneas por Arsénico (As) el caso del distrito de Juliaca – Perú

### Groundwater Polluted by Arsenic (As) as the case in Juliaca district - Peru

---

Wile Mamani Navarro  
wmamani@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca

#### Resumen

La contaminación por arsénico (As), mediante el consumo de aguas subterráneas, es un problema de salud pública que afecta la vida de aquellas personas que no cuentan con servicio de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Juliaca. En las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca, se encontraron concentraciones de As con una media de  $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$ ; que supera el límite máximo de  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ , establecido por la directriz de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Asimismo se determinaron medias de parámetros fisicoquímicos como pH de 7.595, CE de  $1238.539 \mu\text{S cm}^{-1}$  y concentraciones medias de turbiedad  $5.250 \text{ NTU}$ ,  $\text{CaCO}_3$   $454.692 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$   $115.659 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$   $33.383 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$   $80.981 \text{ mg L}^{-1}$  y  $\text{Cl}^-$   $146.037 \text{ mg L}^{-1}$ ; estos valores se ubicaron dentro de los estándares nacionales e internacionales. Sin embargo, la ingesta diaria de agua subterránea contaminada en la ciudad de Juliaca puede ser la principal vía de exposición al As, que conlleva consecuencias graves y efectos adversos en la salud de los pobladores. Por lo tanto, el agua subterránea utilizada para el consumo público debe someterse a pruebas periódicas de As y otros elementos para garantizar que su inocuidad se encuentre dentro de los lineamientos nacionales establecidos. Finalmente se requiere una atención inmediata por parte de las autoridades locales.

**Palabras claves:** *Contaminación de agua subterránea, metales pesados, riesgo a la salud humana, Arsénico.*

#### Abstract

Arsenic contamination (As), through the consumption of underground water, is a public health problem that affects the lives of those who do not have drinking water supply service in Juliaca city. In groundwater in Juliaca, concentrations of As have been found at an average of  $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$ ; which exceeds the maximum limit of  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ , established by the guideline of the World Health Organization (WHO). Likewise, physicochemical parameter averages have been determined such as pH 7.595, EC of  $1238.539 \mu\text{S cm}^{-1}$  as well as an average of turbidity concentrations of  $5.250 \text{ NTU}$ ,  $\text{CaCO}_3$   $454.692 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$   $115.659 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$   $33.383 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  were determined.  $80.981 \text{ mg L}^{-1}$  and  $\text{Cl}^-$   $146.037 \text{ mg L}^{-1}$ ; These values were located within national and international standards. However, the daily intake of contaminated groundwater in the city of Juliaca may be the main route of exposure to As, which has serious consequences and adverse effects on the health of the population. Therefore, groundwater used for public consumption must undergo periodic tests of As and other elements to ensure that its safety is within the established national guidelines. Finally, immediate attention is required from local authorities.

**Keywords:** *Groundwater pollution, heavy metals, risk to human health, Arsenic.*

## Introducción

Históricamente, se cree que los suministros de agua subterránea son más seguros en términos de microorganismos patógenos que el agua de los pozos excavados abiertos y las aguas superficiales como ríos, arroyos, lagos y estanques (Yadav, Devi, & Singh, 2015). La contaminación por arsénico (As) geogénico en las aguas subterráneas de los acuíferos aluviales ha estado creando graves problemas de salud para millones de personas en todo el mundo (Paul et al., 2015); al punto que ha sido reconocida como un problema de proporciones catastróficas. El peligro toxicológico para la salud también se ha reportado durante muchos años, debido al reconocimiento de que el arsénico en bajas concentraciones en el agua potable provoca efectos no deseados en la salud humana (Choong, Chuah, Robiah, Gregory Koay, & Azni, 2007).

El arsénico es un metaloide tóxico, ampliamente distribuido, debido a las actividades naturales y antropogénicas en el medio ambiente. Ocurre en cuatro estados de oxidación (5+, 3+, 0 y 3-), aunque el arseniato (As V) y el arsenito (As III) son las formas más comunes y As III es más tóxico que As V (Smedley & Kinniburgh, 2002). La exposición prolongada al arsénico conlleva problemas de salud crónicos como hiperpigmentación y queratosis de las manos y los pies; también afecta la vejiga, pulmón, piel, riñón, hígado, y provoca cáncer de próstata (Mohora et al., 2014). En la actualidad casi no hay medicamentos para el envenenamiento crónico por arsénico (Chakraborti et al., 2016). El arsénico se produce naturalmente en las aguas subterráneas debido a la presencia de minerales de arsénico tales como arsenopirita (FeAsS), realgar (As<sub>4</sub>S<sub>4</sub>) y oropimente (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) en los acuíferos o lechos de roca cristalina y sedimentos no consolidados (Möller, Sylvester, Shepard, & Morassi, 2009).

La contaminación natural por arsénico en aguas subterráneas ha llevado a extensos estudios sobre los factores que controlan su distribución, la geoquímica del arsénico en agua subterránea demuestran que la mayoría de las muestras contenían tanto As (III) y As (V) (Chauhan, Nickson, Chauhan, Iyengar, & Sankararamkrishnan, 2009), incluso en bajas concentraciones, lo que ha originado en la OMS (2003) una particular preocupación debido a la presencia de éste compuesto en el medio ambiente, siendo que la mayor amenaza para la salud humana es el consumo de agua potable contaminada por As, la misma que significa la principal vía de ingreso en el cuerpo humano, éste problema es considerado prioritario en el mundo (Andrade & Stigter, 2013).

Según estudios realizados por George et al., (2014), se ha revelado la contaminación generalizada por arsénico del agua subterránea utilizada para consumo humano en 12 distritos del Perú, incluidos Juliaca y Caracoto. Los hallazgos revelan una alarmante amenaza para la salud pública que debe abordarse de inmediato. Se encontraron concentraciones de arsénico (As) en la ciudad de Juliaca (1,2 - 193,1 µg L<sup>-1</sup>) y detectaron altas concentraciones de As en el distrito de Caracoto (31,9 - 113,1 µg L<sup>-1</sup>), todos superaron 10 µg L<sup>-1</sup> límite recomendados por la OMS.

Sin embargo el agua subterránea utilizada para consumo público, tiene que ser monitoreado periódicamente, la concentración de As y otros elementos para asegurar la calidad del agua potable para que esté dentro de los lineamientos nacionales prescritos (Rahman, Dong, & Naidu, 2015).

## Materiales y métodos

### Materiales

Envases de polietileno de alta densidad, termómetro, espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP - OES), GPS de mano (Garmin - Montana 650), pipetas, vasos precipitados, Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 96 %) 0,02 N, etilendiaminotetraacético (EDTA C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O al 99 %) 0,01 M, negro de eriochrome blakt (C.I. 14645), hidróxido de sodio (NaOH al 99%) 1 N, ácido clorhídrico al (HCl), heliantina, nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub> al 99,8%) 0,01 M, solución buffer pH 10, los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

### Localización y entorno geográfico

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Juliaca, que se encuentra ubicada al sur del Perú, en el departamento de Puno, provincia de San Román, a 15° 29' 40" de Latitud Sur y 70° 07' 54" de Longitud Oeste, y a una altitud de 3,824 m s. n. m.

### Muestreo de aguas subterráneas

Se seleccionaron un total de 20 pozos tubulares y las coordenadas geográficas de cada sitio de muestreo se registraron con una unidad GPS de mano, ver figura 1 (Güler, Kurt, Alpaslan, & Akbulut, 2012). Así mismo se consideró la profundidad de muestreo que osciló entre 4 a 16 m (Devic, Djordjevic, & Sakan, 2014). Todas la muestras se recolectaron en botellas de PVC de alta densidad, previamente lavados con agua desionizada (Kumar, 2014), y se preservaron con ácido nítrico de HNO<sub>3</sub>, hasta un pH menor a 2 y se mantuvieron refrigerados en una hielera a una temperatura de 4 °C e inmediatamente se transportaron al laboratorio para su posterior análisis (Charlet et al., 2007; Devic et al., 2014). Posteriormente se determinó el arsénico total (As) mediante el espectro acoplado inductivamente espectrometría de emisión atómica de plasma ICP - OES (Bhowmick et al., 2013).

## Resultados y discusión

La profundidad de los pozos osciló entre 4 - 20 m de profundidad (Tabla 1) todos ellos ubicados en la ciudad de Juliaca. Los pozos del cual se extrae el agua subterránea, comprenden excavaciones poco profundas, que constituyen la fuente principal de provisionamiento agua para consumo, en las familias urbano marginales de la ciudad.

Tabla 1  
Pozos de área urbano marginal de Juliaca: Concentración de As total  
Diciembre 2015

Pozos	Profundidad (m)	As Total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
1	12.0	72
2	18.0	41
3	12.0	52
4	15.0	<LOD*
5	15.0	115
6	20.0	25
7	7.4	24
8	4.0	17
9	18.0	134
10	15.0	107
11	16.0	146
12	4.5	31
13	15.0	60
14	10.0	74
15	20.0	62
16	10.0	83
17	14.0	134
18	14.0	61
19	13.0	77
20	18.0	81

\* Límite de detección inferior del equipo.

De la Tabla 1, se aprecia que la mayor concentración de As fue registrada en el pozo 11 con  $146 \mu\text{g L}^{-1}$  y el pozo 8 presenta la menor concentración con  $17 \mu\text{g L}^{-1}$ . Por otro lado, 19 de los 20 pozos presentaron una concentración promedio de  $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$ , este valor es mayor a lo reportado por [Kaur, Bhardwaj, & Arora \(2017\)](#), con  $11.01 \mu\text{g L}^{-1}$  en la India, pero muchísimo menos las concentraciones de hasta  $700 \mu\text{g L}^{-1}$  de As halladas en muestras de agua en el oeste de la amazonia peruana ([de Meyer et al., 2017](#)). A pesar de ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece un límite máximo de  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  de As en agua, por lo que los valores reportados en los 19 pozos sobrepasan este límite. Los elevados niveles de As en este estudio podrían deberse a la evaporación del agua, ya que el clima en esta región es árido ([Hundal, Kumar, Singh, & Singh, 2007](#)); del mismo modo, la contaminación por As está fuertemente asociada a la presencia de altas concentraciones de hierro, fosfatos, iones de amonio y actividades antropogénicas ([Kumar, Kumar, Ramanathan, & Tsujimura, 2010](#)).

La OMS establece un límite de  $0,01\text{mg L}^{-1}$  para As ([WHO, 2008](#)); sin embargo, queda una considerable ambigüedad sobre el riesgo real del agua potable con concentración de arsénico  $<10 \mu\text{g L}^{-1}$ .

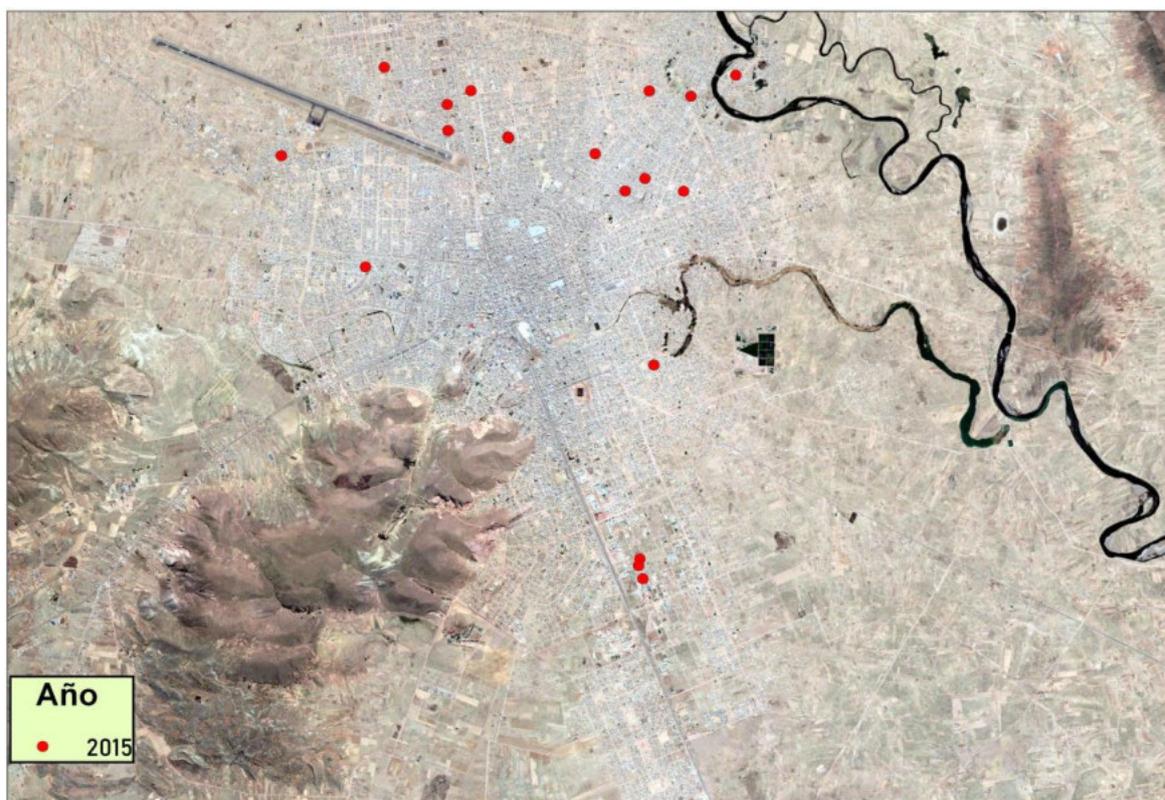


Figura 1. Puntos de muestreo de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca.

De acuerdo al resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca presentado en la Tabla 2, la media de los valores del *pH* varió 7.595, lo que indica que el agua subterránea es de naturaleza ligeramente ácida a alcalina, siendo esto evidencia de concentraciones altas en aniones (Zhang, Wang, Ali, & DeLaune, 2016). Estos valores se encuentran dentro del límite establecido por la directriz de la Organización Mundial de la Salud para el *pH*, es decir 6.5 a 8.5 (WHO, 2011). Por otro lado, la media de los valores de la CE varió 1238,539  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; estos valores también se encuentran dentro de los límites establecidos por los estándares nacionales e internacionales. Asimismo, el valor medio de turbiedad fue de 5.250 NTU, encontrándose dentro de los parámetros establecidos por los estándares nacionales e internacionales. La dureza total media en forma de  $\text{CaCO}_3$  resultó 454.692  $\text{mg L}^{-1}$ , derivada de la presencia de calcio y magnesio; por otro lado, las concentraciones medias de  $\text{Ca}^{2+}$  variaron 115.659  $\text{mg L}^{-1}$  que son más altas que las de  $\text{Mg}^{2+}$  33.383  $\text{mg L}^{-1}$ , además estos valores se encuentran dentro de los límites establecidos. Sin embargo, la OMS (2011) no reporta ningún valor de referencia basado en los efectos sobre la salud para la dureza del agua de uso y consumo humano. Asimismo, los valores media de sulfatos  $\text{SO}_4^{2-}$  variaron 80.981  $\text{mg L}^{-1}$ , siendo estos valores hallados menores a lo establecido de 250  $\text{mg L}^{-1}$ . Según Krishna Kumar et al. (2017), la concentración de carbonatos en aguas naturales es una función del dióxido de carbono disuelto, temperatura, *pH*, cationes y otras sales disueltas. Valores media de cloruro  $\text{Cl}^-$  146.037  $\text{mg L}^{-1}$ , estos valores no exceden los estándares nacionales e internacionales. El cloruro en el agua subterránea puede provenir de diversas fuentes, como la meteorización, la lixiviación de rocas y suelos sedimentarios y los efluentes domésticos y municipales (Krishna Kumar, Bharani, Magesh, Godson, & Chandrasekar, 2014).

Tabla 2.

Resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca

Parámetros	Diciembre 2015				Estándares Nacionales		Estándares Internacionales		
	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	DIGESA (2011)	MINAM (2017)	OMS (2011)	BANGLADESH (2017)
<i>pH</i>	–	7.07	7,9	7.595	7.62	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.6	6.5 – 8.5
CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	305.38	2254.2	1238.539	1298.735	1500	1500	1500	1000
turbiedad	NTU	2.00	18.0	5.250	4.5	5	5	5	–
$\text{CaCO}_3$	$\text{mg L}^{-1}$	119.20	818,4	454.692	422.305	500	500	500	–
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{mg L}^{-1}$	29.52	215.0	115.659	101.39	75	–	75	75
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{mg L}^{-1}$	2.78	77.4	33.383	29.635	125	–	125 - 500	30 - 35
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{mg L}^{-1}$	4.00	143.9	80.981	91.815	250	250	250	–
$\text{Cl}^-$	$\text{mg L}^{-1}$	39.94	267.6	146.037	145.775	250	250	250	–

## Conclusiones

Las aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca, en las zonas urbano marginales se encuentra contaminada con arsénico, con una media de 73.5  $\mu\text{g L}^{-1}$  este valor excede los estándares nacionales e internacionales de 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  de As en agua.

Las aguas subterráneas en la ciudad de Juliaca son consideradas no aptas para consumo humano, por contener altas concentraciones de As, que en lo posterior pueden traer consecuencias graves y efectos adversos en la salud de los pobladores que las consumen diariamente. Se requiere una atención inmediata por las autoridades locales.

## Referencias bibliográficas

- Andrade, A. I. A. S. S., & Stigter, T. Y. (2013). The distribution of arsenic in shallow alluvial groundwater under agricultural land in central Portugal: Insights from multivariate geostatistical modeling. *Science of The Total Environment*, 449, 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.033>
- Bhowmick, S., Nath, B., Halder, D., Biswas, A., Majumder, S., Mondal, P., ... Chatterjee, D. (2013). Arsenic mobilization in the aquifers of three physiographic settings of West Bengal, India: Understanding geogenic and anthropogenic influences. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 915–923. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.014>
- Chakraborti, D., Rahman, M. M., Ahamed, S., Dutta, R. N., Pati, S., & Mukherjee, S. C. (2016). Arsenic groundwater contamination and its health effects in Patna district (capital of Bihar) in the middle Ganga plain, India. *Chemosphere*, 152, 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.119>
- Charlet, L., Chakraborty, S., Appelo, C. A. J., Roman-Ross, G., Nath, B., Ansari, A. A., ... Mallik, S. B. (2007). Chemodynamics of an arsenic “hotspot” in a West Bengal aquifer: A field and reactive transport modeling study. *Applied Geochemistry*, 22(7), 1273–1292. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.12.022>
- Chauhan, V. S., Nickson, R. T., Chauhan, D., Iyengar, L., & Sankararamkrishnan, N. (2009). Ground water geochemistry of Ballia district, Uttar Pradesh, India and mechanism of arsenic release. *Chemosphere*, 75(1), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.065>
- Choong, T. S. Y., Chuah, T. G., Robiah, Y., Gregory Koay, F. L., & Azni, I. (2007). Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination*, 217(1–3), 139–166. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.015>
- de Meyer, C. M. C., Rodríguez, J. M., Carpio, E. A., García, P. A., Stengel, C., & Berg, M. (2017). Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonia (Peru). *Science of The Total Environment*, 607–608, 1437–1450. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.059>
- Devic, G., Djordjevic, D., & Sakan, S. (2014). Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia. *Science of The Total Environment*, 468–469, 933–942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.011>
- George, C. M., Sima, L., Arias, M. H. J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., ... Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92(8), 565–572. <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>
- Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan, M., & Akbulut, C. (2012). Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414–415, 435–451. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.021>
- Hundal, H. S., Kumar, R., Singh, K., & Singh, D. (2007). Occurrence and Geochemistry of Arsenic in Groundwater of Punjab, Northwest India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(17–18), 2257–2277. <https://doi.org/10.1080/00103620701588312>
- Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S. (2017). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Applied Water Science*, 7(6), 3301–3316. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0476-2>
- Krishna Kumar, S., Bharani, R., Magesh, N. S., Godson, P. S., & Chandrasekar, N. (2014). Hydrogeochemistry and groundwater quality appraisal of part of south Chennai coastal aquifers, Tamil Nadu, India using WQI and fuzzy logic method. *Applied Water Science*, 4(4), 341–350. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0148-4>
- Krishna Kumar, S., Hari Babu, S., Eswar Rao, P., Selvakumar, S., Thivya, C., Muralidharan, S., & Jeyabal, G. (2017). Evaluation of water quality and hydrogeochemistry of surface and groundwater, Tiruvallur District, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 7(5), 2533–2544. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0447-7>
- Kumar, P. J. S. (2014). Evolution of groundwater chemistry in and around Vaniyambadi Industrial Area: Differentiating the natural and anthropogenic sources of contamination. *Geochemistry*, 74(4), 641–651. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2014.02.002>
- Kumar, P., Kumar, M., Ramanathan, A. L., & Tsujimura, M. (2010). Tracing the factors responsible for arsenic enrichment in groundwater of the middle Gangetic Plain, India: a source identification perspective. *Environmental Geochemistry and Health*, 32(2), 129–146. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9270-5>
- Mohora, E., Rončević, S., Agbaba, J., Tubić, A., Mitić, M., Klačnja, M., & Dalmacija, B. (2014). Removal of arsenic from groundwater rich in natural organic matter (NOM) by continuous electrocoagulation/flocculation (ECF). *Separation and Purification Technology*, 136, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.006>
- Möller, T., Sylvester, P., Shepard, D., & Morassi, E. (2009). Arsenic in groundwater in New England — point-of-entry and point-of-use treatment of private wells. *Desalination*, 243(1–3), 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.016>
- Paul, D., Kazy, S. K., Banerjee, T. Das, Gupta, A. K., Pal, T., & Sar, P. (2015). Arsenic biotransformation and release by bacteria indigenous to arsenic contaminated groundwater. *Bioresource Technology*, 188, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.039>

- Rahman, M. M., Dong, Z., & Naidu, R. (2015). Concentrations of arsenic and other elements in groundwater of Bangladesh and West Bengal, India: Potential cancer risk. *Chemosphere*, 139, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.051>
- Smedley, P. ., & Kinniburgh, D. . (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- WHO. (2008). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (3ra. Ed.). Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf)
- WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (4ta. Ed.). Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado de <https://apublica.org/wp-content/uploads/2014/03/Guidelines-OMS-2011.pdf>
- Yadav, I. C., Devi, N. L., & Singh, S. (2015). Reductive dissolution of iron-oxyhydroxides directs groundwater arsenic mobilization in the upstream of Ganges River basin, Nepal. *Journal of Geochemical Exploration*, 148, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.09.002>
- Zhang, Z., Wang, J. J., Ali, A., & DeLaune, R. D. (2016). Heavy metal distribution and water quality characterization of water bodies in Louisiana's Lake Pontchartrain Basin, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(11), 628. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5639-y>

### Agradecimientos

*El autor expresa agradecimientos a LAS – Arequipa, Franz Zirena Vilca por la sugerencia en la redacción del manuscrito, a los estudiantes de la UNAJ: German Peralta Jullire y Reyder SucaPuca Mamani.*

**Recuperación de oro de residuos electrónicos aplicando métodos no convencionales de baja contaminación ambiental, a nivel de laboratorio**

**Recovery of gold from electronic waste by applying unconventional methods of low environmental contamination, at laboratory level**

---

Jorge Emilio Ricardo Yaya Lévano  
jeryl221@hotmail.com - Universidad Privada Sergio Bernales  
Miguel Angel Coaquira Yapu  
mcoaquira23@gmail.com – Universidad Privada Sergio Bernales

**Resumen**

El objetivo de este estudio fue la aplicación de métodos no convencionales utilizados para la recuperación de oro a partir de residuos electrónicos, como las técnicas de oxidación selectiva con persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) y cloruro cúprico ( $CuCl_2$ ), reactivos con bajo impacto ambiental, en el oro. Tratamiento no lixiviado. Los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos se comparan en relación con su eficiencia y disminución del impacto ambiental, seleccionándose el persulfato de potasio, para luego evaluar en el tratamiento de desechos eléctricos y estandarizar el uso. Los resultados obtenidos permiten establecer que el tratamiento con persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) tiene mayor ventaja que el cloruro cúprico ( $CuCl_2$ ), permite el uso del solvente universal, una buena recuperación de oro de 5.680 g (98.28%, de alta pureza, el óptimo La concentración para el tratamiento es del 20% p / v, el tiempo de tratamiento es de 90 minutos.

**Palabras claves:** *Oxidación selectiva, recuperación de oro por métodos no convencionales, recuperación de oro con sulfato de potasio, recuperación del oro con residuos electrónicos.*

**Abstract**

The objective of this study was the recovery of gold from electronic waste by applying low environmental impact, and unconventional methods, such as selective oxidation techniques with potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) and cupric chloride ( $CuCl_2$ ), reagents with low environmental impact, in the not leached gold treatment. The results obtained from the application of the methods are compared in relation to their efficiency and decrease in environmental impact, potassium persulfate has been selected, for then evaluating in the treatment of electrical waste and standardizing the use. The results obtained allow to establish that the treatment with potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) has greater advantage than the cupric chloride ( $CuCl_2$ ), allows the use of the universal solvent, for good recovery of gold 5.680 g (98.28%, of high purity, the optimum concentration for treatment is 20% p/v, the treatment time is 90 minutes.

**Keywords:** *Selective oxidation, recovery of gold by unconventional methods, recovery of gold with potassium sulfate, recovery of gold with electronic waste.*

## Introducción

Según Honorio Oliveros Gómez (2011), la recuperación de metales valiosos oro, plata y del grupo del platino, a partir de tarjetas electrónicas, requiere de múltiples etapas, debido a las diferentes aleaciones y combinaciones existentes entre materiales cerámicos, poliméricos y metálicos que en ellas se presenta, y es posible la recuperación por métodos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos. Investigadores del Instituto Técnico de la Universidad de San Andrés de Bolivia (2010) sostienen que los métodos de recuperación son variados, pero existen pasos específicos para su recuperación, especialmente el que se trata con agua regia, métodos de contaminación ambiental. Para Andrea Alzate Naranjo, y otros (2012), el método es más efectivo, y que tiene mayor potencial de óxido reducción, en él se utiliza agua como solvente y se obtienen buena recuperación, es el de oxidación selectiva, sin embargo ante este panorama, los esfuerzos en el mundo no son significativos.

Los estudios existentes en nuestro país son ínfimos, no existen aplicaciones tecnológicas de recuperación de metales a partir de desechos electrónicos, que garanticen separación selectiva, limpia, sostenible, menos algún proyecto industrial eficiente para recuperar materiales considerados especiales presentes en los componentes electrónicos, o alternativas de uso de estos materiales, los cuales poseen propiedades únicas y diferenciadas de otros, que bien podrían usarse en la industria automotriz, biomédica y domótica.

Las aplicaciones electrónicas presentes en diversos artefactos, componentes o sistemas electrónicos son importadas, debido al desconocimiento y carencia de los materiales constituyentes. Los pocos casos registrados de recuperación están referenciados a los metales auroargentíferos.

Particularmente somos un gran productor de desechos electrónicos y se considera que en los próximos años el problema ambiental provocado por estos será considerable, debido a los contenidos de sustancia tóxicas como los bromuros de llama retardante, las resinas epóxicas y los plásticos, considerados en la convección de Estocolmo, como contaminantes de la salud humana y el medio ambiente, al ser incinerados en la industria eléctrica y electrónica sin ningún control.

La implementación de métodos no convencionales de bajo impacto ambiental, para la recuperación de metales preciosos provenientes de residuos chatarra, eléctricos y electrónicos, es importante, debido al aumento desmedido en la generación de estos residuos y a la carencia de métodos ecológicamente seguros que permitan la recuperación y aprovechamiento de metales preciosos.

Los métodos pirometalúrgicos (Instituto de Pirometalurgia p 102 - 103) e hidrometalúrgicos (Lee, 2012, p 380 - 387) tienen una gran demanda y aplicabilidad para la recuperación de estos metales, sin embargo su implementación está asociada con

severos daños ambientales (Lu, 2011 – 2166 - 2170) ocasionados por la formación de dioxinas y furanos en el proceso de fundición de los residuos y por el uso indiscriminado de sustancias tóxicas, como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, agua regia, peróxido de hidrógeno (Ramírez, 2013, 81 - 91), cloruro férrico [Restrepo, 2007, 380 - 383], cianuros, haluros, tiourea y tiosulfatos [Pant, 2012 – 970 - 990].

## Recuperación del oro por los métodos convencionales hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos

El tratamiento hidrometalúrgico supone la utilización de ácidos y mezclas de ácidos para la disolución de los metales nobles en ellos, para su posterior obtención mediante precipitación. El proceso pirometalúrgico supone la fundición de los circuitos impresos en conjunto con cobre, para que éste último absorba a los metales preciosos y de esta manera obtener una aleación que contiene cobre, oro, plata y platinoides; esta aleación se refina luego electrolíticamente, quedando un sedimento de metales preciosos, que después de una segunda fundición resulta en la llamada aleación doré, que es una aleación de metales preciosos de alto valor comercial.

Es necesaria la realización de una serie de procedimientos de separación de metales, mediante ácidos, con el correspondiente análisis químico de los productos obtenidos. A su vez, dentro del primer grupo, se distinguen tres técnicas: Extracción con ácidos puros o mezcla de ácidos, Lixiviación mediante tiourea y sulfato férrico y Lixiviación mediante cianuro sódico e hidróxido de sodio.

Luego se procede a la separación química o electroquímica de metales como hierro, cobre, cinc, plomo, cadmio y otros ya disueltos, como también de metales preciosos (también disueltos) tales como platino, plata, oro, paladio, etc. Otra salida posible es la separación y concentración de metales preciosos, como el oro, mediante extracción con la ayuda de solventes como metil etil cetona o metil isobutil cetona.

Es también utilizada la separación por extracción de cobre, con solventes orgánicos previa reacción de formación de complejo no polar con ion metálico central de cobre.

En el caso del método pirometalúrgico, se utiliza la fundición al cobre, con la subsiguiente refinación electrolítica de cobre impuro.

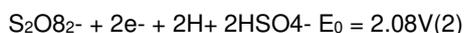
Ambos procesos son muy utilizados en la actualidad, pero por el contenido de las sustancias ácidas que utilizan en los sub procesos, se convierten en procesos de alto impacto ambiental, en tal sentido, es conveniente la utilización de métodos que no se utilicen sustancias ácidas que contaminen el medio ambiente, no perjudiquen la salud del ser humano que sean de bajo impacto ambiental.

### Recuperación del oro por métodos no convencionales

Los métodos no convencionales de bajo impacto ambiental desarrollados, incluyen la recuperación de metales preciosos a través de técnicas oxidativas. Son pocos los estudios acerca de este tipo de técnicas, los que se reportan son la recuperación de oro utilizados con soluciones de persulfato de potasio y con cloruro cúprico que son métodos de bajo impacto ambiental.

### Recuperación por oxidación selectiva con persulfato de potasio

Estudios realizados por Syed, S, demuestran la utilización del persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) como agente de oxidación selectiva para la recuperación de oro a partir de de residuos electrónicos, que son presentados como sustratos sobre los cuales se deposita oro sobre metales base como cobre y níquel. El método se centra en la oxidación selectiva parcial o total de los metales base, esta oxidación debilita las uniones sustrato - recubrimiento y el oro se recupera en su estado no lixiviado. El proceso de disolución del sustrato es determinado por la formación de iones persulfato ( $S_2OK_2^-$ ) que, al ser expuestos a temperaturas moderadas, producen radicales ( $SO_4^-$ ) que se encargan de la oxidación. Los valores de potencial estándar redox para el sistema son reportados por Bard, A.J. que se muestran en las ecuaciones 1 y 2.

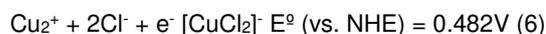
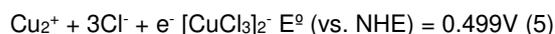
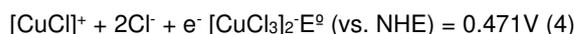


Para la recuperación del oro se utilizó una solución acuosa de ( $K_2S_2O_8$ ) al 20 % (p/v) a temperatura de ebullición y por un periodo de 20 minutos, tiempo en el cual se logró la oxidación y la obtención de oro. Los porcentajes de eficiencia en la recuperación fueron del 98 % teniendo como referencia los procesos de cianuración. En términos de subproductos, se genera sulfato de cobre, que tiene la característica de ser inofensivo para el medio ambiente.

### Recuperación por oxidación selectiva con cloruro cúprico

Estudios realizados por Barbieri (2009), reportan el uso del cloruro cúprico ( $CuCl_2$ ) como agente de lixiviación selectiva para la recuperación de oro presente en residuos electrónicos. El  $CuCl_2$  fue evaluado en términos de eficiencia y cinética, seleccionándose como agente oxidativo de bajo impacto ambiental por su capacidad de regeneración total. La restauración del agente oxidante hace que el proceso propuesto sea considerado ambientalmente amigable. El  $CuCl_2$  es preparado en solución de ácido hidroclicórico al 1.5M y evaluado a diferentes concentraciones sobre conectores electrónicos. El  $CuCl_2$  oxidó selectivamente los conectores dejando inalterada la capa de oro que se recuperó posteriormente. Los potenciales de óxido reducción

del sistema, son presentados por Lundström, M. et al y se muestran en las ecuaciones 3, 4, 5 y 6.



En términos de eficiencia, el proceso se proyecta como una excelente alternativa al alcanzar oxidaciones completas en cortos periodos de tiempo y a temperatura ambiente.

## Materiales y métodos

### Materiales

La muestra de chatarra de residuos eléctricos y electrónicos, estuvo constituidos por circuitos impresos de computadoras, siendo cortados, siendo los puntos de inserción de las tarjetas electrónicas fuentes de recuperación de oro.

### Reactivos

El reactivo utilizado como agente no lixivante de oxidación selectiva de bajo impacto ambiental fue el persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) de grado comercial, con una pureza del 98%.

### Procedimiento

De acuerdo a los dos métodos descritos, se seleccionó el persulfato de potasio, debido a la seguridad de operación, eficiencia en la recuperación y bajo costo.

El tratamiento con cloruro cúprico reporta menores tiempos de reacción, su empleo en el manejo requiere control estricto debido al uso del ácido hidroclicórico y por la posible formación de cloro gaseoso durante la reacción. En el siguiente cuadro se muestran comparativamente los dos sistemas.

### Determinación de la oxidación sobre sustratos

En el presente estudio se evaluó el comportamiento del persulfato de potasio a diferentes concentraciones sobre 100g de muestra en solución acuosa a temperatura de ebullición y con agitación magnética. Las soluciones fueron preparadas en porcentajes en volumen (%p/v) de 10, 15, 20, 25, 30 y 35 en agua destilada, según el método reportado por Syed, S., adicionalmente se administró aire al sistema confines de mejorar la remoción de oro.

La respuesta obtenida fue el tiempo de remoción del oro. El cálculo porcentual de oro removido es calculado teniendo en cuenta el porcentaje total de oro presente en la muestra inicial, determinado por el peso total de oro recuperado de 5 fracciones de 50g

seleccionadas aleatoriamente y sometidas a disolución completa del sustrato.

### Oxidación selectiva de la muestra

Fueron sometidos 15 kg de fuente metálica al proceso de oxidación selectiva, dividiendo el total del material en 3 fracciones de 5 Kg., luego cada fracción fue tratada a 90 minutos de tratamiento en solución al 20 (% p/v) de persulfato de potasio diluido en agua a temperatura de ebullición. Durante este tiempo el cobre presente en la fuente se oxidó parcialmente, lo suficiente como para permitir el desprendimiento del oro. Las soluciones resultantes de cada fracción del proceso de oxidación, contienen en la superficie, oro en forma no lixiviada. Las soluciones fueron recolectadas luego de realizar lavados sucesivos del sustrato parcialmente oxidado. Posteriormente se

separó el metal de interés con un equipo de filtración al vacío. Se utilizaron filtros con poro de 11µm. El oro quedó retenido en el filtro de para luego ser retirado y fundición, el líquido residual se almacenó con fines de obtener sulfato de cobre en cristales como subproducto.

### Características por microscopia de electrónica de barrido (sem)

El oro recuperado de tres fracciones fue fundido en horno de inducción realizándose posteriormente análisis espectrofotométrico con fines de determinar su pureza. Los análisis fueron realizados con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 5910LV equipado con detectores de rayos X tipo EDS para microanálisis químico cualitativo y semi-cuantitativo.

## Resultados y discusión

Tabla 1.  
Composición de metales preciosos de los residuos electrónicos

Elemento	Composición No 1 (min) %	Composición No 2 (máx) %
Au	0,03	0,31
Ag	2,5	2,89
Cu	12,04	23
Al	15,4	17,61
Fe	12,3	7,45
Ni	3,25	2,2
Pb	3,5	2,85
Sn	1,4	1,23
Platinoides	0,15	0,3
Otros	49,43	42,16

Datos que corresponden a diferentes tipos de análisis, en tal sentido se toman dos extremos, las concentraciones, de oro; es conveniente considerar que el contenido de este metal en circuitos electrónicos de procesadores se encuentra en el orden de 200-500 g/t, cifra muy significativa (1 t de circuitos, y no de procesadores completos).

Tabla 2.  
Características de los sistemas de oxidación

Características	Sistema Persulfato de potasio	Sistema Cloruro cúprico
Máximo Potencial de redox	E0 (vs. NHE) = 2.08V	E0 (vs. NHE) = 0.499V
Medio de disolución	Agua	Ácido hidrocórico
Regeneración del reactivo	No	Si
Porcentajes de recuperación	98%	No reportado
Impacto ambiental	Bajo	Bajo

El tratamiento con cloruro cúprico reporta menores tiempos de reacción, su empleo en el manejo requiere control estricto debido al uso del ácido hidrocórico y por la posible formación de cloro gaseoso durante la reacción.

### Concentración efectiva del persulfato sobre la muestra

Tabla 3  
Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 10 % p/v a diferentes tiempos de remoción

Nivel	Concentración K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	10	60	14.712
2	10	90	20.730
3	10	100	21.253
4	10	110	21.361
5	10	120	22.207
6	10	130	22.414

En la Tabla podemos apreciar que a variados tiempos de tratamientos se consigue una remoción parcial del oro, consiguiéndose el máximo porcentaje de remoción a 130 min.

Tabla 4

*Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 15 % p/v a diferentes tiempos de remoción*

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	15	60	56.317
2	15	90	80.562
3	15	100	86.215
4	15	110	86.803
5	15	120	87.069
6	15	130	87.549

De la Tabla se puede apreciar que el mayor porcentaje de remoción se consigue a los 130 minutos de tratamiento, teniendo en cuenta la misma concentración de persulfato de potasio se observa una ligera diferencia con menores tiempos de tratamiento.

Tabla 5.

*Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 20 % p/v a diferentes tiempos de remoción*

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	20	60	96.634
2	20	90	98.276
3	20	100	98.276
4	20	110	98.276
5	20	120	98.276
6	20	130	98.276

De la Tabla se puede apreciar que el máximo porcentaje de remoción se consigue a los 90 minutos de tratamiento, observándose el mismo porcentaje de recuperación hasta los 130 minutos.

Tabla 6

*Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 25 % p/v a diferentes tiempos de remoción*

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	25	80	96.122
2	25	85	97.941
3	25	87	98.266
4	25	90	98.275
5	25	100	98.275
6	25	130	98.275

De la Tabla podemos apreciar que el máximo porcentaje de dilución se obtiene a los 90 minutos de tratamiento, manteniéndose el porcentaje de remoción hasta los 110 minutos de tratamiento, también se observa que los porcentajes de remoción a menor tiempo no difieren mucho de los 90 minutos.

Tabla 7.

*Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 30 % p/v a diferentes tiempos de remoción*

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	30	85	98.154
2	30	86	98.269
3	30	87	98.276
4	30	88	98.276
5	30	89	98.276
6	30	90	98.276

De la Tabla se puede apreciar que el tiempo máximo de remoción es 87 minutos obteniéndose 98.276 % de remoción, manteniéndose la misma cantidad hasta los 90 minutos. Es necesario tener en cuenta que los datos de prueba se consideran minuto a minuto por la cantidad de sustancia en remoción.

Tabla 8.

*Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 35 % p/v a tiempos diferentes de remoción*

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	35	Remoción parcial	0.156
2	35	83	98.437
3	36	84	98.226
4	35	85	98.267
5	35	86	98.267
6	35	87	98.267

En la Tabla se puede apreciar que la mayor remoción se consigue a los 85 minutos de tratamiento, manteniéndose esta cantidad a mayor tiempo. Es necesario tener en cuenta que los datos de prueba se consideran minuto a minuto por la cantidad de remoción.

Tabla 9.

*Matriz concentración efectiva de persulfato de potasio, tiempo de remoción y % de remoción de la muestra*

Nivel	Concentración K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	10	Remoción parcial	22.414
2	15	130	87.069
3	20	90	98.276
4	25	90	98.275
5	30	87	98.276
6	35	85	98.267

Se estableció una concentración ajustada de 20 (%p/v) y un tiempo de reacción de 90 minutos para la recuperación de oro desde la fuente propuesta. Concentraciones inferiores al 10% no lograron debilitar las uniones entre el sustrato metálico y el oro, lo cual es concordante con los reportes de Syed, S. Al aumentar la concentración en un 30 y 35%, el tiempo de remoción del metal precioso se mantuvo entre 85 y 87 minutos, tiempos que no representan mejoras en la eficiencia del método, debido a que el incremento en la concentración aumentaría significativamente el costo del proceso.

### Oro recuperado de cada fracción

Con el tratamiento con solución al 20 % p/v de persulfato de potasio y a 90 minutos de remoción, se obtuvo oro no lixiviado. Los porcentajes de recuperación se muestran en la Tabla 8.

Tabla 10.

*Recuperación de oro a 90 minutos de tratamiento con solución de persulfato al 20 % p/v*

Muestra	Oro recuperado (g)	Oro recuperado (%)	Recuperación (%)
1	5.680	0.116	98.28
2	5.712	0.114	98.28
3	5.630	0.113	97.41

Se evidencia una recuperación de oro en rangos 5.630 gr, 5.712 gr. y 0.680 gr para las 03 muestras de las que se recuperan 98.28 %, 98.28 % y 97.41 %, con una cantidad de 0.116%, 0.114 % y 0.113 %, siendo la muestra N° 1 en la que se recupera mayor cantidad.

### Discusión

El trabajo presentado es suigeneris por ser la primera investigación de esta magnitud en la provincia de Cañete, sin embargo, según un diagnóstico de chatarra de electrodomésticos realizado por la Secretaría Federal de Asuntos Económicos de Suiza, se estima que en el 2008 hubo una generación de 40,500 toneladas de basura electrónica en países industrializados de sud américa, y que el 2013 hubo 75,000 toneladas, estimando que para el año 2018 estima una producción de 105,000 toneladas (Bard, 1985, p 107), lo que según los resultados alcanzados 98.28 % de recuperación en la provincia de Cañete contribuiría significativamente a la mejora de la calidad del ambiente y por ende de la salud.

## Conclusiones

Los estudios de métodos no convencionales de bajo impacto ambiental aplicados para la recuperación de oro de residuos electrónicos, permiten establecer que tratamientos con persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) tienen mayores ventajas que el tratamiento con cloruro cúprico ( $CuCl_2$ ) como: el elevado potencial de óxido reducción, el uso del solvente universal agua, la buena recuperación de oro, la concentración óptima para tratamiento es de 20 % p/v, el tiempo de tratamiento es de 90 minutos, obteniéndose alta remoción de oro, lo que ha contribuido sustancialmente a disminuir la contaminación ambiental y a mejorar la calidad de vida de la mujer cañetana, y la de sus dependientes.

## Referencias bibliográficas

- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2010). Ventajas del reciclaje. de <http://www.ads.gobierno.pr/secciones/reciclaje/ventajasdelreciclaje.htm>
- Barbieri, L, Goivanardi, R, Lancellotti, I, Michelazzi, M, (2009) "A New environmentally friendly process for the recovery of gold from electronic waste", *Environmental Chemistry Letters*, Vol.8, No.2, pp. 171-178.
- Bard, A.J, Parsons, R, Jordan, J, (1985) "Standard Potentials in Aqueous Solution", New York, Marcel Dekker, pp. 107.
- Cakir, O (2006) "Copper etching with cupric chloride and regeneration of waste etchant", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.175, pp. 63-68.
- Chancerel P., Meskers C., Hagelüken C. y Rotter V.. Assessment of precious metal flows during preprocessing of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), 791-810.
- Flandinet, L, Tedjar, F, Ghetta, V, Fouletier, J, (2012) "Metals recovering from waste printed circuit boards (WPCBs) using molten salts", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 213-214, pp. 485-490.
- Garther. (2011). Gartner Lowers PC Forecast as Consumers Diversify Computing Needs Across Devices. Recuperado de <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1570714> arther.
- Greenpeace. Basura informática. [http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2011/contaminacion/basura\\_electronica\\_otra\\_cara\\_tecnologia.pdf](http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2011/contaminacion/basura_electronica_otra_cara_tecnologia.pdf)
- Kristofova, D, Karnik, T, "Hydrometallurgical extraction of gold from electronic waste", *Miner. Slov*, Vol.28, No.5, pp. 429-430, 1996.
- Lee, J.C, Song, H.T, Yoo, J.M, (2007) "Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea", *Resources Conservation and Recycling*, Vol.50, No.4, pp. 380-397.
- Lundström, M, Aromaa, J, Forsén, O, (2008) "Redox potential characteristics of cupric chloride solutions", *Hydrometallurgy*, Vol.95, pp.285-289.
- Lu, W, Lu, Y, Liu, F, Shang, K, Wang, W, Yang, Y, (2011) "Extraction of gold (III) from hydrochloric acid solutions by CTAB/n-heptane/iso-amyl alcohol/Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> microemulsion", *Journal of Hazardous Materials*, Vol.186, No 2-3, pp. 2166-2170.
- Pant, D, Joshi, D, Upreti, M.K, Kotnala, R.K, (2012) "Chemical and biological extraction of metals present in E waste: A hybrid technology", *Waste Management*, Vol.32, pp. 979-990.
- Rosales J. (2011). Gestión integral y reciclaje de ewaste: Experiencias en Ecuador. Manejo de Desechos Tecnológicos (pp. 1-2).
- Statistics Canada (2009). Material composition of personal computers. [http://www41.statcan.ca/2006/1762/hm/ceb1762\\_003\\_6-eng.htm](http://www41.statcan.ca/2006/1762/hm/ceb1762_003_6-eng.htm)
- Syed, S, (2006) "A green technology for recovery of gold from non-metallic secondary sources", *Hydrometallurgy*, Vol. 82, pp. 48-53, 2006.

- Syed, S, (2012) "Recovery of gold from secondary sources-A review", Hydrometallurgy, Vol.115, pp. 30-51.
- Tuncuk, A, Stazi, V, Akcil, A, Yazici, E.Y, Deveci, H, (2012) "Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling", Minerals Engineering, Vol.25, pp. 28-37.
- Yang, H, Liu, J, Yang, J, (2011) "Leaching copper from shredded particles of waste printed circuit boards", Journal of Hazardous Materials, Vol.187, No. 1-3, pp. 393-400.

## Reconstrucción y análisis de la Evolución Temporal de la Radiación Solar Global en la ciudad de Puno durante el periodo 1964-2008

### Reconstruction and analysis of the Temporary Evolution of Global Solar Radiation in the city of Puno during the period 1964-2008

---

Lelia Quispe Huamán  
leliaqh1@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Guina Sotomayor Alzamora  
guinas@gmail.com - Universidad Nacional del Altiplano, Puno

#### Resumen

El estudio tiene como objetivo explicar el proceso de reconstrucción de la radiación solar global, así como analizar la evolución de su comportamiento desde 1964 hasta 2008. Se ha propuesto el modelo Bristow y Campbell, para reconstruir la radiación solar global diaria en el pasado, a partir de datos de temperaturas extremas registradas por SENAMHI-Puno y la transmitancia atmosférica máxima estimada con datos de la estación meteorológica de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. En el proceso de reconstrucción de las series, se analizó la evolución de la radiación solar global. Cabe destacar que el resultado promedio anual es superior a  $5.66244KWh/m^2$ , con un incremento de radiación global de  $0.00014473KWh/m^2$  por un periodo de cada cuatro años. Así mismo, la aplicación del modelo resulta de gran utilidad para obtener una base completa de radiación solar diaria, obteniéndose valores mayores de  $4KWh/m^2$ , tales resultados son muy rentables para las aplicaciones de energías renovables, según la Organización Latinoamericana de Energía. El incremento de la radiación solar global es resultado del adelgazamiento de la capa de ozono, generado por contaminantes antropogénicos.

**Palabras claves:** *Bristow y Campbell, reconstrucción, radiación solar global, temperaturas extremas, transmitancia atmosférica.*

#### Abstract

This study aims to explain the process of reconstruction of the global solar radiation, as well as to analyze the evolution of its behavior from 1964 to 2008 in Puno. The Bristow and Campbell model has been proposed, to reconstruct the daily global solar radiation in the past, from extreme temperature data recorded by SENAMHI-Puno and the estimated maximum atmospheric transmittance data from the meteorological station at the Professional School of Mathematical Physical Sciences at the Altiplano National University in Puno Peru. In the reconstruction process series, the evolution of global solar radiation was analyzed. It should be noted that the average annual average result is greater than  $5.66244KWh/m^2$ , with an increase in global radiation of  $0.00014473KWh/m^2$  per period of every four years. Likewise, the application of the model is very useful to obtain a complete base of daily solar radiation, obtaining greater values than  $4KWh/m^2$ , such results are very profitable for renewable energy applications according to the Latin American Energy Organization. The increase in global solar radiation is the result of the thinning of the ozone layer, generated by anthropogenic pollutants.

**Keywords:** *Bristow and Campbell, reconstruction, global solar radiation, extreme temperatures, atmospheric transmittance.*

## Introducción

La energía que irradia el sol es la principal causa de las diferencias climáticas en el planeta y sustenta todos los procesos vitales (Fernández, Campo, & Gentili, 2015), alcanza las gamas superficiales de la tierra principalmente entre  $305\text{nm} - 2800\text{nm}$ ; además, su integración de longitud de onda, conocida como radiación solar global, es la única fuente de energía significativa para el sistema global (Wild, 2012). Casi todos los ciclos físicos y biológicos conocidos en el sistema de la tierra son impulsados por la radiación electromagnética emitida por el sol, conocida como radiación solar y por lo tanto, sus variaciones contribuyen al cambio climático (Fu, 2015; Velasco, Mendoza, & Velasco, 2015).

Con el cambio climático y la contaminación del aire, los recursos solares ya no serán estables a lo largo del tiempo y sufrirán cambios sustanciales en los próximos años (Wild et al., 2015). La evaluación de la variación a largo plazo de la radiación solar en la superficie terrestre es necesaria para diversos temas como el calentamiento global, el retiro de los glaciares, los recursos hídricos y aplicaciones de energía solar (Antón et al., 2017); así mismo, para comprender el cambio climático a futuro y la forma en que estos cambios pueden afectar la generación de energía fotovoltaica (Yang et al., 2018; Wild et al., 2015).

Desafortunadamente hay una notable falta de estudios científicos centrados en la reconstrucción a largo plazo de los datos de radiación solar global (Ulloa et al., 2011; Antón et al., 2017), especialmente existe escasez de series temporales en el siglo XX (Sánchez & Wild, 2012). Por esta razón, se utilizan métodos de estimación, a fin de reconstruir la radiación solar global en estaciones meteorológicas que no registran la radiación solar global. Los datos reconstruidos son utilizados en modelos agrícolas e hidrológicos, como el rendimiento de cultivos, o en modelos sobre el cambio climático (Oesterle, 2001).

En los últimos años se ve un incremento de aplicaciones de energía solar, impulsados por intereses mundiales sobre energías verdes (Zhang, 2014). Así, el diseño, dimensionamiento y rendimiento de cualquier proyecto de energía solar busca como optimizar sistemas fotovoltaicos, colectores planos, calentadores de agua, construcción de edificios, aislamiento adecuado al clima local, calefacción, y capacidad de almacenamiento de sistemas de instalación solar, por lo que se requiere del conocimiento de la radiación solar global disponible en el lugar de instalación (Marzo et al., 2017).

Para que cualquier proyecto de energía solar tenga éxito, los datos de radiación solar global son necesarios (Ayodele & Ogunjuyigbe, 2015; El Mghouchi et al., 2016), además del conocimiento previo de la radiación solar *in situ*, es importante para una mejor gestión y control de instalaciones de energía solar (Belaid & Mellit, 2016), sobre todo para aplicaciones de investigación e ingeniería (El Mghouchi et al., 2016). La energía solar es el recurso de energía más abundante en la tierra, por ejemplo, la energía solar que alcanza la superficie de la tierra en

una hora es la misma cantidad de energía consumida por todos los seres humanos en un año (Pérez-Burgos et al., 2015). Además, ha sido identificada por el programa *Global Climate Observing System (GCOS)* como una de las variables climáticas esenciales, sumamente importante para caracterizar el clima de la tierra (Bengulescu, Blanc, & Wald, 2016).

## Materiales y métodos

### Área de estudio y datos utilizados

El estudio se desarrolló en la ciudad de Puno, que posee un clima frío, con amplitud térmica moderada (Claude & André, 1991), ubicada en la cuenca hidrográfica del Titicaca a  $3827\text{ m s.n.m.}$ , en el piso ecológico circunlacustre, correspondiente al área que bordea al lago Titicaca, lago navegable más alto del mundo y que actúa con un efecto termorregulador, esto es, absorbe calor durante las horas de sol y lo pierde, lentamente, durante las noches, permitiendo que los vientos del Sur Este, que soplan sobre el agua, se calienten y humedezcan, elevando y manteniendo las temperaturas constantes (Flores, E., & Flores, 2011), permitiendo una mayor producción agrícola en la zona ribereña.

En la reconstrucción de la radiación solar global se utilizaron datos de temperaturas máximas y temperaturas mínimas diarias desde el año 1964 hasta el año 2008, medidos por la estación meteorológica Vaisala de SENAMHI, además de la latitud de la zona y la transmitancia atmosférica máxima estimadas con datos de la estación meteorológica modelo VANTAGE PRO 2 PLUS de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, que posee el mantenimiento y la calibración certificada por el fabricante. Estos datos fueron medidos cada 15 minutos durante el día y almacenados en la base de datos del software weatherlink.

### Modelos de estimación

Los métodos para estimar la radiación solar global diaria basados en observaciones meteorológicas, pueden calcularse mejor con modelo empíricos (Ocampo & Rivas, 2013), en base al rango de temperatura, duración diaria del sol, nubosidad, humedad relativa, precipitación y pueden utilizarse como predictores en diferentes casos (Oesterle, 2001). Además, las escalas temporales intrínsecas e incompletas de la variabilidad de la radiación solar global superficial se abordan, también, por medio de modelos empíricos (Fernández et al., 2015; Bengulescu et al., 2016; Rojas et al., 2016), o en base a la insolación solar, como el modelo Ångström–Prescott, usado para reconstruir la radiación solar global en Izaña, España (García et al., 2014).

Existen numerosos modelos de estimación de radiación solar que usan diferentes variables meteorológicas, como los modelos basados en temperatura, que poseen una fácil disponibilidad de datos, además de medida simple y robusta. Entre los modelos más conocidos se encuentran los desarrollados por Hargreaves y Samani el 1982,

Bristow y Campbell el 1983 y Allen el 2002 (Swingedouw et al., 2017). Vale señalar que la radiación solar global y la temperatura están estrechamente relacionadas (Rojas et al., 2016; Chang et al., 2017), como muestra la Figura 2.

### Modelo Bristow y Campbell

Se considera el modelo Bristow y Campbell, que explica la relación entre la diferencia de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire con calor sensible y calor latente (Baigorria et al., 2004). El calor latente depende de la radiación solar diaria y es el responsable de la temperaturas máximas del aire; además, el calor sensible al anochecer debido a la inercia térmica gradualmente se pierde en el espacio como radiación de onda larga y otros flujos radiantes, resultando en el decrecimiento de la temperatura hasta alcanzar su temperatura mínima justo antes del amanecer (Ming et al., 2014).

Cuando la radiación solar llega a la superficie de la tierra, una parte se refleja y el otro es absorbido. Por otra parte, el suelo se calienta, emite radiación de onda larga que hace que caliente el aire adyacente, contribuyendo a cambiar su temperatura. En base a este argumento Bristow y Campbell sugirieron un modelo físico empírico para estimar la radiación solar global en función de la radiación solar extraterrestre y la diferencia de temperaturas máximas y mínimas (Queiroz, Nogueira, & Vieira, 2000), como se muestra en la Ecuación (1).

$$\frac{R_g}{R_e} = A[1 - e^{-B(TCmin,max)}] \quad (1)$$

Donde:

$R_g$ : Radiación solar global [ $KWh/m^2$ ]

$R_e$ : Radiación solar extraterrestre [ $KWh/m^2$ ]

$T_{max}$  Temperatura máxima [ $^{\circ}C$ ]

$T_{min}$  Temperatura mínima [ $^{\circ}C$ ]

$A$ : Transmitancia atmosférica máxima.

$B$ : Constante específica de la región (Depende de  $C$ )

$C$ : Constante específica de la región (Depende de la amplitud térmica y latitud).

Donde  $A$ ,  $B$  y  $C$  son constantes empíricas, con significado físico. El coeficiente  $A$  representa la transmitancia atmosférica máxima, que es característica del área de estudio, y depende de la contaminación y elevación de la zona. El coeficiente  $B(^{\circ}C^{-1})$  y  $C$  determina el efecto del incremento en la amplitud térmica  $\Delta T$  en los máximos valores de transmitancia atmosférica ( $K_t$ ) (Meza & Varas, 2000).

Debido a que los valores absolutos y las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas son fuertemente influenciados por la topografía, latitud y altitud, y entre otros factores, los coeficientes  $B$  y  $C$  propuestos pueden ser aplicados solo en áreas bajo similares condiciones de régimen térmico (Camayo et al., 2017).

### Capa de Ozono

La cantidad de ozono se ve disminuida debido a su reacción con contaminantes de origen humano, entre los contaminantes más perjudiciales para la capa de ozono se encuentran: los clorofluorocarbonos (Cfcs), el gas metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso, el monóxido de cloro (ClO), entre otros, la radiación solar rompe el enlace O-O del  $O_2$  (Oxígeno) (Sánchez, 2008). La Figura 1 muestra la ubicación de la capa de ozono en la atmósfera terrestre.

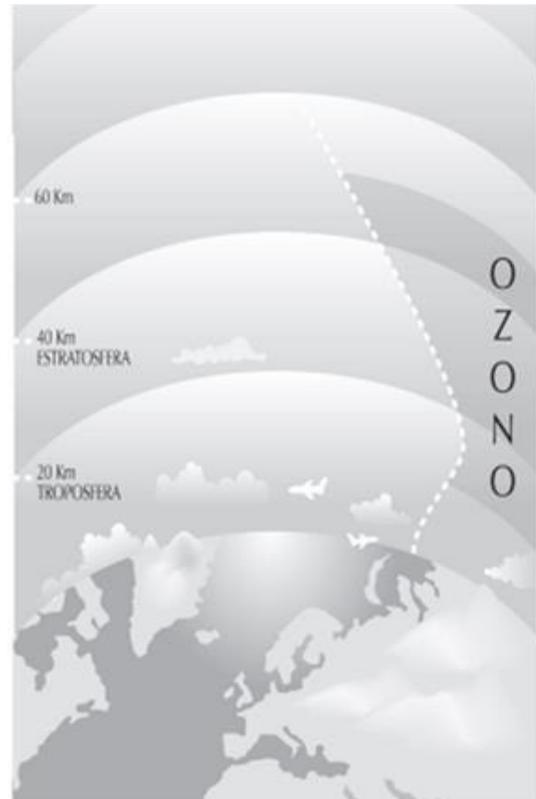


Figura 1. Ubicación de la capa de ozono en la atmósfera obtenido de (Sánchez, 2008).

### Resultados y discusión

El modelo de Bristow y Campbell fue definido para valores diarios. Como la ciudad de Puno está sujeta a alteraciones constantes de las temperaturas máximas y mínimas, la utilización del modelo generó valores de radiación solar global esperados, ya que estas son resultados favorables para el aprovechamiento de la energía solar en la ciudad de Puno. Para la estimación de la radiación solar global fueron usadas las ecuaciones citados en esta investigación.

El comportamiento correspondiente a los datos estimados de la radiación solar global y la amplitud térmica diaria es mostrado en la Figura 2, a modo de ejemplo, estas imágenes corresponden a los años 1966 y 2008, respectivamente.

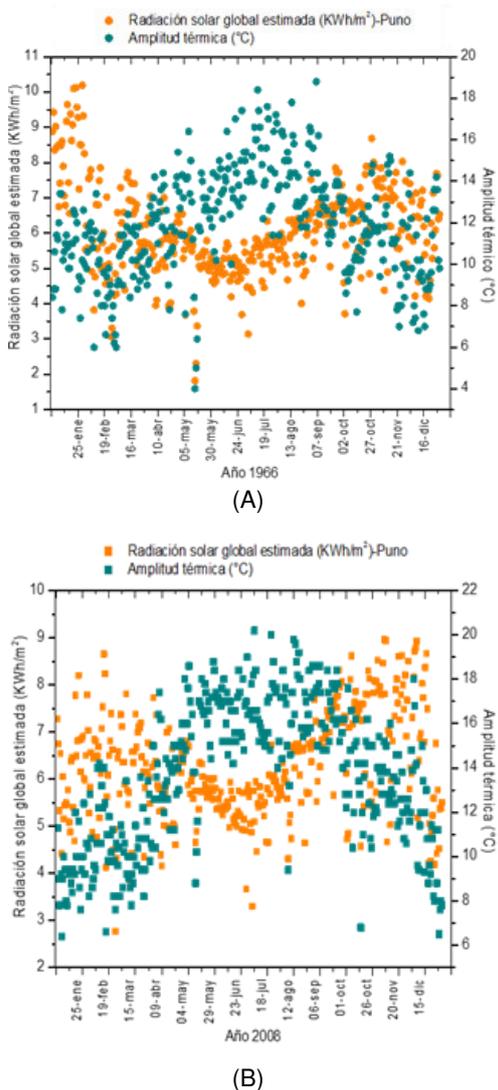


Figura 2. Radiación solar global y amplitud térmica diaria en los años 1966 (a) y 2008 (b).

La amplitud térmica es  $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ . Es el rango de temperatura durante un día, la máxima se da durante el día entre las 11: am a 2: pm y la mínima en el amanecer a eso de las 4:00am a 5:00am (debido a las ondas cortas y largas de la radiación solar durante un día las 24 horas).

En los extremos la amplitud térmica es menor debido a que los días presentan nubosidad, precipitación y estas hacen que las temperaturas desciendan. Por otro lado, en el centro de la figura la amplitud térmica es alta debido a que las temperaturas descienden en la noche o en la sombra. Así mismo durante el día debido a los cielos despejados donde las temperaturas ascienden y ocasiona que las diferencias de temperaturas sean altas.

En las estaciones de invierno, la radiación solar global disminuye hasta en 10% y existe un incremento del material particulado al 16% en Sao Paulo, Brasil (De Oliveira et al., 2003). Además, la variación de radiación solar global se debe a la presencia de aerosol antropogénico en la atmósfera (Sanchez & Wild, 2012; Sanchez et al., 2016). A continuación, en la Figura 3, se muestra el comportamiento diario de las temperaturas máximas, mínimas y la amplitud térmica, como ejemplo para el año 2008.

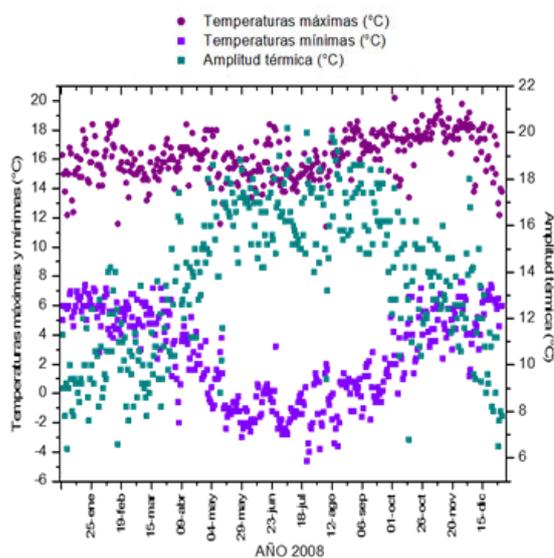


Figura 3. Amplitud térmica, temperaturas máximas y mínimas en el 2008.

La Figura 3 muestra el comportamiento diario de la temperatura máxima y mínima y la amplitud térmica para el año 2008. Se ve que en los extremos, la amplitud térmica es menor, debido a los días que presentan nubosidad, precipitación y esto ocasiona que la temperatura descienda. Por otro lado, en el centro de la figura, la amplitud térmica es alta, pues las temperaturas descienden por la noche o en la sombra. Además, en los días con cielos despejados, las temperaturas ascienden y ocasionan que la diferencia de temperatura sea alta. También se muestra que la temperatura mínima desciende en la estación de invierno, es decir, entre los meses de mayo, junio, julio y agosto, por tanto, las máximas amplitudes térmicas se dan durante esa temporada, esto por el fenómeno del afelio es decir, la tierra se aleja del sol.

La Figura 4 muestra el comportamiento diario de la Transmitancia Atmosférica máxima durante un año, para tal se utilizaron datos medidos por la estación meteorológica de la Escuela Profesional de Físico Matemáticas; además, las constantes empíricas B y C,

se estimaron en base a los datos de temperatura máxima y mínima, y la latitud de la zona de estudio.

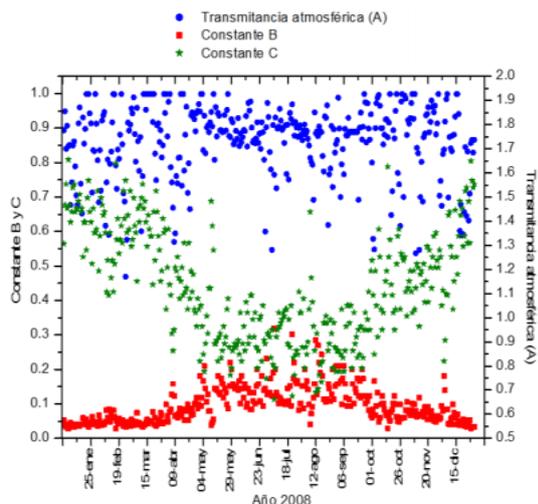


Figura 4. Relación entre la constante B, constante C y transmitancia atmosférica máxima.

Además, la Figura 4 muestra una dispersión en los extremos, debido a la presencia de días nublados y las precipitaciones dadas entre los meses de enero, febrero, marzo y abril y entre los meses septiembre, octubre, noviembre y diciembre. En el centro, existe menos dispersión, debido a la temporada de sequía, friaje o heladas y días más despejados, dada entre los meses de mayo, junio, julio y agosto. Finalmente, los valores de transmitancia atmosférica máxima son mayores a 0.6, que indica que la mayoría de días del año son despejados.

A continuación, en la Figura 5, se muestra el ajuste entre la amplitud térmica y la constante B.

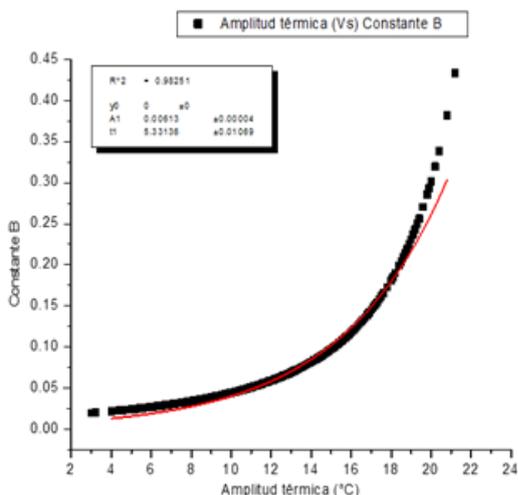


Figura 5. Relación entre la amplitud térmica y la constante B.

La amplitud térmica  $\Delta T$  y el parámetro B incrementan sus valores durante el periodo de estudio debido a que el parámetro B depende del parámetro C y este depende de la temperatura máxima y mínima, y la latitud, por lo que estas variables generan una función exponencial decreciente. La relación entre la constante B y la amplitud térmica están estrechamente relacionados, pues se obtuvo una correlación de  $R = 0.98251$ . Además, el

comportamiento de la constante B, desde 1964 hasta el 2008, desciende tanto en los meses de enero, febrero, marzo y abril como en los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre; y ascienden entre los meses mayo, junio, julio y agosto. Durante el estudio, se obtuvo un valor máximo de 0.4336 y un valor mínimo de 0.0195 durante los años evaluados.

Así mismo, el comportamiento de la constante C, desde 1964 hasta el 2008, asciende tanto entre los meses de enero, febrero, marzo y abril como en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, y desciende entre los meses de mayo, junio, julio y agosto. Los valores obtenidos en este estudio obtuvieron como valor máximo de 1.9000 y valor mínimo de 0.5896, durante los años evaluados.

La Figura 6 muestra el ajuste entre la amplitud térmica  $\Delta T$  y la constante C, así, se verifica que la amplitud térmica incrementa sus valores y el parámetro C los disminuye, generando una función lineal decreciente. Se muestra también que la relación entre la constante C y la amplitud térmica están estrechamente relacionados.

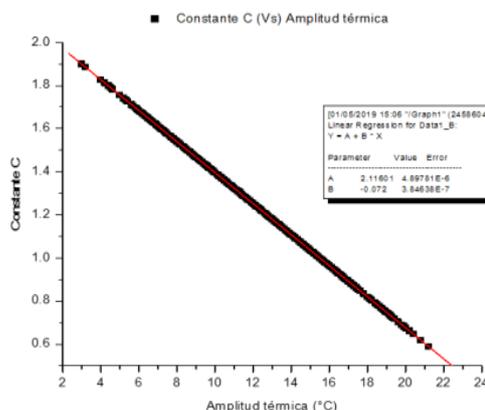


Figura 6. Relación entre la amplitud térmica y la constante C.

La Figura 7 muestra que los valores de la constante C se incrementan, mientras que los de la constante B disminuyen, generando una función decreciente. Tal comparación muestra que las constantes están estrechamente relacionadas, pues se obtuvo una correlación de  $R = 0.99822$ .

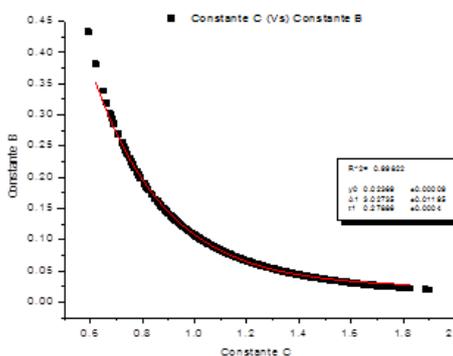


Figura 7. Relación entre la constante C y la constante B.

La Figura 8 muestra el ajuste entre la amplitud térmica  $\Delta T$  y la transmitancia atmosférica durante el periodo evaluado, aquí se observa que los valores de amplitud térmica se incrementan, al igual que los valores de transmitancia atmosférica, generando una función creciente. La amplitud térmica y la transmitancia atmosférica también están relacionados, con una correlación de 0.85609.

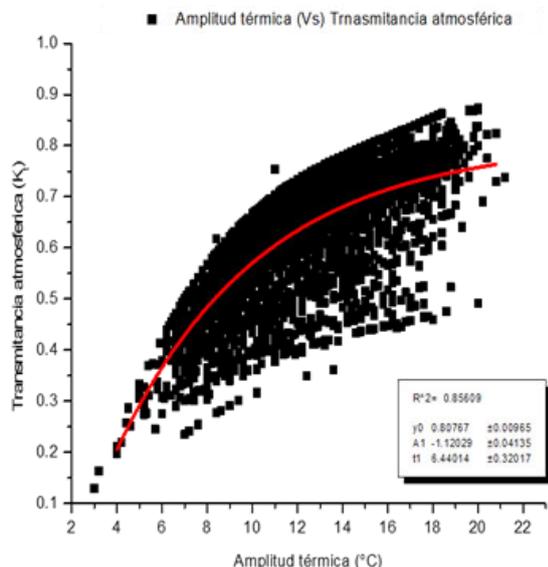


Figura 8. Relación entre la amplitud térmica y la transmitancia atmosférica.

La Figura 9 muestra la evolución de la radiación solar global durante el periodo evaluado, desde enero de 1964 hasta diciembre de 2008, en la ciudad de Puno, Perú. Con los datos de la serie histórica de temperatura, se ha logrado reconstruir el comportamiento de la radiación solar, notando una evolución temporal de:

$$Rad = 5.66244 + 0.00014473xT$$

Dónde:  $T$  es cada 4 años, los resultados muestran una ascendencia de la radiación solar en el periodo de estudio.

Además, la Figura 9 muestra que el promedio anual de radiación solar global es de  $5.66244 \text{ KWh/m}^2$ , y el incremento mencionado es de  $0.00014473 \text{ KWh/m}^2$  por un periodo de cuatro años. Este incremento se da, entre otros factores, por la reducción de la cantidad de ozono, por efectos antropogénicos de la industria automotriz (Arcos, 2007). Se pretende que estos resultados puedan servir como base para estudios de variabilidad temporal, como los relacionados al calentamiento global, retiro de los glaciares, recursos hídricos y aplicaciones de energía solar.

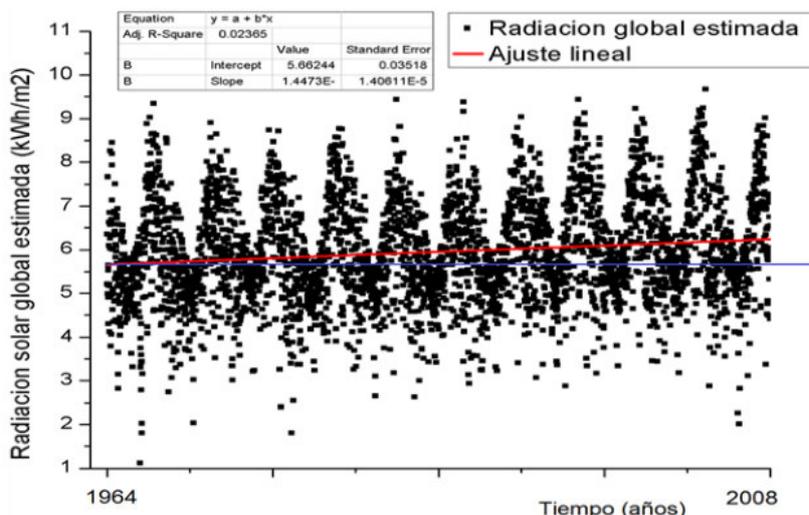


Figura 9. Evolución anual (cada 4 años) de la radiación solar global desde 1964 hasta 2008, la línea horizontal azul es referencial.

Los planes de mitigación del cambio climático exigen un aumento significativo de aplicaciones de energías renovables, por lo que se evalúan los impactos este cambio en sistemas fotovoltaicos, pues estos cambios se darían en un intervalo de  $-14\%$  a  $+2\%$  (Jerez et al., 2015), otros estudios indican que la nubosidad muestra un descenso continuo desde los años 1960s, que provocarán un incremento de la radiación solar en los próximos decenios (Calbó, González, & Sánchez, 2017).

Otros estudios realizados por (Yang et al., 2018) dan a conocer resultados sobre radiación solar, en China, se indica un incremento de la radiación solar de  $0.4W/m^2$ , y una tendencia decreciente de  $-0.08W/m^2$  en Qinghai. Se indica también que la producción de energía fotovoltaica disminuyó anualmente en  $-0.04\%$  del 2006 al 2015 al oeste de China, y se incrementó al sureste de China, de  $0.06\%$  a  $0.1\%$  por año. También Antón et al., (2017) presentaron un estudio que se centra en el análisis de la radiación solar global diaria determinada a partir de la insolación solar en Madrid, España, entre 1887-1950. También se analiza la relación entre la radiación solar global y la nubosidad, así mismo la reconstrucción de la radiación solar global a largo plazo fue con tendencia negativa de  $-13KJ/m^2$  por año en el periodo 1887 a 1915 y con tendencia positiva de  $+13KJ/m^2$  por año en el periodo 1916 a 1950, ambos estadísticamente significativos en el nivel de confianza del 95%.

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman cambios a largo plazo de la radiación solar global en la ciudad de Puno durante el periodo de enero de 1964 a diciembre de 2008, con un valor favorable, mayor a  $5KWh/m^2$ , que es rentable en las aplicaciones de energía solar. Cabe destacar que uno de los factores para tal incremento se da debido al deterioro de la capa de Ozono por contaminantes antropogénicos, como mencionado en el tercer panel intergubernamental de Cambio climático (IPCC) en 1990, 1995, 2001 y 2007 cada año con más complejidad (Power, 2009).

## Conclusiones

Se ha reconstruido la radiación solar global, en el periodo de los años 1964 al 2008 aplicando el modelo Bristow y Campbell, obteniéndose valor promedio de  $5.66244KWh/m^2$  anual, con un incremento de  $0.00014473KWh/m^2$  cada periodo, determinado por cada cuatro años, como se muestra en la Figura 9, con tendencia a  $6KWh/m^2$ , lo cual permite realizar una evaluación de la variación de la radiación solar de la superficie terrestre a largo plazo, esta es necesaria para estudios de diversos temas como el calentamiento global, el retiro de los glaciares, los recursos hídricos y las aplicaciones de energía solar, en concordancia con lo indicado por [Antón et al., \(2017\)](#).

Así mismo, al tener la ciudad de Puno un potencial de radiación solar global promedio anual de  $5.66244KWh/m^2$ , se considera muy rentable para las aplicaciones en energía solar por la Organización latinoamericana de energía (OLADE). Los resultados obtenidos en este trabajo permitirán el desarrollo de energías renovables para el desarrollo de nuevas tecnologías como el uso de colectores solares térmicos, módulos fotovoltaicos, células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, arquitectura bioclimática, etc. Pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica, las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrán ayudar a resolver los problemas más urgentes de friaje en la ciudad y la región de Puno que afronta la población y los seres vivos en las zonas alto andinas.

También el incremento de la radiación solar global de  $0.00014473KWh/m^2$ , se debe al adelgazamiento de la capa de ozono, por la reacción con contaminantes de origen humano. Entre los contaminantes más perjudiciales para la capa de ozono se encuentran: los clorofluorocarbonos (CFCs), el gas metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso, el monóxido de cloro (ClO), entre otros. La destrucción de la capa de ozono hace que los rayos ultravioletas lleguen a la superficie de la biosfera y puedan interferir en la capacidad fotosintética y el crecimiento de las plantas. Otra consecuencia es el aumento del riesgo de cáncer de piel en los seres humanos y los animales. La mejor manera de reducir el calentamiento global es, sin duda, reducir las emisiones antropogénicas que producen los gases invernaderos.

## Referencias bibliográficas

- Antón, M., Román, R., Sanchez-Lorenzo, A., Calbó, J., & Vaquero, J. M. (2017). Variability analysis of the reconstructed daily global solar radiation under all-sky and cloud-free conditions in Madrid during the period 1887–1950. *Atmospheric Research*, *191*, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.03.013>
- Arcos Navarro, G. (2007). Calentamiento global. *Ciencia UAT*, *2*(2), 10–14.
- Ayodele, T. R., & Ogunjuyigbe, A. S. O. (2015). Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index. *Energy*, *90*, 1733–1742. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.137>
- Baigorria, G. A., Villegas, E. B., Trebejo, I., Carlos, J. F., & Quiroz, R. (2004). Atmospheric transmissivity: Distribution and empirical estimation around the central Andes. *International Journal of Climatology*, *24*(9), 1121–1136. <https://doi.org/10.1002/joc.1060>
- Belaid, S., & Mellit, A. (2016). Prediction of daily and mean monthly global solar radiation using support vector machine in an arid climate. *Energy Conversion and Management*, *118*, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.082>
- Bengulescu, M., Blanc, P., & Wald, L. (2016). Characterizing Temporal Variability in Measurements of Surface Solar Radiation and its Dependence on Climate. *Energy Procedia*, *97*, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.045>
- Calbó, J., González, J. A., & Sanchez-Lorenzo, A. (2017). Building global and diffuse solar radiation series and assessing decadal trends in Girona (NE Iberian Peninsula). *Theoretical and Applied Climatology*, *129*(3–4), 1003–1015. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1829-3>
- Camayo Lapa, F. B., Massipe Hernandez, R. J., Pomachagua Paucar, E. J., Torres-Ten, A., & Quispe-Flores, M. (2017). Validación y aplicación del modelo Bristow Campbell para estimar la radiación solar global de la región de Junín. *Tecnología Química*, *XXXVII*(3), núm. 3, 2017, pp. 621–637.
- Chang, T.-P., Liu, F.-J., Ko, H.-H., & Huang, M.-C. (2017). Oscillation characteristic study of wind speed, global solar radiation and air temperature using wavelet analysis. *Applied Energy*, *190*, 650–657. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.149>
- Claude, D., & André, L. (1991). El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual. In *ORSTOM. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération*.
- De Oliveira, A. P., Machado, A. J., Escobedo, J. F., & Soares, J. (2003). Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the city of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, *71*(3–4), 231–249. <https://doi.org/10.1007/s007040200007>
- El Mghouchi, Y., Chham, E., Krikiz, M. S., Ajzoul, T., & El Bouardi, A. (2016). On the prediction of the daily global solar radiation intensity on south-facing plane surfaces inclined at varying angles. *Energy Conversion and Management*, *120*, 397–411. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.005>
- El Mghouchi, Y., El Bouardi, A., Choulli, Z., & Ajzoul, T. (2016). Models for obtaining the daily direct, diffuse and global solar radiations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *56*, 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.044>
- Fernández, M. E., Campo, A. M., & Gentili, J. O. (2015). Comportamiento temporal de la radiación solar global en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Revista de Climatología*, *15*(August), 51–64.
- Flores Condori, E., & Flores Quispe, E. L. (2011). Caracterización agroclimática en función de los elementos meteorológicos en el altiplano del Perú (2010-2011). *Universidad Nacional Del Altiplano*.
- Fu, Q. (2015). Radiación transfer in the Atmosphere. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (2nd editio, Vol. 5, pp. 37–44). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00444-8>
- García, R. D., Cuevas, E., Pallé, P., Romero-Campos, P. M., Cachorro, V. E., Bustos, J. J., ... de Frutos, A. M. (2014). Reconstruction of global solar radiation time series from 1933 to 2013 at the Izaña Atmospheric Observatory. *Atmospheric Measurement Techniques*. <https://doi.org/10.5194/amt-7-3139-2014>
- Jerez, S., Tobin, I., Vautard, R., Montávez, J. P., López-Romero, J. M., Thais, F., ... Wild, M. (2015). The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. *Nature Communications*, *6*. <https://doi.org/10.1038/ncomms10014>
- Marzo, A., Trigo, M., Alonso-Montesinos, J., Martínez-Durbán, M., López, G., Ferrada, P., ... Battles, F. J. (2017). Daily global solar radiation estimation in desert areas using daily extreme temperatures and extraterrestrial radiation. *Renewable Energy*, *113*, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.061>
- Meza, F., & Varas, E. (2000). Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, *100*(2–3), 231–241. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00090-8)
- Ming, T., Richter, R. De, Liu, W., & Caillol, S. (2014). Fighting global warming by climate engineering : Is the Earth radiation management and the solar radiation management any option for fighting climate change ? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *31*, 792–834. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.032>
- Ocampo, D., & Rivas, R. (2013). Estimación de la radiación neta diaria a partir de Modelos de Regresión Lineal Múltiple. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *19*(2), 263–271. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.04.031>

- Oesterle, H. (2001). Reconstruction of daily global radiation for past years for use in agricultural models. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26(3), 253–256. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00248-3](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00248-3)
- Perez-Burgos, A., Roman, R., Bilbao, J., De Miguel, A., & Oteiza, P. (2015). Reconstruction of long-term direct solar irradiance data series using a model based on the Cloud Modification Factor. *Renewable Energy*, 77, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.12.007>
- Power Porto, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería Industrial*, (27), 101–122.
- Queiroz, M. R., Nogueira, C. B. R., & Vieira de Assis, S. (2000). *Avaliação de um método empírico para estimativa da radiação solar global – modelo de Bristow-Campbell*. 194–199.
- Rojas Serrano, J., Vásquez Vega, A., García Acevedo, F., Parra Peñaranda, D., & Castro Becerra, E. (2016). Estimating missing data in historic series of global radiation through neural network algorithms. *Sistemas & Telemática*, 14(37), 9–22. <https://doi.org/10.18046/syt.v14i37.2239>
- Sanchez-Lorenzo, A., & Wild, M. (2012). Decadal variations in estimated surface solar radiation over Switzerland since the late 19th century. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(18), 8635–8644. <https://doi.org/10.5194/acp-12-8635-2012>
- Sanchez-Romero, A., Sanchez-Lorenzo, A., González, J. A., & Calbó, J. (2016). Reconstruction of long-term aerosol optical depth series with sunshine duration records. *Geophysical Research Letters*, 43(3), 1296–1305. <https://doi.org/10.1002/2015GL067543>
- Sánchez Vega, V. M. (2008). La capa de ozono. *Revista Biocenosis*, 21, 1–2.
- Swingedouw, D., Mignot, J., Guilyardi, E., & Ormie, L. (2017). *Comptes Rendus Geoscience Tentative reconstruction of the 1998 – 2012 hiatus in global temperature warming using the IPSL – CM5A – LR climate model*. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.09.014>
- Ulloa, H.; García, M.; Pérez, A.; Meulenert, A.; Ávila, D. (2011). Clima y Radiación Solar en Las Grandes Ciudades: Zona Metropolitana de Guadalajara. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (56), 165–175.
- Velasco Herrera, V. M., Mendoza, B., & Velasco Herrera, G. (2015). Reconstruction and prediction of the total solar irradiance: From the Medieval Warm Period to the 21st century. *New Astronomy*, 34, 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2014.07.009>
- Wild, M. (2012). Enlightening Global Dimming and Brightening. *American Meteorological Society*, 14(July 2011), 7927. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00074.1>
- Wild, M., Yang, L., Jiang, J., Liu, T., Li, Y., Zhou, Y., ... Sanchez-Lorenzo, A. (2015). Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3–4), 1–2. <https://doi.org/10.1038/ncomms10014>
- Yang, L., Jiang, J., Liu, T., Li, Y., Zhou, Y., & Gao, X. (2018). Projections of future changes in solar radiation in China based on CMIP5 climate models. *Global Energy Interconnection*, 1(4), 452–459. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.04.005>
- Zhang, X. (2014). A statistical approach for sub-hourly solar radiation reconstruction. *Renewable Energy*, 71, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.038>

**Avances y perspectivas para la optimización de microorganismos relevantes y limitación de bacterias filamentosas en lodos activados: una revisión**

**Advances and perspectives for the optimization of relevant microorganisms and limitation of filamentous bacteria in activated sludge: a review**

---

Ricardo Chambi Apaza  
ricardochambiapaza@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Katerin Chambi Torres  
katerinchambitorres@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Nestor Deza Chavez  
ene3axs@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Edwin Mamani Coyla  
edwin.123.4@hotmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Jhelsi Milagros Mamani Quispe  
mili.gros9@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Fiorela Esmeralda Quispe  
fiorelaesmeralda121@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

### Resumen

Los lodos activados constituyen uno de los procesos más importantes biotecnológicos para el tratamiento de aguas residuales, en este proceso de crecimiento suspendido hay una mezcla compleja de microorganismos, que tienen la capacidad para degradar la materia orgánica, eliminar nutrientes y transformar compuestos tóxicos en productos inofensivos; la comprensión de diversidad de las comunidades microbianas óptimas para el tratamiento y los organismos filamentosos en lodos activados, son fundamentales para abordar cuestiones de la proliferación de estas bacterias, tasa de crecimiento y las limitantes para su desarrollo, factores de aparición y supervivencia incluida la identificación taxonómica de estas bacterias. Estos avances permiten tener claro cómo deben ser los diseños futuros de plantas que involucren el tratamiento con lodos activados; no obstante, sigue siendo un desafío definir parámetros ambientales en zonas de por encima de los 3500 m.s.n.m, la rotación de la comunidad bacteriana, y encontrar vínculos estrechos entre la estructura microbiana de lodos activados y funciones de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para resolver esos problemas, esperamos que la investigación futura se enfoque en la caracterización de bacterias filamentosas, utilizando modelos matemáticos para entender la comunidad microbiana de lodos, estructura y utilizar esta información sobre microorganismos filamentosos de lodos activados, para predecir el desempeño de las PTAR que serán vitales para avanzar en el conocimiento de la ecología microbiana de bacterias filamentosas de lodos activados.

**Palabras claves:** *Aguas residuales, bacterias filamentosas, lodos activados, microorganismos.*

## Abstract

Activated sludge is one of the most important biotechnological processes for wastewater treatment, in this suspended growth process there is a complex mixture of microorganisms, which have the ability to degrade organic matter, eliminate nutrients and transform toxic compounds into harmless products. The understanding of diversity of optimal microbial communities for treatment and filamentous organisms in activated sludge, are essential to address issues of the proliferation of these bacteria, growth rate and limitations for their development, factors of emergence and survival including Taxonomic identification of these bacteria. These advances allow us to be clear about the future designs of plants that involve treatment with activated sludge; however, it is still a challenge to define environmental parameters in areas above 3500 m.a.s.l, the rotation of the bacterial community, and to find close links between the microbial structure of activated sludge and functions of the wastewater treatment plant. To solve these problems, we hope that future research will focus on the characterization of filamentous bacteria, using mathematical models to understand sludge microbial community, structure and use of this information on activated sludge filamentous microorganisms, to predict the performance of WWTPs that will be vital to advance the knowledge of the microbial ecology of filamentous bacteria in activated sludge.

**Keywords:** *Wastewater, filamentous bacteria, activated sludge, microorganisms.*

## Introducción

Las aguas residuales tratadas por PTAR es una unidad indispensable de ciudades modernas, que elimina los contaminantes de las aguas residuales resultantes de actividades antropogénicas (Eikelboom, 1975), los métodos biológicos de tratamiento, que generalmente involucran el proceso de lodo activado, son las tecnologías más ampliamente aplicadas en las plantas de todo el mundo (A, 2014; Richard, Daigger, & Jenkins, 2003).

Desde su desarrollo hace 80 años, el proceso de lodos activados ha sufrido muchos cambios en sus características operativas para mejorar tanto su eficiencia como su flexibilidad (Shuval, 1973); los sistemas convencionales fueron diseñados originalmente para eliminar los compuestos orgánicos carbonosos y el amoníaco que eran tóxicos para los peces (Alvarez-Ramirez, Meraz, Monroy, & Velasco, 2002), también muchas plantas ahora se construyen para eliminar otros compuestos que contienen fósforo microbiológicamente; el proceso de lodo activado es una tecnología antigua, pero sigue siendo la más usada para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Gaval & Pernelle, 2003).

Los lodos activados constituyen uno de los procesos más importantes biotecnológicos para el tratamiento de aguas residuales y protección del medio ambiente (Gao et al., 2016; Podder & Majumder, 2016; Zhang, Xu, & Zhu, 2018), en este proceso de crecimiento suspendido, hay una mezcla compleja de microorganismos que tienen la capacidad para degradar la materia orgánica, eliminar nutrientes y transformar compuestos tóxicos en productos inofensivos (Kadir, Lam, Uemura, Lim, & Lee, 2018). Por esta razón, es crucial entender la estructura de la comunidad microbiana y los procesos que subyacen detrás de los lodos activados (Grengg et al., 2018).

Los estudios sobre microbiología de plantas de tratamiento típicamente involucran la diversidad de inventarios de comunidades y poblaciones importantes de microorganismos (Gaval & Pernelle, 2003), donde a las bacterias filamentosas se deben considerar como componentes normales de la comunidad de microbios de plantas de lodos activados, ellos probablemente desempeñen un papel

importante en la formación de flóculos con buenas propiedades de sedimentación (Wuertz & Okabe, 2004). Sin embargo, los problemas surgen cuando la comunidad de estos sistemas de microorganismos no está en equilibrio y las bacterias filamentosas proliferan, causando abultamiento y espumación (Petrosanu, 2007).

En esta revisión, se hizo un resumen sobre la riqueza microbiana de lodos activados y su diversidad, especialmente de bacterias filamentosas, donde hacemos énfasis en sus formas de supervivencia, como afectan en el proceso del tratamiento de aguas residuales. Al final, hablamos de las estrategias para controlar el filamento y moderar su crecimiento.

### 1. Microorganismos encontrados en los procesos de lodos activados.

El tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados se elaboró por primera vez en Inglaterra el año 1914 y en la actualidad es el método modelo en los países desarrollados (Eikelboom, 1975; Seviour, 1999; Shuval, 1973), la depuración del agua residual a través de este proceso se lleva a cabo mediante la acción de diversos microorganismos aerobios que oxidan la materia orgánica presente en el agua de desecho y la transforman a una forma más estable (Guo, Peng, Wang, Yang, & Yuan, 2014; Richard, 2003), disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante. Para llevar a cabo este proceso, los microorganismos requieren de un medio adecuado rico en oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo (Drenovsky, Feris, Batten, & Hristova, 2008). En estas condiciones estos microorganismos se multiplican rápidamente formando la biomasa, que oxida los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales y completan de esta forma el tratamiento biológico (Wan et al., 2011).

Los microorganismos filamentosos se identifican rutinariamente sobre la base de sus particularidades morfológicas y reacciones de varios instrucciones de tinción, siguiendo los métodos minuciosos en los manuales de (Zhang et al., 2018) y (Grengg et al., 2018) más recientemente, por métodos biológicos

(Cantabria & Industriales, 2018). La frecuencia relativa de aparición de organismos filamentosos individuales dominantes en lodos activados y los tipos de organismos filamentosos se observan de manera generalizada en lodos activados y que aproximadamente son 10 a 12 tipos que presentan abultamientos y formación de espumas (Fan et al., 2017).

Tabla 1.  
Tipo de microorganismos filamentosos

Rango	Organismo filamentosos	Dominante	Secundario
1	Nocardioform organisms	31	17
2	Tipo 1701	29	24
3	Tipo 021N	19	15
4	Tipo 0041	16	47
5	Thiothrix spp.	12	20
6	Sphaerotilus natans	12	19
7	Microthrix parvicella	10	3
8	Tipo 0092	9	4
9	Haliscomenobacter hydrossis	9	45
10	Tipo 0675	7	16
11	Tipo 0803	6	9
12	Nostocoida limicola ( Tipo I, II and III)	6	18
13	Tipo 1851	6	24
14	Tipo 0961	4	6
15	Tipo 0581	3	1
16	Beggiatoa spp.	1	4
17	Fungi	1	2
18	Tipo 0914	1	1

Nota. (SEVIOUR, 1999)

## 2. Características generales de microbios relevantes para lodos activados

Es necesario mencionar algunos principios generales de la microbiología, ya que son estos microorganismos que provocan los cambios químicos que se producen en estas plantas y cuyo papel es tan importante para la operación tanto para el diseño de plantas de modelado como para su operación de rutina (Guo et al., 2014; von Sperling, 2008; Wan et al., 2011).

Los componentes principales de bacterias en lodos activados, son microorganismos, entre 0.2 y 3 µm ; (pero en lodos activados son a menudo de 0,5 a 2 µm pequeños), con morfología celular variable (Milobeldzka, Witeska, & Muszyński, 2016). Estos microorganismos son importantes tanto en términos de su función como de su competencia con bacterias filamentosas (Cyzdik-Kwiatkowska & Zielińska, 2016); estas bacterias a menudo causan serios problemas en el proceso de tratamiento de aguas; conociendo la identidad y las propiedades de estas poblaciones filamentosas son cruciales para abordar adecuadamente cualquier estrategia dirigida a modificar la composición de la biomasa. La

identificación adecuada de una bacteria es un procedimiento complejo, y para muchos años, la identificación de muchas poblaciones microbianas presentes en lodos activados fue realizado utilizando criterios morfológicos (es decir, forma celular, dimensiones, tinción de Gram, etc.) (Hashimoto et al., 2016; Wan et al., 2011).

## 3. Estado taxonómico actual de bacterias filamentosas encontradas en plantas de lodo activado

Comprender algunos de los problemas asociados a la identificación de los filamentosos. Bacterias en lodos activados, es necesario discutir primero los principios de taxonomía (Shuval, 1973)(Eikelboom, 1975).

**Clasificación:** La clasificación describe el ejercicio de organizar los organismos en grupos taxonómicos llamados taxones, en base a sus similitudes y diferencias. En las clasificaciones biológicas, los taxones se organizan jerárquicamente, con las especies que representan el grupo o unidad básica.

Las clasificaciones pueden ser de varios tipos (SEVIOUR, 1999).

a) **Artificial (monotético):** Generalmente diseñado para un propósito especial, de modo que solo aquellos se incluyen los organismos de interés, y el resto se ignoran (Pernelle et al., 2001).

b) **Fenético:** Clasificaciones de propósito general, intentando incluir todos los organismos y todos los aspectos de su fisiología, bioquímica, genética, etc. (Pernelle et al., 2001).

## 4. El crecimiento y nutrición de los microbios

Para crecer todas las células, protozoarios y bacterias presentes en los sistemas de lodos activados requieren de nutrientes para realizar su división celular y expandirse (Painter & Loveless, 1983); en muchos sistemas de lodos activados no es posible brindar condiciones idóneas para que estas bacterias se desarrollen en cultivos axénicos.(SEVIOUR, 1999).

Las fuentes de energía para el desarrollo de estas bacterias son aquellas donde se encuentre el ATP necesario para la biosíntesis conjuntamente con reacciones, así como también es necesario que se cuente con fuentes de carbono que permitan la producción de nuevos compuestos celulares (Molin & Kjelleberg, 1993). Los organismos heterótrofos necesitarán de compuestos orgánicos para metabolizarlos y los organismos autótrofos necesitan de CO<sub>2</sub> como fuente de carbono, debido a que se necesita gran cantidad de energía para producir estos compuestos orgánicos, los organismos pueden utilizar algunos de estos compuestos preformados si se encuentran disponibles (Gaval & Pernelle, 2003).

El organismo requerirá las condiciones de cultivo como pH, temperatura, disponibilidad de agua y ambiente gaseoso apropiado para ello. Los microbios tienen un rango de tolerancia para todo esto y se deben cumplir ya que si se exceden no habrá crecimiento. (Painter & Loveless, 1983; Sánchez, n.d.; SEVIOUR, 1999).

#### 4.1. Cinética del crecimiento

Los hongos filamentosos y posiblemente algunas bacterias filamentosas, encontradas en las espumas de la planta de lodos activados crecen de manera diferente (Painter, 1986). El mecanismo de crecimiento de las bacterias filamentosas no se ha logrado entender bien (Seviour, E.M., Williams, C, DeGrey, B., Sod dell, J.A, Seviour, R.J. and Lindrea, 1994) Aunque en la mayoría de las bacterias, incluidas algunas de las filamentosas, la división celular se produce por fisión binaria, proceso que se ve afectado por una amplia gama de factores. El tiempo de generación o duplicación es menor para las bacterias que para un microbio eucariota como los hongos. (SEVIOUR, 1999). El resultado final de todas estas reacciones catabólicas y anabólicas dentro de la célula la lleva a un aumento de su tamaño y posterior división celular.

Las células se pueden cultivar en laboratorio utilizando dos tipos de sistemas; el primero es cerrado o cultivo por lotes con una entrada y salida, una vez que el cultivo ha sido inoculado con células en cultivo discontinuo, el medio ambiente y por tanto la fisiología de los organismos está cambiando continuamente, esto no puede ser controlado adecuadamente y por lo tanto no son alcanzables. En este tipo de cultivo se dan los cambios en la población según la curva de crecimiento microbiano que consta de las fases de latencia, exponencial, estacionaria y por último la fase de muerte (SEVIOUR, 1999).

En cambio el cultivo abierto o cultivos continuos se pueden lograr la entrada de nuevos medios de crecimiento controlados y eliminación del medio gastado y células del vaso de crecimiento, de esta manera es posible mantener un crecimiento exponencial de una población de forma indefinida y lograr condiciones estables. (Hall et al., 2016; Li, Wu, Li, & Fu, 2016). Más comúnmente los sistemas de cultivo continuo se ejecutan como quimiostatos donde la tasa de crecimiento específico del organismo se controla mediante el control de tasa en el que el sustrato de crecimiento limitante (Por ejemplo, la fuente de carbono o nitrógeno). Se proporciona al cultivo, por tanto en un quimiostato es posible hacer crecer la población a la tasa deseada, esto proporciona un muy poderoso sistema experimental. (SEVIOUR, 1999). Se ha considerado que los sistemas de lodos activados funcionan de manera similar a los quimiostatos.

#### 4.2. Cinética de cultivos en quimiostato

Existen ecuaciones de equilibrio simples que intentan explicar aquello que podría ocurrir en un quimiostato, donde se agrega continuamente medio fresco a un recipiente que tenga un volumen constante, medio gastado y células eliminadas. Las producciones de la biomasa por el cambio neto de la densidad celular intervienen en factores como el crecimiento de las células, células perdidas por dilución y muerte celular. La tasa de dilución se verá influida por el incremento y muerte de la población, al tener valores establecidos para este parámetro se podrá conseguir el estado estacionario, siendo así el valor autorregulable. Los quimiostatos funcionan mejor con bajos valores en su tasa de dilución. (SEVIOUR, 1999).

#### 5. Control y prevención del crecimiento de microbios

El crecimiento y viabilidad de las células quizá se vea afectado por un rango de factores físicos y químicos. Algunos de estos químicos pueden matar células, pero frecuentemente no son selectivos, en otras palabras, matan células de mamíferos. Los ya conocidos desinfectantes y antisépticos, que son más utilizados para tratar objetos inanimados, como metales pesados (nitrato de plata, sulfato de cobre, halógenos como el yodo y el cloro) estos utilizados para eliminar patógenos, compuestos fenólicos y detergentes. (SEVIOUR, 1999).

Cierta cantidad de compuestos químicos tienen su modo de acción dirigida a células bacterianas, dejando a las células eucariotas intactas. Los antibióticos se dirigen exclusivamente a ciertas actividades metabólicas, como las penicilinas y cefalosporinas. La selectividad que presentan es por ser de naturaleza eucariota. (SEVIOUR, 1999)

Algunos factores físicos también suelen matar células, afectando sus tasas de crecimiento, incluimos la temperatura, pH, potencial redox, concentración de  $O_2$  y disponibilidad de agua. Los parámetros ya mencionados decidirán si los organismos pueden o no crecer en comunidades naturales incluyendo plantas de lodos activados (Gaval & Pernelle, 2003) quienes detallan mejor sus influencias, los procariotas al parecer son más resistentes ante extremos que los eucariotas, que a menudo se dañan más rápidamente.

Probablemente sea la temperatura el factor más importante para lograr un adecuado crecimiento bacteriano (Pernelle, Gaval, Cotteux, & Duchéne, 2001). En condiciones de temperaturas altas el crecimiento se dará de manera acelerada, pero si la temperatura se eleva demasiado esto puede ser letal por el hecho de desnaturalizar las enzimas y proteínas (Gaval & Pernelle, 2003). De manera similar ocurre con bajas temperaturas, es así que lo óptimo para el crecimiento es que los microorganismos se encuentren en sus

condiciones de temperatura adecuadas (SEVIOUR, 1999).

### 5.1. Las comunidades microbianas

Las plantas de lodos activados representan ecosistemas microbianos que tienden a ser lo suficientemente complejos como para desalentar a la mayoría de los ecologistas microbianos, en especial aquellos predispuestos a trabajar con cultivos puros, por lo que la metodología disponible, todavía no es adecuada para permitirnos entender cómo funciona. (R.J. SEVIOUR, 1999).

### 5.2. Los flóculos

Los flóculos están conformados por microorganismos, materia orgánica e inorgánica, y algunos diversos factores que influyen en la formación y sedimentación de los flóculos tales como, la edad de los lodos, presencia de metales, compuestos orgánicos, agentes tensoactivos, la superficie química y densidad del flóculo. (R.J. SEVIOUR, 1999).

En cuanto al excesivo crecimiento de microorganismos filamentosos donde se unen los flóculos entre sí, llega a producirse un defecto en la sedimentación del sólido a este defecto se denomina "bulking" que es el aumento de volumen de los sólidos sedimentados por compactación defectuosa. Si estos microorganismos son de naturaleza hidrofóbica, como el mycolata o el 'Microthrix parvicella' se produce la formación de espumas biológicas, fenómeno conocido como "foaming" (Yamilet Arcos A, 2013)

## 6. Métodos para estudiar poblaciones microbianas en lodo activado

### 6.1.1. Determinación de la actividad respiratoria

Las medidas respirométricas son determinaciones en los cambios que se producen con la velocidad de respiración que se da en los microorganismos presentes, estos al ser expuestos a la presencia de diferentes sustratos, en la actividad respiratoria de una muestra de barros activados, que es respuesta al agregado de un cierto sustrato, son un indicador de la presencia de microorganismos capaces de oxidar dicho sustrato, asimismo la velocidad de respiración es un indicador de la cantidad de estos microorganismos. (Edgardo Contreras, 2014).

### 6.1.2. Composición de la comunidad microbiana.

Los componentes microbianos relacionados a los flóculos se determinan sobre todo a nivel de grupo, sin llegar a género debido principalmente a la falta de precisión en la identificación. En la calidad nutricional del flóculo puede variar

substancialmente de 12 a 49 y 13 a 46% de proteína cruda y lípidos, respectivamente. Las variaciones pueden ser resultado de una diferente relación C, N, intensidades de luz, salinidad y sobretodo, de la conformación del microbiota. (Pérez Rodríguez, María, Campos, & Salgado Silva, 2013).

En la composición de la comunidad microbiana, según estudios previos en lodos activados industriales se muestra la prevalencia de filos bacterianos tales como Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes y Actinobacteria, este patrón no difiere en forma sustancial del que se encuentra en plantas de tratamiento municipales (Ibarbalz, 2016).

### 6.1.3. Manipulaciones de la comunidad microbiana en plantas de lodo activado

En el campo de la microbiología la introducción de microbios con atributos metabólicos tiene un realce en plantas de lodos activados y así mejorar su capacidad para degradar compuestos particulares.

La mayoría de los cultivos disponibles comercialmente que se han examinado fueron ineficaces en la mejora del rendimiento. En algunos laboratorios los nuevos organismos genéticamente modificados, llevan plásmidos específicos para la degradación de ciertos xenobióticos que han sido más alentadores, donde estas cepas aparentemente sobreviven en condiciones tan competitivas, siempre y cuando dependiendo de las características operativas de la planta. En el futuro para la eliminación de determinados productos químicos tóxicos en los residuos. Darán el resultado también implica que estos plásmidos pueden transferirse frecuentemente a otras bacterias presentes en plantas a escala de laboratorio, y si se demuestra que son verdaderas en plantas a gran escala, este evento genético debe aumentar enormemente la biodiversidad dentro de la comunidad de lodos activados. (R.J. SEVIOUR, 1999).

## 7. Factores que afectan la supervivencia de un microorganismo filamentosos

El sistema de fangos activados o lodos activados actúa principalmente como un sistema continuo de cultivo de biomasa, si los organismos existentes no se adaptan a las condiciones que prevalecen en el sistema es probable que mueran. A continuación, se cita los factores que afectan la capacidad del organismo para permanecer en el sistema.

### 7.1. Tasa de crecimiento

Este factor determinará la capacidad que tiene un microorganismo para competir con otras poblaciones microbianas en los reactores aerobios, así mismo la disponibilidad del sustrato puede que limite el crecimiento de organismos, y

cualquier otro factor que le afecte definirá el destino de los organismos en los lodos activados (Richard, 2003).

Esto no necesariamente ocurrirá con todos los organismos, como es el ejemplo de organismos formadores de flóculos que probablemente su cinética de crecimiento será diferente a las células suspendidas libremente, las poblaciones de bacterias mixtas es otro ejemplo de ello, ya que estudios de laboratorio mostraron que puede lograr estabilidad a largo plazo contra las predicciones del modelo (Bitton, 2005).

En los sistemas de lodos activados se aprecia en mayor número organismos quimio heterótrofos, los mismos que degradan los compuestos orgánicos carbonosos en el afluente de la planta, así como la mayoría de compuestos orgánicos presentes. Otras fuentes que requerirán los microorganismos para crecer es nitrógeno utilizable, azufre y fósforo, y cationes como  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ . Los cuales estarán presentes en el afluente, a veces en cantidades limitadas lo cual puede afectar negativamente el rendimiento de la planta especialmente con  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^{+}$  en plantas que eliminan el fósforo (Petrosanu, 2007).

## 7.2. Tolerancia a factores abióticos y toxinas

También será importante la capacidad de los organismos para tolerar las condiciones abióticas como temperatura, pH y potencial redox prevalecientes en el reactor, lo cual afectará la tasa de crecimiento. La misma importancia se debe de dar a compuestos químicos tóxicos incluyendo los metales pesados que ingresen a los tanques del sistema de lodos activados, ya que si exceden el rango de tolerancia del organismo, éste morirá. La falta de datos experimentales de estudios in situ dificulta evaluar la importancia de estos factores para determinar la composición de la comunidad de activados (Guo et al., 2014).

## 8. Factores que afectan la aparición de bacterias filamentosas en planta de lodos activados

Las bacterias filamentosas son de normal aparición en el tratamiento de aguas residuales del sistema de tratamiento por lodos activados lo más probable es que son favorables en la formación de flóculos y demás propiedades como de sedimentación que se les atribuyen. El problema con las bacterias filamentosas es cuando su proliferación se da de manera desmedida formando así abultamiento y espumación lo cual causa problemas operacionales en el sistema de tratamiento de lodos activados (Bitton, 2005).

El desarrollo de estas bacterias filamentosas en el tratamiento de aguas residuales con la tecnología de lodos activados genera serios problemas en la parte operativa, específicamente en el clarificador secundario, además que la proliferación de estas bacterias hace que se

genere mayor cantidad de espumas, natas. uno de estos problemas también es el arrastre de los sólidos al tratamiento final (Activated Sludge the Microbiology of, n.d.; Nielsen, Kragelund, Seviour, & Nielsen, 2009) esto es debido al resultado del deterioro de lodos (Adonadaga & Martienssen, 2015).

El crecimiento de la bacteria filamentosas cumple en gran medida, con los contextos de operación, como la disminución de oxígeno disuelto (OD), la relación bacteria/materia orgánica, deficiencia de nutrientes, el pH bajo, la temperatura, la carga orgánica baja, el DBO residual soluble, la constitución del agua residual y los incrementos de tiempos de retención celular.

### 8.1. Estrategias para controlar el filamento y modelar su crecimiento

La carga orgánica que llega al reactor de fangos activos tiende a ser muy baja y es donde principalmente se elimina el DQO Particulada lentamente biodegradable; en el proceso llegan a aparecer microorganismos de lento crecimiento como los autótrofos en dicho reactor que elimina el exceso de nitrógeno amoniacal mediante nitrificación. Un pre-tratamiento mediante una etapa de biopelícula, es una forma alternativa de controlar el crecimiento filamentosos que se da en lodos activados. El proceso puede operar permitiendo un ligero exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el efluente final, donde sus nutrientes son reducidos. Este proceso consiste en reducir la producción de fangos en los casos en los que se requiere una adición de nutrientes. (Cantabria & Industriales, 2018).

## Conclusiones

El conocimiento de la microbiología de los lodos activados beneficia la comprensión de la ecología microbiana y operación de las PTARs, para las perspectivas de la comunidad de microbios; Las comunidades filamentosas en lodos activados, la aplicación del conocimiento sobre la diversidad microbiana de lodos y los nuevos conceptos ecológicos es valioso para el óptimo tratamiento de lodos activados.

La identificación de microbios presentes en lodos activados y los rasgos funcionales microbianos proporcionan valiosa información, son importantes para comprender y predecir las estructuras de la comunidad microbiana y sus funciones en lodos activados.

## Referencias bibliográficas

- A, Y. A. (2014). Microbiología de lodos activados. *Microbiology of the activated sludge*, 4(2), 117–122.
- Adonadaga, M.-G., & Martienssen, M. (2015). In situ Identification of Filamentous Bacteria from Activated Sludge Wastewater Treatment Plants in Ghana. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 3(3), 75–81.
- Alvarez-Ramirez, J., Meraz, M., Monroy, O., & Velasco, A. (2002). Feedback control design for an anaerobic digestion process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater microbiology*.
- Cantabria, U. D. E., & Industriales, T. (2018). Trabajo Fin de Grado Análisis del proceso BAS para el tratamiento biológico de un efluente residual a escala laboratorio ( Analysis of the BAS process for the biological treatment of the residual effluent to laboratory scale ) Autor : Rubén Riancho López.
- Cydzik-Kwiatkowska, A., & Zielińska, M. (2016). Bacterial communities in full-scale wastewater treatment systems. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*.
- Drenovsky, R. E., Feris, K. P., Batten, K. M., & Hristova, K. (2008). *University of Notre Dame New and Current Microbiological Tools for Ecosystem Ecologists: Towards a Goal of Linking Structure and Function. Source: The American Midland Naturalist* (Vol. 160).
- Fan, N., Qi, R., Rossetti, S., Tandoi, V., Gao, Y., & Yang, M. (2017). Factors affecting the growth of *Microthrix parvicella*: Batch tests using bulking sludge as seed sludge. *Science of the Total Environment*, 609(18), 1192–1199.
- Gao, P., Xu, W., Sontag, P., Li, X., Xue, G., Liu, T., & Sun, W. (2016). Correlating microbial community compositions with environmental factors in activated sludge from four full-scale municipal wastewater treatment plants in Shanghai, China. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
- Gaval, G., & Pernelle, J. J. (2003). Impact of the repetition of oxygen deficiencies on the filamentous bacteria proliferation in activated sludge. *Water Research*, 37(9), 1991–2000.
- Grengg, C., Mittermayr, F., Ukrainczyk, N., Koraimann, G., Kienesberger, S., & Dietzel, M. (2018). Advances in concrete materials for sewer systems affected by microbial induced concrete corrosion: A review. *Water Research*.
- Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Yang, X., & Yuan, Z. (2014). Filamentous and non-filamentous bulking of activated sludge encountered under nutrients limitation or deficiency conditions. *Chemical Engineering Journal*, 255(14), 453–461.
- Hall, K. R., Herbert, M. E., Sowa, S. P., Mysorekar, S., Woznicki, S. A., Nejadhashemi, P. A., ... Hecky, R. E. (2016). Reducing current and future risks: Using climate change scenarios to test an agricultural conservation framework.
- Hashimoto, K., Tsutsui, H., Takada, K., Hamada, H., Sakai, K., Inoue, D., ... Ike, M. (2016). Changes in bacterial community structure in a full-scale membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.
- Ibarbalz, F. M. (2016). Metagenómica de lodos activados. Factores determinantes del ensamblado de comunidades bacterianas en el tratamiento de efluentes.
- Kadir, W. N. A., Lam, M. K., Uemura, Y., Lim, J. W., & Lee, K. T. (2018). Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: A review. *Energy Conversion and Management*.
- Li, F., Wu, W., Li, R., & Fu, X. (2016). Adsorption of phosphate by acid-modified fly ash and palygorskite in aqueous solution: Experimental and modeling.
- Lim, S. Y., Kim, S., Yeon, K. M., Sang, B. I., Chun, J., & Lee, C. H. (2012). Correlation between microbial community structure and biofouling in a laboratory scale membrane bioreactor with synthetic wastewater. *Desalination*.
- Milobeldzka, A., Witeska, A., & Muszyński, A. (2016). Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal. *Water Science and Technology*, 73(4), 790–797. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>
- Pérez Rodríguez, C., María, J., Campos, C., & Salgado Silva, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales con tecnologías alternativas en una pequeña unidad doméstica-productiva. *UNICIENCIA*, 27(1), 2013. Recuperado de
- Pernelle, J. J., Gaval, G., Cotteux, É., & Duchêne, P. (2001). Influence of transient substrate overloads on the proliferation of filamentous bacterial populations in an activated sludge pilot plant. *Water Research*, 35(1), 129–134.
- Petrosanu, M. (2007). Lodo activado EPISODIOS de aumento de volumen y bacterias filamentosas dominante en TRATAMIENTO DE AGUA residuos vegetales CONSTANȚA SUD ( Rumanía ), 83–88.
- Podder, M. S., & Majumder, C. B. (2016). Kinetic, mechanistic and thermodynamic studies of removal of arsenic using *Bacillus arsenicus* MTCC 4380 immobilized on surface of granular activated carbon/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composite. *Groundwater for Sustainable Development*.
- Richard, M. (2003). Michael Richard, Ph.D. Sear-Brown Fort Collins, CO. *20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference*, 1–21.
- Richard, M., Daigger, G., & Jenkins, D. (2003). *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems, 3rd Edition*.
- Sánchez, O. (n.d.). *Editor PhD Environmental Engineering Activated Sludge Processes*. Recuperado de [www.appleacademicpress.com](http://www.appleacademicpress.com)
- Shuval, I. (1973). International association on water pollution research. *Water*
- von Sperling, M. (2008). Basic principles of wastewater treatment. In I. Publishing (Ed.), *Choice Reviews Online* (p. 208). Brazil: London SW1H 0QS.
- Wan, C. Y., De Wever, H., Diels, L., Thoebe, C., Liang, J. Bin, & Huang, L. N. (2011). Biodiversity and population dynamics of microorganisms in a full-scale membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. *Water Research*.

- Wuertz, S., & Okabe, S. (2004). Microbial source tracking (MST) View project Genotype-dependent behaviors of human noroviruses in water-related environments View project.
- Zhang, B., Xu, X., & Zhu, L. (2018). Activated sludge bacterial communities of typical wastewater treatment plants: distinct genera identification and metabolic potential differential analysis. *AMB Express*.

### **Agradecimientos**

*Agradecemos al Mg.Sc René Henry Barcena Rodríguez, por inculcarnos la investigación en aguas residuales y por el tiempo dedicado a enseñarnos sus fundamentos.*

## Diseño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente a Nivel de Laboratorio Para el Tratamiento de Agua Residual Municipal en el Distrito de Guadalupe

### Design of an Upstream Anaerobic Flow Reactor for the Municipal Wastewater Treatment at Laboratory Level in the District of Guadalupe

---

Isis C. Córdova Barrios

*isiscordovabarrios@hotmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*

Pedro Córdova Mendoza

*pedrocordovamendoza@hotmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*

Teresa O. Barrios Mendoza

*lobarriosm17@yahoo.es - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*

Antonina J. García Espinoza

*garcianina40@hotmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*

Ana María Huayta Arroyo

*anamariahuayta@yahoo.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*

### Resumen

El objetivo fue diseñar y construir un reactor RAFA para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Guadalupe a escala de laboratorio. Para el diseño del reactor RAFA se usó el método tradicional o empírico, siguiendo una secuencia que consiste en proponer parámetros de partida, que en este caso fue la carga orgánica volumétrica ( $2,35 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{m}^3 \text{ d}}$ ), la concentración inicial del agua residual municipal o del sustrato ( $1 \text{ Kg DQO/m}^3$ ), el flujo de alimentación ( $0.01152 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$ ), la eficiencia de depuración asumida (85%), y el tiempo de residencia hidráulica asumido (12 horas). Con estos parámetros se calculó el volumen del reactor, que es de 5L con un diámetro de 0.12 m, una altura total de 0.60538 m, el área de la abertura del separador gas-liquido-sólido (GLS) es de  $0.03 \text{ m}^2$ , el área de la sección transversal de la campana del separador (GLS) es  $0.90 \text{ m}^2$  y su altura es de 0.075385 m con un ángulo de  $60^\circ$ . El ancho de los deflectores es de 0.0207 m y su longitud es 0.0414 m con un ángulo de  $45^\circ$ . El reactor fue construido en acrílico de 3 mm. Para poner en marcha el reactor en primer lugar se caracterizó las aguas residuales municipales del colector Laguna de Oxidación ubicado en el Parque Ecológico Golder Meir – Distrito de Salas Guadalupe.

**Palabras claves:** *Tratamiento de aguas residuales municipales, RAFA, carga orgánica volumétrica, tiempo de residencia hidráulica, biopelícula.*

## Abstract

The objective was to design and build a RAFA reactor for the treatment of municipal wastewater in the Guadalupe district on a laboratory scale. For the design of the RAFA reactor the traditional or empirical method was used, following a sequence that consists of proposing starting parameters, which in this case was the volumetric organic load ( $2.35 \text{ (Kg COD) / (m}^3 \text{ d)}$ ), the initial concentration of municipal wastewater or the substrate ( $1 \text{ kg COD / m}^3$ ), the feed flow ( $0.01152 \text{ m}^3 \text{ / d}$ ), the purification efficiency assumed (85%), and the assumed hydraulic residence time (12 hours). With these parameters the reactor volume, which is 5L with a diameter of 0.12 m, a total height of 0.60538 m, was calculated, the area of the gas-liquid-solid separator (GLS) opening is  $0.03 \text{ m}^2$ , The cross-sectional area of the separator bell (GLS) is  $0.90 \text{ m}^2$  and its height is 0.075385 m at an angle of  $60^\circ$ . The width of the baffles is 0.0207 m and its length is 0.0414 m with an angle of  $45^\circ$ . The reactor was built in 3mm acrylic. To start the reactor, the municipal wastewater of the Laguna de Oxidación collector located in the Golder Meir Ecological Park - Salas Guadalupe District was characterized.

**Keywords:** *Municipal wastewater treatment, UFA, organic load volumetry, hydraulic residence time, biofilm.*

## Introducción

Actualmente estamos viviendo la crisis más grande de todos los tiempos debido a la contaminación tanto en aire, suelo y agua. El agua residual se puede definir como la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes, tanto de residencias como instituciones públicas, plantas industriales y comerciales. La acumulación y estancamiento de aguas residuales, la descomposición de materia orgánica que contiene, pueden conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho debe añadirse la frecuente presencia de numerosos microorganismos causantes de enfermedades, que pueden estar en las plantas industriales. Esta agua puede contener componentes que actúan como nutrientes y/o compuestos tóxicos que son altamente contaminantes para un determinado ecosistema (Azimi & Zamanzadeh, 2004). Según su origen, las aguas residuales pueden clasificarse en domésticas o urbanas, industriales, agropecuarias, de origen incontrolado (vertidos ilegales, infiltraciones) y pluviales. Sin embargo, ciñéndose a los objetivos del estudio, se entiende por aguas residuales municipales a aquellas de origen doméstico, con alguna posible aportación de pluviales y/o de procedencia incontrolada (Banu, Kaliappan, & Yeom, 2007).

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las aguas residuales son 1) la demanda química de oxígeno ( $DQO$ ), que caracteriza la carga orgánica y la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica; 2) el número de coliformes totales ( $CT$ ), que indica el grado de contaminación fecal, y 3) el número de bacterias saprofitas ( $BS$ ), que indica la cantidad de microorganismos transformadores de materia en componentes más simples (Cavalcanti, van Haandel, & Lettinga, 2002).

En el Perú, el mayor número de plantas industriales que se han interesado en dar tratamiento a los residuos líquidos emplean pozas de estabilización, sin mantenimiento, ni monitoreo alguno, por lo que son completamente ineficientes, generando problemas de deterioro ambiental (Azimi & Zamanzadeh, 2004). Por ello el tratamiento de las aguas residuales es una obligación inaplazable para todos los países latinoamericanos. Sin embargo, dadas las limitaciones económicas de la región es necesario buscar

alternativas tecnológicas que garanticen efectividad, sencillez y bajo costo que permitirá desarrollar una verdadera política de control de la contaminación hídrica. Para el efecto es importante aprovechar todas aquellas experiencias de países como Colombia, México, Cuba, Brasil, entre otros.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las experiencias, podemos decir que la tecnología anaerobia y particularmente el sistema RAFA, parece constituir una solución muy apropiada para nuestra condición de país en desarrollo. Es un hecho que las tecnologías convencionales, financieramente están muy alejadas de las posibilidades de cualquier municipalidad. Mas aun cuando las ciudades capitales de región se caracterizan por tener altas tasas de crecimiento poblacional y una deficiente infraestructura sanitaria, para mencionar solo dos de los innumerables problemas que las aquejan (Collazos & Cala, 1992).

Los reactores (RAFA) han sido ampliamente usados para el tratamiento de aguas residuales de baja y alta carga orgánica, de naturaleza soluble y compleja. La operación de éstos se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan de manera continua, formando un lodo biológicamente activo dentro del reactor, siempre y cuando en el interior se tenga un buen contacto con el agua residual y un tiempo de permanencia suficiente para alcanzar una alta eficiencia en la remoción de material orgánico biodegradable. Para garantizar una buena operación de este tipo de reactores, es necesario evaluar su comportamiento hidráulico con el fin de identificar el tipo de flujo y los problemas que lo afectan (Azimi & Zamanzadeh, 2004).

Estudios realizados identificaron diferentes zonas hidráulicas en un reactor RAFA; en el lecho de lodo el flujo es tipo pistón, en el manto de lodo el comportamiento es turbulento y el flujo puede llegar a ser completamente mezclado y en la parte del sedimentador, el flujo es laminar parecido a flujo pistón. Este reactor tiene entonces un modelo de flujo pistón- mezcla completa- pistón y de una forma global, este comportamiento se inclina más hacia flujo completamente mezclado (Fabián & Chumbe, 1992).

En general en el diseño de un proceso que involucra a un RAFA se considera necesaria una etapa de

acidificación con un tiempo de retención de 6 – 24 horas, la cual puede lograrse en el mismo tanque de homogenización. Si la *DQO* es superior a 10 *g/L*, deberá considerarse la inclusión de un separador de sólidos suspendidos antes de entrar al RAFA, con el objeto de impedir la entrada de la biomasa acidogénica formada en el reactor de pre acidificación. Para evitar esto se puede diseñar el RAFA considerando el incremento de sólidos suspendidos volátiles (*SSV*) que representa esa biomasa. Si el residuo tiene una *DQO* menor de 1500 *mg/L*, generalmente el diseño es fijado por la carga hidráulica (velocidad ascendente) y para aguas más concentradas, el diseño lo impone la carga orgánica volumétrica (García & Polanco, 1995). Es por ello que el presente trabajo de investigación tiene por objetivo diseñar y construir un reactor RAFA para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Guadalupe.

### Caracterización de las Aguas Residuales Municipales

#### Toma de muestra

Se tuvo mucho cuidado al tomar la muestra ya que solo se haría el análisis en una muestra por ser muy peligroso el contenido, para la salud, y esta tenía que ser representativa. La muestra para el análisis químico y físico, se tomó en un frasco limpio e incoloro de 250 *mL*, con tapa hermética igualmente limpia. El frasco se lavó con detergente adecuado y se enjuago diez veces con agua destilada para remover cualquier residuo y olores que hubiera en ella.

La muestra tomada se guardó en un envase con hielo, para mantenerla a una temperatura de 8°C a fin de no alterar el análisis. Al momento de sacar la muestra esta se enjuago tres veces con la misma agua, se llenó completamente y se cerró inmediatamente. Enseguida, el frasco se etiqueto indicando el tipo de análisis, nombre del lugar, fecha y hora.

Para la toma se tuvo que sujetar el frasco con una cuerda formando tres lazos alrededor de ella, lo cual permitió obtener mayor profundidad y seguridad al momento de coger la muestra. La muestra *ARM* se tomó a las 7:00 horas del 03/09/14 en el colector Daniel Alcides Carrión, resultando *DQO* 518.0 *mg/L*). Los resultados de análisis de *DQO* varían según la estación y la hora de la toma. De todos los parámetros el *DQO* es el más confiable para realizar los análisis de biodegradación de la materia orgánica de las *ARM*.

#### Análisis de la demanda química de oxígeno por el método de digestión con el bioreactor y determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Agua de la FIQ-UNCP. El método de la demanda química de oxígeno (*DQO*) se empleó para medir el contenido de materia orgánica del *ARM*, ya que este parámetro determina el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. Para este análisis se usó un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido (bicromato potásico). Este ensayo se realizó a temperatura

elevada para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos. Para el análisis de determinación (*DBO*)<sub>5</sub> que consiste en un periodo de incubación, para la degradación bioquímica de la materia orgánica. Estos dos parámetros son los más usados, aplicados para la determinación de contaminación orgánica en las aguas residuales.

#### Análisis de OD, SST, SSV, pH, T, Olor y Color

Estos parámetros fueron analizados igualmente en el laboratorio de la FIQAS-UNICA. El oxígeno disuelto (*OD*) depende de la actividad física, química, y bioquímica del sistema de aguas; este análisis es una prueba clave en la contaminación del agua y el control del proceso de tratamientos de aguas residuales. El análisis de este parámetro se realizó por el método electrométrico que utiliza electrodos de membrana.

“Sólidos Totales” es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación y su consecutivo secado en la estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen “sólidos totales suspendidos”, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los “sólidos disueltos totales” o porción que pasa por el filtro. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de No Metálicos ya contaba con una mufla utilizada para secar el residuo a 105°C, que ayudo a determinar los *SST* y *SSV*.

El tipo de filtro que usamos fue el cuantitativo ya que permitía obtener mayor cantidad de residuo. El *pH* es un parámetro que frecuentemente se midió en el bioreactor para la caracterización química del *ARM*, ya que éste determina la intensidad de carácter ácido o básico de una solución. Para realizar la medición de *pH* del *ARM* se empleó el método electrométrico con cuidado ya que este instrumento es muy sensible.

La temperatura del agua se midió con un termómetro de 0 – 100°C. El olor y el sabor dependen del contacto de una sustancia estimulante con la adecuada célula receptora, estos estímulos son de naturaleza química, es por ello que el olfato y el gusto son “sentidos químicos”. El olor es un parámetro en la que no usamos ningún tipo de instrumento, solo nos guiamos por nuestros sentidos. Para el color se realizó una comparación con discos de vidrio los cuales fueron calibrados con los patrones de platino cobalto de color de agua. En la Tabla 1 se muestra los métodos y equipos que se usaron para los análisis.

Tabla 1.  
Análisis de la muestra del ARM

ANÁLISIS	MÉTODO	EQUIPO
DQO	Electrodo de Membrana	Oxímetro marca (Hach)
DBO	Espectrofotómetro de reflujó abierto.	Espectrofotómetro, rango (400-1100nm)
SST	Gravimétrico	Mufla para le desecación a 180°C
SSV	Gravimétrico	Mufla para le desecación a 180°C
pH	Electrométrico.	Medidor de pH,(0.0–14.0 unidades)
T	Medición directa	Termómetro (0– 100°C)
COLOR	Comparación visual	-----
OLOR	Organoléptico	-----

Nota. Elaboración propia.

## DISEÑO DEL REACTOR RAFA

Para diseñar un reactor biológico RAFA se ha seguido una secuencia que consiste en proponer los parámetros de diseño que en este caso fue la carga orgánica volumétrica, la concentración inicial del agua residual municipal o del sustrato, el flujo de alimentación, la eficiencia con que se debe trabajar el reactor, y la determinación del tiempo de residencia hidráulica, para luego ver si esta se encuentra dentro del rango de operación.

### Determinación de los parámetros de alimentación

#### a) Carga orgánica volumétrica (B<sub>v</sub>)

Teniendo en cuenta la concentración tan variable del agua residual municipal, se tomó como base de cálculo para el diseño 2.5 kgDQO/m<sup>3</sup> basados en la literatura.

$$B_v = 2.35 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{m}^3 \text{ d}} \quad (1)$$

#### b) Flujo de alimentación (Q)

El flujo de alimentación a nivel laboratorio que se propone es:

$$Q = 0.01152 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \quad (2)$$

#### c) Eficiencia de depuración

La eficiencia de depuración asumida para el presente diseño fue del 85%

$$\eta = 0.85 \quad (3)$$

#### d) Tiempo de residencia hidráulica (THR)

El tiempo de residencia hidráulica asumida es de 12 horas.

#### e) Concentración inicial del sustrato (S<sub>0</sub>)

La concentración inicial del sustrato determinada es de 1 Kg DQO/m<sup>3</sup>. Los resultados del diseño del reactor RAFA se han realizado con la metodología propuesta, los resultados de las especificaciones y dimensionamiento se presentan en la tabla 2.

Tabla 2.  
Resumen del Dimensionamiento del Reactor RAFA

CARACTERISTICAS	DIMENSIONAMIENTO	
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN
Volumen del reactor (mL)	4900	5000
Área del reactor (m <sup>2</sup> )	0.011	0.011
diámetro del reactor (m)	0.12	0.12
altura del reactor (m)	0.53	0.53
altura total del reactor (m)	0.605	0.61
Área de la abertura del separador (GLS) (m <sup>2</sup> )	0.03	0.03
Área de la sección transversal de la campana del separador (GLS) (m <sup>2</sup> )	0.9	0.9
Ancho de la abertura del separador (GLS) (m)	0.026	0.03
Angulo de inclinación de la campana del separador (GLS)	60°	60°
Altura de la campana del separador GLS (m)	0.075	0.08
Traslapo (m)	0.0124	0.012
Ancho de los deflectores (m)	0.0207	0.02
Longitud de los deflectores (m)	0.0414	0.04
Angulo de inclinación de los deflectores	45°	45°

Nota. Elaboración propia

La diferencia entre el dimensionamiento y la construcción del reactor ha sido mínimo, por ejemplo, el dimensionamiento del volumen del reactor con respecto a la construcción tuvo un margen de error de 2%, este margen de error que fue mínimo, nos dio la confiabilidad de nuestro diseño.

## PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR

### a) Procedencia y adaptación del lodo

*Procedencia del Lodo.* El lodo fue obtenido de la planta de tratamiento DOE RUN – PERU ubicado en la provincia de la Oroya, esto con la finalidad de que se adapten mejor y en el menor tiempo posible para biodegradar la materia orgánica del agua residual municipal. El lodo, que era de color marrón, fue obtenido el 14 de enero del 2014; y trasladado hasta la FIAS-UNICA, conservándose a 4°C hasta su adaptación.

*Adaptación del lodo anaerobio.* La adaptación de la biomasa se logró alimentando agua residual municipal al reactor por 14 días a un flujo constante y a temperatura ambiente, luego se colocó en un sistema de calefacción a una temperatura de 35°C por 72 días, en este caso el *pH* es constante pero el flujo fue variando.

### b) Puesta en marcha del reactor

La instalación del reactor y sus componentes se inició introduciendo agua para verificar si tiene alguna fuga, se revisó las soldaduras que tiene y se selló algunas que estaban abiertas. Se dejó el reactor con agua por 3 días para comprobar que ya no existía fuga de agua. Al término de esta operación se procedió a instalar las mangueras y el tanque de alimentación para realizar las pruebas y poder alimentar al flujo de operación deseada. Después del arranque, este permaneció vigilado por varias horas para asegurar que las distribuciones estén funcionando apropiadamente.

### c) Instalación del reactor y sus componentes

Antes del arranque la instrumentación y energía suministrada deben ser chequeadas. Al término de la revisión se procedió a instalar todo el sistema completo, es decir el sistema de calefacción, mangueras, tanque de alimentación para poder realizar en primer lugar la adaptación de lodo, segundo, la alimentación del sustrato real (agua residual).

### d) Prueba Hidráulica del Sistema

Una vez instalado todo el sistema, se procedió a realizar la prueba hidráulica que consistió en hacer circular agua por todo el sistema para comprobar si existe alguna fuga ya sea por las mangueras, por el reactor mismo y también poder comprobar el funcionamiento del sistema de calefacción.



Figura 1. Prueba hidráulica del reactor RAFA

### e) Toma de muestra del agua residual

El agua residual fue extraída del colector del Distrito de Guadalupe que se encuentra ubicado en la ribera. El agua residual para la alimentación del reactor se recogió en 2 baldes de 18 L cada dos días durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.



Figura 2. Toma de muestra del ARM del colector del distrito de Salas Guadalupe

**f) Puesta en marcha del reactor continuo**

La puesta en marcha del reactor continuo se inició adicionando el inculo que viene a ser la mezcla de lodo (color marrón) y agua residual (la cual se obtuvo agua residual municipal en el distrito de Guadalupe). El inculo adicionado al reactor fue el 23% del volumen total, equivalente a 1,130.4 ml el resto fue agua residual haciendo un total de 5,000 ml. Se alimentó el reactor con agua residual del colector del distrito de Guadalupe por 95 días de los cuales, 14 días el reactor estuvo a una temperatura ambiente, donde la biomasa cambio de color marrón a marrón oscuro); y 78 días a 350 días, donde el reactor se colocó en un sistema de calefacción para mantener esta temperatura constante, el color de biomasa torno de marrón oscuro a negro y después de negro a negro intenso, también se observó la presencia de nata en la zona de separación GSL del reactor, lo cual indica que el reactor está funcionando adecuadamente.



Figura 3. Puesta en marcha del reactor RAFA a temperatura ambiente



Figura 4: Puesta en marcha del reactor RAFA a 35°C

**Resultados y discusión**

Se realizaron en total cuatro experimentos (Gutiérrez-Pulido & De la Vara-Salazar, 2008), cuyos resultados se presentan a continuación:

**Resultados del primer experimento**

Después del periodo de adaptación de 53 días de la biomasa, analizamos el afluente y el efluente para comprobar que la biodegradación de la materia orgánica se esté realizando en el reactor con un TRH de 12 horas. En la figura 5 se puede distinguir que la concentración de DQO disminuye más en los primeros días, obteniendo una eficiencia del 80.76%.

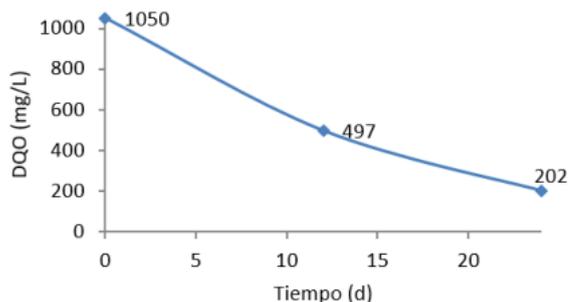


Figura 5. Biodegradación de la Materia Orgánica en 24 días

Es por ello que en el segundo experimento se programó cada 24 horas por 2 días.

**Resultados del segundo experimento**

El afluente a tratar en el reactor se tomó del colector Daniel Alcides Carrión al cual se le realizó su respectivo análisis, dando un resultado de 945 mg DQO/L.

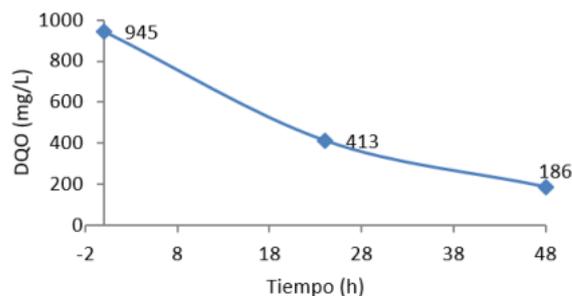


Figura 6. Biodegradación de la materia orgánica en 48 horas

En la figura 6 se puede distinguir que la concentración de DQO disminuye más en las primeras horas, obteniendo una eficiencia del 82.11%.

**Resultados del tercer experimento**

El afluente a tratar en el reactor se tomó del colector Daniel Alcides Carrión al cual se le realizó su respectivo análisis, dando un resultado de 1,025 mg DQO/L. Este experimento se ha realizado durante 21 horas, con una toma de muestra durante un intervalo de tiempo de 3 horas, en un total de ocho muestras.

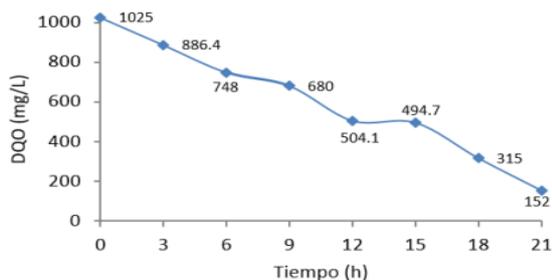


Figura 7. Biodegradación de la materia orgánica en 21 horas

Como se puede observar en la figura 7 se logró una eficiencia de biodegradación de 85.17%. En un tiempo de 12 horas la eficiencia del reactor arrojó 50.81%, con este resultado decidimos muestrear en menor tiempo de biodegradación para determinar la remoción con mayor precisión y exactitud.

**Resultados del cuarto experimento**

En vista que el afluente se fue consumiendo, se procedió a alimentar con una nueva muestra que se tomó del colector Daniel Alcides Carrión, al que se le realizó su respectivo análisis, dándonos un resultado de 1,013 mgDQO/L. Este experimento se ha realizado durante 14 horas, con una toma de muestra durante un intervalo de tiempo de 2 horas, en total de ocho muestras. El DQO inicial no varía mucho con respecto al primer experimento. En este experimento se logró obtener un porcentaje de remoción de 88.94%, lo que indica que conforme va transcurriendo el tiempo desde la puesta en marcha del reactor se van adaptando mejor las bacterias para biodegradar la materia orgánica del agua residual municipal.

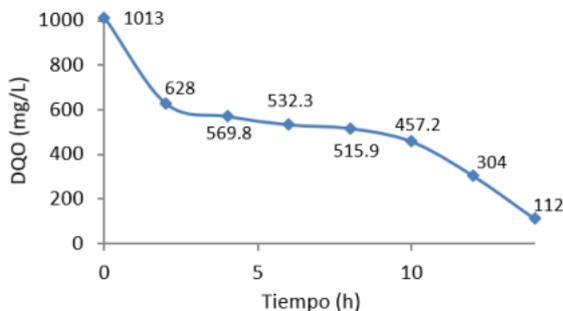


Figura 8. Biodegradación de la materia orgánica en 14 horas

Cabe recalcar que en tan solo 2 horas la eficiencia de remoción es de 38 %, a partir de este momento se mantiene casi constante, lo que nos indica que el reactor está trabajando adecuadamente.

**Conclusiones**

Se caracterizó las aguas residuales municipales del colector Daniel Alcides Carrión La Ribera – Guadalupe, dando como resultado la DBO<sub>5</sub> de 412.0 mg/L, DQO de 518.0 mg/L, OD de 0.16mg/L, pH de 6.8, SSV de 85 mg/L y SST de 289 mg/L.

Se ha diseñado el reactor RAFA a escala de laboratorio con un volumen de 4,900 mL para la biodegradación de la materia orgánica. El reactor tiene una geometría cilíndrica cuyo diámetro interno es de 0.12 m, una altura total de 0.60538 m, el área de la abertura del separador gas-liquido-sólido (GLS) es de 0.03 m<sup>2</sup>, el área de la sección transversal de la campana del separador (GLS) es 0.90 m<sup>2</sup> y su altura es de 0.075385 m con un ángulo de 60°. El ancho de los deflectores es de 0.0207 m y su longitud es 0.0414m con un ángulo de 45°.

El reactor diseñado fue construido con material acrílico de 3 mm y 6 mm con las características de diseño. Su construcción no tuvo mucha variación con respecto al dimensionamiento de diseño, pues solo tuvo un margen de error entre 1 a 2 %.

El tiempo de residencia hidráulica en el reactor es de 12 horas, lo que implica que el volumen de diseño no tendrá problemas para trabajar con otras cargas orgánicas.

La eficiencia de biodegradación de la materia orgánica final del experimento es de 77.29%

### Referencias bibliográficas

- Azimi A. and Zamanzadeh M., "Determination of design criteria for RAFA reactors as a wastewater pretreatment system in tropical small communities", *Journal Environmental Science Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 51-57, 2004.
- Banu J. R.; Kaliappan S.; Yeom I. T., "Treatment of domestic wastewater using upflow anaerobic sludge blanket reactor", *Journal Environmental Science Technology*, 4 (3): 363-370, 2007.
- Cavalcanti P. F. F., Van Haandel A. and Lettinga G., "Influence of the phase separator design on the performance of the RAFA reactor and on excess sludge production", Federal University of Campina Grande, Brazil, 2008.
- Collazos, C.J. y Cala J.M. "PTAR 'Rio Frio': RAFA más laguna facultativa exitosa aplicación en Colombia. Trabajo presentado en el VIII congreso nacional de ingeniería sanitaria y ambiental, SMISAAC, Cocoyoc, Morelos, México. 1992
- Fabián L., R.; Chumbe S., R., M. Diseño de un Reactor Anaerobio Tipo Filtro Para el tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química. UNCP. Guadalupe-Perú. 87 p. 2003.
- García E., P.; Polanco F. "Filtro anaerobio. Grupo Biotecnología Ambiental". España. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Valladolid .Editorial Reverte. 1995.
- Gutiérrez P., H.; De la Vara S., R. Análisis y Diseño de Experimentos. México. Segunda Edición. Editorial MC Graw Hill Interamericana Editores S.A. 545p. 2008.

## Determinación de las características Físico Químicas y Microbiológicas de las Aguas de las principales fuentes de consumo en la Región Puno

### Determination of the Physic- Chemical and Microbiological characteristics in Waters of the main sources of consumption in Puno Region

---

José Luis Pineda Tapia

*jpineda@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*

Dany Coaquira Mamani

*coaquira.dany@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca*

Lisbeth Carina Coaquira Huacani

*lisbethcarina2010@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca*

Diego Wilman De La Cruz Paredes

*delacruzpdw@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca*

Maribel Jara Mamani

*501.maribel.mamani@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca*

#### Resumen

En este artículo se reporta los resultados de la determinación microbiológica, físico química y de metales (Ca, K, Fe, Mn, Mg), en muestras de aguas tomadas en 24 puntos de captación para abastecimiento de las principales provincias de la región Puno, para lo cual se definió una red de monitoreo, tomando como base la limitación política y el posicionamiento global, se midieron 16 parámetros, observándose que los parámetros de campo como temperatura, oxígeno disuelto y pH, están en un rango de (5.30-20.50) °C, (2.43 – 8.06) mg/L, (6.37 – 8.75) pH respectivamente. Por otro lado en cuanto a la conductividad el 16% de las muestras superan los ECAs, llegando a picos superiores de 1538  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el distrito de Puno (PP-01), con un máximo de 1858.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en Yunguyo (YY-01) y el mínimo en Sandía (SS-01) con 20.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La turbidez máxima, se registró en la ciudad de Juliaca, 54.70 UNT, otros parámetros como  $\text{NO}_3^{2-}$  no exceden los LMP, en la región. La presencia de Coliformes Totales y Coliformes Fecales se registró en los puntos SS-01 (Sandía) y SJ (Juliaca). Las concentraciones de Ca en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 superan los 60 mg/L; mientras que las aguas de Juli, Puno 02, Juliaca, Moho y Sandía están por debajo de 20 mg/L. Así mismo el Mg presenta concentraciones superiores a los 30 mg/L en Yunguyo 01 y Puno 01, en tanto que en Moho, Juli y Sandía, no superan los 3 mg/L, la muestra de llave 02 sobrepasa los 0.4 mg/L (valor establecido); mientras tanto, muestras como las de Macusani, Putina y Sandía están bajo los límites de detección del equipo. En cuanto a Fe, las muestras de llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca y Lampa sobrepasan los 0.3 mg/L, concentración que está dentro de los ECA y límites de la OMS. Por otro lado, la muestra de Ayaviri 01 presenta concentraciones mínimas (< límites de detección equipo). En este artículo se reporta y discute todos los parámetros determinados en estas captaciones.

**Palabras claves:** *Análisis de agua, fisicoquímicas, microbiológicas, metales, espectroscopia de absorción atómica.*

## Abstract

This article reports the results of the microbiological, chemical, physical and metal determination (Ca, K, Fe, Mn, Mg), in water samples taken from 24 collecting points to supply the main provinces in Puno region, for which a monitoring network has been defined. Based on political limitation and global positioning, 16 parameters have been measured, observing that the field parameters such as temperature, dissolved oxygen and pH, are in a range of (5.30-20.50) ° C, (2.43 - 8.06) mg / L, (6.37 - 8.75) pH respectively. On the other hand, in terms of conductivity, 16% of the samples exceed the RCTs, reaching peaks higher than 1538  $\mu\text{S} / \text{cm}$  in the district of Puno (PP-01); with a maximum of 1858.7  $\mu\text{S} / \text{cm}$  in Yunguyo (YY-01), and the minimum in Sandia (SS-01) with 20.9  $\mu\text{S} / \text{cm}$ . The maximum turbidity was recorded in the city of Juliaca, 54.70 UNT, other parameters such as NO<sub>3</sub><sup>-</sup> do not exceed the LMP, in the region. The presence of Total Coliforms and Fecal Coliforms was recorded at points SS-01 (Sandia) and SJ (Juliaca). The concentrations of Ca in Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani and Putina 01 exceed 60 mg / L; while the waters of Juli, Puno 02, Juliaca, Moho and Sandia are below 20 mg / L. Likewise, Mg has concentrations higher than 30 mg / L in Yunguyo 01 and Puno 01, while in Moho, Juli and Sandia, they do not exceed 3 mg / L, the llave 02 sample exceeds 0.4 mg / L ( set value); Meanwhile, samples such as those in Macusani, Putina and Sandia are below the detection limits of the equipment. As for Fe, the samples in llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca and Lampa exceed 0.3 mg / L, concentration that is within the RCTs and limits of the WHO. On the other hand, the sample in Ayaviri 01 has minimal concentrations (<detection limits equipment). This article reports and discusses all the parameters determined in these catchments.

**Keywords:** *Water analysis, physicochemical, microbiological, metals, atomic absorption spectroscopy.*

## Introducción

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible (Ley N°29338), su disponibilidad ha sido el factor más crítico para la supervivencia durante el desarrollo de toda forma viva en el planeta (Signor y Ashbolt, 2009). Si bien la superficie de nuestro planeta en su mayor parte es agua, pero solo un 3% de ella es dulce, la cual se encuentra en su mayor parte en la forma de casquetes de hielo y glaciares, y solo una mínima parte en agua superficial fácilmente accesible, en los ríos, lagos y subterránea (Hopkins, 1998).

Las características físicas, químicas y biológicas del agua determinan su calidad, tales características pueden ser modificadas por procesos naturales o antrópicos (Lima y Mazari). Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural –MON–) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Torres, Cruz y Patiño, 2009). Otra de principales fuentes que suministran agua para consumo humano son los acuíferos, los cuales son formaciones geológicas que almacenan agua y actúan como depósito y reserva (Price 2007), la calidad del agua subterránea es una de las menos estudiadas; específicamente se conoce poco de los aspectos microbiológicos de la contaminación que ocurre en este ambiente en comparación con las aguas superficiales, principalmente debido a la creencia de que este tipo de agua es esencialmente limpia por la acción filtrante

del medio poroso por el cual pasa el agua (Gerba y Bitton 1984, Zoller 1994).

La calidad del agua es un indicador confiable para determinar la salud de la población, porque cuando las aguas servidas son dispuestas en ríos, lagunas y quebradas, afectan su composición y la contaminación microbiana que ésta contiene es ingerida por las personas causando brotes epidemiológicos de enfermedades gastrointestinales, si no es tratada con rigor (Agudelo, 2005). En la mayoría de países en desarrollo, el riesgo microbiológico es bastante marcado, principalmente asociado a un inadecuado saneamiento, lo que se ratifica en la Agenda 21 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo que afirma que aproximadamente 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en estos países tienen por causa el consumo de agua contaminada y hasta una décima parte del tiempo productivo de las personas se dedica a enfermedades relacionadas con agua (OPS/CEPIS, 2002). Según la Organización Mundial de la Salud, 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales se asocian con una tercera parte de las defunciones causadas por el uso y consumo de agua insalubre. La Organización también reconoce que sólo 41% de la población mundial consume agua purificada y desinfectada para ser considerada "segura" (Higuera et al., 2000). Las enfermedades transmitidas por el agua son de distribución mundial, causantes de epidemias tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo. Son una de las principales razones de los 4 mil millones de casos de diarrea, que causan anualmente 1,6 millones de muertes en el mundo. Como agravante es responsable del 21% de muertes en niños menores de cinco años de edad (Neira-Munoz E, Okoro C, McCarthy ND; 2007).

En la "Reunión Internacional sobre la Calidad del Agua", realizada en Lima-Perú, en 1996, en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, (OPS/CEPIS), una de las recomendaciones fue que los países de la Región desarrollaran

programas de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.

### Fundamento

La vigilancia y control del agua para consumo humano está definida como la “evaluación y examen, de forma continua y vigilante, desde el punto de vista de la Salud Pública, de la inocuidad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo” (OMS, 2011). Frente a esta situación, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano en las principales provincias de la región de Puno y su relación con la presentación de enfermedades digestivas agudas, empleando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para a posteriori contrastar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para aguas (ECA's) de marcados por la legislación peruana.

### Normativa y estándares del agua

Mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, el Ministerio del Ambiente (MINAM), en coordinación con todos los sectores gubernamentales, aprobó los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA de Agua); así como las disposiciones para su aplicación. Desde la Ley de Aguas (Decreto Ley N° 17752 de 1969) y luego con la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338 del año 2009); se señala que los ECA de Agua deben fijarse en función a las categorías determinadas en relación al uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua.

El monitoreo de calidad del agua en cuerpos naturales se ha venido realizando en el país por requerimiento de las autoridades ambientales sectoriales del Estado. Por esa razón las instituciones públicas han venido monitoreando con fines diversos la calidad de los cuerpos de aguas naturales y los efluentes a través de diversos criterios y metodologías establecidas en los protocolos de monitoreo de la calidad de agua.

Para regular la calidad del agua nace dentro del marco de ordenamiento de la gestión ambiental del país, uno de los aspectos principales es el establecimiento de Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo a las exigencias y orientaciones ambientales actuales, la que se sustenta en el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles aprobado mediante Decreto Supremo N° 04498-PCM, promulgado el 11 de noviembre de 1998. Este documento establece la conformación del Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua – GESTA AGUA Integrado por representantes de las instituciones de los sectores público y privado; quienes tienen el encargo de realizar el estudio y elaborar el anteproyecto de Estándares de Calidad Ambiental de Agua.

La estrategia de implementación de los Estándares de Calidad Ambiental, para el caso de los recursos hídricos (ECA-AGUA), se sustenta en la normativa nacional.

El GESTA AGUA, fue instalado en la primera sesión efectuada el 16 de Junio de 1999, en cumplimiento de la Resolución Presidencial N° 25-99-CONAM. El grupo tenía como misión de proponer los valores, metodologías de muestreo y análisis, así como la lista de sustancias prioritarias a ser controladas, las estrategias de gestión a seguir para su implementación y cumplimiento, y el plan de acción a largo plazo.

### Materiales y Métodos

#### Campo

Previo planificación se realizó la validación in-situ de los puntos de monitoreo, con apoyo del personal encargado de la captación de agua considerando la zona de muestreo, los lugares de acceso correspondientes y la codificación correspondiente en cada provincia de acuerdo al protocolo nacional para el monitoreo (ANA, 2016).



Figura 1. Puntos de Muestreo de la zona sur y norte  
Nota. Elaboración propia.

Se realizó la identificación del punto mediante el sistema de posicionamiento global (GPS-MAP 64S GARMIN de procedencia americana) en coordenadas universal transversal de mercator (UTM), estableciéndose una red de 24 puntos de monitoreo en las trece provincias y algunas ciudades principales, 10 al norte y 14 al sur de la región de Puno; teniendo puntos de monitoreo como: fuentes de captación (ríos, riachuelos, manantiales y galerías filtrantes), reservorios y puntos de referencia (consumo de la población), como se muestra en la figura 1.

La toma de muestra se realizó mediante un muestreo manual simple o puntual, cuyo volumen de muestra fue de 1000mL para los parámetros fisicoquímicos, 1000mL en para los parámetros microbiológicos y 500mL para la determinación de metales pesados;

considerando el etiquetado y la cadena de custodia, las muestras mantenidas a ( $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) se trasladaron en un cooler a los laboratorios de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca. Se consideró frascos de plástico para la determinación de parámetros fisicoquímicos y metales, así como frascos de vidrio previamente esterilizados para la determinación de parámetros microbiológicos. Las muestras para la determinación de 5 metales fueron tratadas con Ácido Nítrico al 37% procedencia Merk para su preservación como sugiere en métodos estandarizados: 1060 C. según APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

### Análisis Microbiológico

Primeramente, se prepararon los medios de cultivo: el caldo m FC, para lo cual se suspendiendo 37.1 g del agar en 1 L de agua destilada añadiendo 10 mL de Ácido Rosólico al 1% en una solución de Sodio Hidróxido 0.2 N, luego se calentó y agitó hasta ebullición y posteriormente se vertió en las placas de Petri. Por otro lado el caldo m Endo se preparó mediante la suspensión de 36 g del agar en 1 L de agua destilada que contenía 4 mL de etanol al 96% y se hirvió hasta disolución total. Colocando al final en las placas de Petri.

Las muestras de agua fueron transportadas al laboratorio y analizadas dentro de las 3 – 6 horas. Para todas las muestras, 100 mL fueron filtrados a través de membranas de nitrocelulosa de 45  $\mu\text{m}$  de diámetro utilizando una unidad de filtración de membrana y una bomba de vacío. Estas membranas se colocaron asépticamente en placas de Petri que contenían los medios selectivos mencionados anteriormente, tales como caldo m FC y caldo m Endo. Las placas se incubaron a  $35^{\circ}\text{C}$ , excepto el agar m FC que se incubaron a  $45^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Se enumeraron colonias azules de agar m FC (presuntos coliformes), colonias de brillo metálico de agar m Endo (presuntos CT). Los resultados para CF y CT se expresaron como número de unidades formadoras de colonias por 100 mL de agua (Mulamattathil, Bezuidenhout, & Mbewe, 2015)

### Análisis físico químico

El pH, la temperatura y el oxígeno disuelto se midieron in situ utilizando instrumentos estándar (potenciómetro Hanna INSTRUMENTS HI 98190, Medidor de Oxígeno Disuelto Extech instruments ExStik DO 600) (Yasin, Ketema, & Bacha, 2015), mientras que otros parámetros fisicoquímicos como: la turbidez y la conductividad eléctrica fueron medidos en el laboratorio mediante un Turbidímetro LOVIBOND TB 210 IR y un Conductímetro SI-analytics LAB 945 como se sugiere en métodos estandarizados 2130 B y 2510 B; mientras que los sólidos totales (ST), los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos disueltos totales (TDS) fueron determinados según los métodos normalizados de APHA (2540 B, 2540 D y 2540 C). Por último la concentración de nitrato se midió en el laboratorio mediante un Espectrofotómetro UV/visible de doble haz SQ-4802 según lo dice el método normalizado 4500 de APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

### Determinación de Metales

Previamente se prepararon y se halló la absorbancia de cuatro concentraciones conocidas del metal muy diluidos a partir de las soluciones patrón<sup>1</sup> en agua con una matriz similar a la de la muestra y adicionalmente un blanco que consistía en agua ultra pura, estas soluciones horquillaban la concentración de muestra esperada y estaban dentro del intervalo de trabajo del equipo, con estos datos se generó una curva de calibración.

Luego las muestras de agua se analizaron para detectar la presencia de metales utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de técnica de Flama novAA 400 p de la marca Analytic Jena de procedencia alemana. con llama de aire-óxido nítrico para calcio y llama de aire-acetileno para manganeso, magnesio, potasio y hierro; tal como lo sugieren los métodos estandarizados 3111 D y 3111 B respectivamente según APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

- Estándar de Calcio (1000 mg / L) para absorción atómica:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  en  $\text{HNO}_3$  al 0.5 mol / L
- Estándar de Magnesio (1000 mg / L) para absorción atómica:  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  en  $\text{HNO}_3$  al 0.5 mol / L
- Estándar de Manganeso (1000 mg / L) para absorción atómica:  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$  en  $\text{HNO}_3$  al 0.5 mol / L
- Estándar de Hierro (1000 mg / L) para absorción atómica:  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  en  $\text{HNO}_3$  al 2%
- Estándar de Potasio (1000 mg / L) para absorción atómica:  $\text{KNO}_3$  en  $\text{HNO}_3$  al 0.5 mol / L

## Resultados y discusión

La red de monitoreo para el muestreo y análisis correspondiente comprende 24 puntos, como se indica en la Tabla 1, considerando el código de monitoreo, la descripción, ubicación política y finalmente la ubicación de acuerdo al sistema de posicionamiento global, en la zona 19 sur.

Tabla 1.

Red de monitoreo para el análisis de agua

CODIGO DE MONITOREO	DESCRIPCIÓN ORIGEN/ UBICACIÓN	DISTRITO	PROVINCIA	COORD _ESTE	COORD _NORTE
CI-01	Rio llave			432479	8221521
CI-02	Puente llave	llave	El Collao	432236	8220854
CI-03	Reservorio Nuevo			431054	8219731
CJ-01	Manantial Hancohake			448533	8199163
CJ-02	Manantial Nayrahake	Juli	Chucuito	452506	8206382
CJ-03	Manantial Piluma			451575	8206933
CD-01	Pozo Subterráneo, carretera a Desaguadero	Desaguadero	Chucuito	493465	8171266
CD-02	Pozo Subterráneo, carretera a Desaguadero			495675	8169359
YY-01	Lago Wiñaymarca			491047	8202700
YY-02	Rio Choquechaca	Yunguyo	Yunguyo	487160	8198584
YY-03	Manantial Humajaslo			487197	8198597
PP-01	Chimu	Puno	Puno	396995	8247276
PP-02	Totorani			381203	8251868
SJ-01	Rio Coata	Juliaca	San Roman	381320	8289695
LL-01	Cámara de reunión	Lampa	Lampa	352633	8301066
MA-01	Captación Punko Punko	Ayaviri	Melgar	331266	8358911
MA-02	Captación Río Ayaviri			328356	8353073
HH-01	Captación Cuyuraya	Huancané	Huancané	416803	8326136
MM-01	Reservorio	Moho	Moho	446313	8302246
AA-01	Galerías Filtrantes	Azángaro	Azángaro	372086	8352318
CM-01	Captación Manantial	Macusani	Carabaya	350798	8435579
SP-01	Reservorio Peñon	Putina		406063	8351088
SP-02	Reservorio Bellavista		San Antonio de Putina	406063	8351088
SS-01	Quebrada	Sandia	Sandia	449282	8416722

Nota. Elaboración propia a partir de los viajes de validación con ayuda de sistema de posicionamiento global (GPS)

Los resultados después del análisis de media para los 16 parámetros analizados tanto en campo y laboratorio, de acuerdo a la red de monitoreo correspondiente a la investigación, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.  
Resultados generales de los parámetros analizados

COD_CAM	T (°C)	OD (mg/L)	pH	Turb (UNT)	Cond (μS/cm)	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	CT (UFC/100mL)	CF (UFC/100mL)	NIT (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)
CI-01	14.30	5.40	6.44	1.98	429.00	366.67	17.87	380.00	107.33	71.33	0.57	29.32	6.14	0.15	0.52	4.84
CI-02	13.50	4.37	6.80	0.36	630.33	306.67	18.53	320.00	1.00	0.33	0.43	51.55	7.57	0.48	0.48	5.77
CI-03	15.50	5.97	6.82	1.32	515.67	281.67	25.97	306.67	9.00	0.33	0.88	44.76	7.76	0.09	0.46	6.25
CJ-01	11.60	6.37	6.56	0.17	131.70	115.00	14.97	133.33	1.33	0.33	0.24	11.39	1.37	0.04	0.42	4.26
CJ-02	14.10	6.84	6.50	0.44	46.33	71.67	50.53	118.33	28.67	9.00	0.32	4.40	0.33	0.07	0.45	1.24
CJ-03	13.00	6.22	6.57	3.15	44.93	43.33	8.77	51.67	4.67	0.67	0.41	2.61	0.23	0.13	0.50	1.06
CD-01	16.12	5.77	6.40	0.75	693.33	470.00	25.10	506.67	0.67	0.00	1.88	68.46	4.52	0.11	0.18	6.95
CD-02	15.90	5.25	6.70	0.47	693.67	853.33	26.40	876.67	10.67	1.00	2.82	121.17	4.04	0.03	0.11	1.04
YY-01	19.00	5.56	7.24	0.66	1858.67	1090.00	21.50	1130.00	0.67	0.00	0.65	73.54	39.38	0.03	0.19	18.15
YY-02	18.80	4.90	6.94	1.24	41.70	53.33	29.87	90.00	10.00	5.33	1.86	32.31	1.01	0.04	0.55	2.27
YY-03	12.10	5.63	6.70	0.33	50.07	70.00	1.47	100.00	0.00	0.00	0.90	36.42	0.35	0.02	0.06	4.80
PP-01	15.70	4.64	6.83	5.71	1538.33	900.00	17.97	936.67	4.00	1.67	0.34	43.61	34.51	0.03	0.24	12.93
PP-02	15.00	8.06	8.75	2.41	76.63	53.33	11.60	90.00	74.00	28.00	1.33	9.63	3.14	0.01	0.58	2.21
SJ-01	13.60	4.85	7.14	54.70	177.13	103.33	66.77	143.33	143.00	111.67	1.17	15.90	2.47	0.14	0.40	2.63
LL-01	11.55	2.43	6.59	0.86	157.37	53.33	33.33	86.67	0.00	0.00	0.18	34.21	3.00	0.07	0.32	2.99
MA-01	5.30	4.77	6.43	0.29	173.27	90.00	20.00	100.00	81.33	36.00	0.02	34.37	10.82	0.08	0.00	0.93
MA-02	7.75	2.94	6.79	2.49	734.33	463.33	40.00	530.00	116.00	47.67	1.53	144.08	14.83	0.22	0.25	6.16
HH-01	20.50	5.15	7.56	0.80	190.87	133.33	10.00	110.00	3.00	0.00	0.64	36.60	5.98	0.01	0.07	3.78
MM-01	13.10	3.49	6.23	0.15	47.80	30.00	25.00	56.67	2.33	0.00	0.18	11.24	2.11	0.07	0.11	2.70
AA-01	13.00	2.60	7.42	0.47	662.33	430.00	23.33	396.67	0.33	0.33	0.12	83.34	14.07	0.06	0.28	5.81
CM-01	15.20	4.05	7.61	0.33	303.00	156.67	0.00	153.33	1.00	0.00	0.29	72.02	16.98	0.00	0.11	1.11
SP-01	11.20	3.68	7.17	1.80	558.00	380.00	16.67	390.00	112.00	0.00	0.27	118.13	14.56	0.00	0.14	1.61
SP-02	12.30	4.49	7.58	0.42	49.83	56.67	20.00	80.00	0.00	0.00	0.40	9.16	0.97	0.00	0.13	1.56
SS-01	12.30	4.54	6.89	0.28	20.93	36.67	26.67	40.00	160.33	3.00	0.09	3.72	0.58	0.00	0.18	0.17

Nota. Elaboración propia, a partir de resultados de análisis de media.

\* COD\_CAM: código de campo, T: temperatura, OD: oxígeno disuelto, pH: potencial de hidrogeniones, Turb: turbiedad, Cond: conductividad, SDT: sólidos disueltos totales, SST: sólidos suspendidos totales, CT: coliformes totales, CF: coliformes fecales, NIT: nitratos, Ca: calcio total, Mg: magnesio total, Mn: manganeso total, Fe: hierro total, K: potasio total

## Análisis de resultados

### Parámetros analizados en campo

Como se observa en los Figura 2, los parámetros de campo como temperatura, oxígeno disuelto y pH, como datos referenciales en la investigación, están en un rango de (5.30-20.50) °C, (2.43 – 8.06) mg/L, (6.37 – 8.75) pH respectivamente.

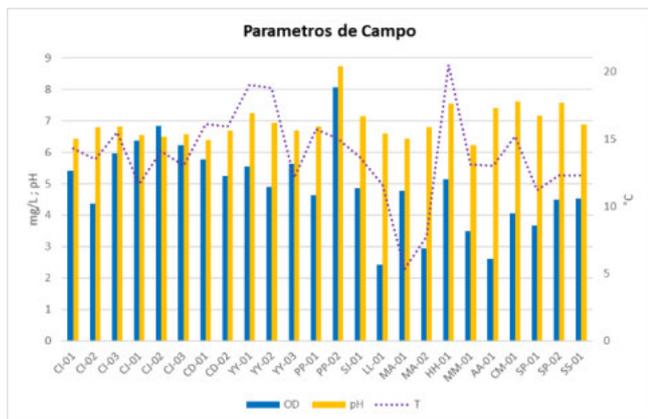


Figura 2. Resultados de parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto y pH para todas las provincias monitoreadas.

### Parámetros Físicoquímicos

Como se observa en la Figura 3, se obtuvieron valores superiores al límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental según la normativa peruana (1000 µS/cm) en el 16 % de las muestras analizadas, llegando a picos superiores de 1538 µS/cm en el distrito de Puno (PP-01), como valor máximo registrado se encuentra Yunguyo (YY-01) con un pico de 1858.7 µS/cm y el mínimo valor registrado se encuentra en Sandía (SS-01) con 20.9 µS/cm.

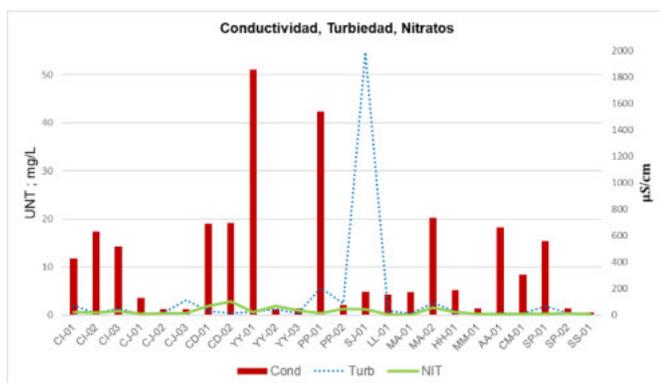


Figura 3. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: conductividad, turbiedad y nitratos.

En un 84 % de las mismas muestras analizadas se encuentran dentro del valor recomendado por la normativa. Como también la mayor concentración de turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) se encuentra en la ciudad de Juliaca, alcanzando 54.70 UNT. Según los DS-N°004-2017-MINAM (Estándares de Calidad de Agua) y DS-N°031-2010-SA (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano), para el parámetro de Nitratos la concentración Máxima de este no debe exceder de 50 mg/L, según los resultados obtenidos de los puntos de muestreo

evaluados, se observa que los valores no exceden a los límites establecidos, así mismo cabe mencionar que el valor mínimo de concentración de Nitratos se encuentra en MA-01 (Ayaviri) con 0.020 mg/L y el valor máximo de concentración obtenido es en CD-02 (Desaguadero) con 2.817 mg/L.

En la Figura 4., para Sólidos Disueltos Totales, en la grafica se obtuvieron valores superiores al límite establecido por el Estandar de Calidad Ambiental según la normativa peruana (1000 mg/L) llegando a un pico de 1090 mg/L en los puntos de captacion de Yunguyo (YY-01), como segundo valor maximo se encuentra el distrito de Puno con un pico de 900 mg/L y como minimo valor registrado se encuentra en el punto de captacion de Moho (MM-02) con 20 mg/L. valores que se encuentran dentro de lo recomendado por la normativa nacional. Para Sólidos Totales se obtuvo como valor máximo 1130 mg/L en el distrito de Yunguyo (YY-01), seguido del punto de captacion de Puno (PP-01) con un valor de 936.67 mg/L y para el caso de Sólidos Suspendedos Totales se obtuvo como valor máximo 66.77 mg/L esto en el punto de captacion de Seda Julica (SJ -01) seguido por el punto de captacion de Juli (CJ-02) con un valor de 50.53 mg/L. Cabe mencionar que dentro de la normatividad nacional estos parámetros no están contemplados, así mismo no se encuentran en normativas internacionales.

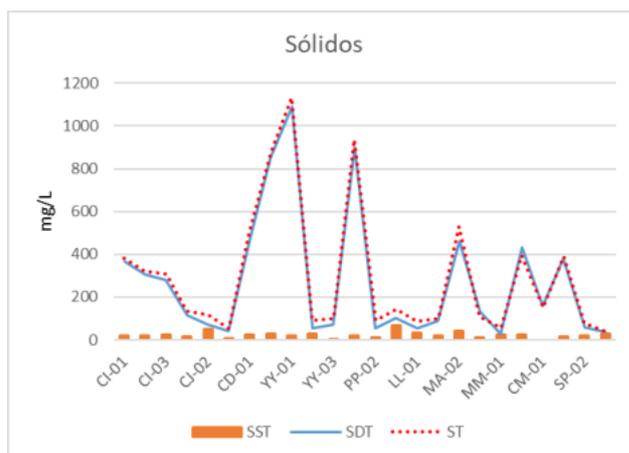


Figura 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos: sólidos totales, sólidos totales disueltos y sólidos suspendidos totales.

### Parámetros microbiológicos

Según los DS-N°004-2017-MINAM (Estándares de Calidad de Agua), DS-N°031-2010-SA (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y otras normativas internacionales, para los parámetros de Coliformes Totales y Coliformes Fecales es 0 UFC/100 mL, basándonos en estos valores la mayoría de los puntos evaluados sobrepasan los límites establecidos habiendo excepciones de los puntos YY-03, LL-01, AA-01, SP-02. Así mismo los valores máximos en Coliformes Totales, se encontraron en los puntos SS-01 (Sandía) y SJ (Juliaca) y para Coliformes Fecales se encontró en el punto SJ (Juliaca).

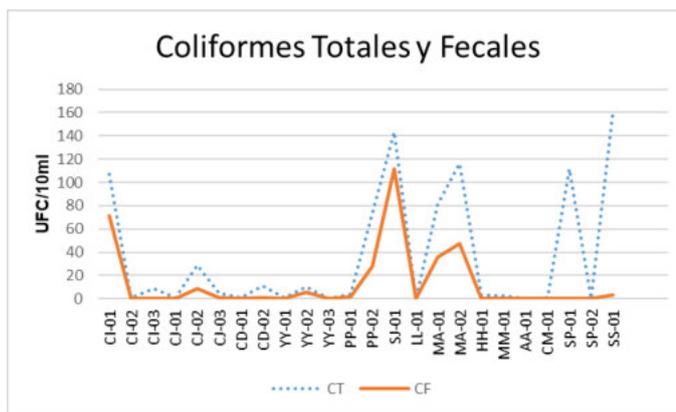


Figura 5. Resultados de parámetros microbiológicos: coliformes totales y coliformes fecales.

### Determinación de Metales

Como se observa en la Figura 6 las mayores concentraciones de calcio se encontraron en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 sobrepasando los 60 mg/L (llegando a 144 mg/L en Ayaviri 02); mientras que por otro las aguas de Juli, Puno 02, Juliaca, Moho y Sandía están por debajo de los 20 mg/L.

Las concentraciones de Magnesio en la que esta vez las muestras de Yunguyo 01 y Puno 01 tienen las concentraciones más altas de este metal llegando a pasar los 30 mg/L, siendo la concentración de Mg en Yunguyo un total de 39.38 mg/L. Las concentraciones más bajas se encontraron en Juli, Yunguyo 02 y 03, Moho y Sandía; las cuales no sobrepasan los 3 mg/L, destacando la muestra tomada en Juli 03 con 0.227 mg/L. Dentro de la normatividad nacional el parámetro de potasio (K) no está contemplado, así mismo no se encuentra en muchas otras normativas internacionales, pero se encontró una normativa "RD 1138/1990", donde si está este parámetro, pero que actualmente está derogado, dentro de esta legislación Española se observa en la Fig. 5 que la concentración máxima admisible es de 12 mg/L, basándonos en esta con los resultados obtenidos se observa que los puntos PP-01(Puno) y YY-01 (Yunguyo) sobrepasan el límite de concentración con valores de 12.933 mg/L y 18.146 mg/L respectivamente, así mismo el mínimo valor obtenido es del punto SS-01 (Sandía) con una concentración de 0.173 mg/L. Los resultados de Manganeseo mostrados en la Figura, muestran que solo una muestra, la de llave 02 sobrepasa los 0.4 mg/L que es el valor establecido en los Estándares de Calidad Ambiental y límites de la OMS; mientras tanto muestras como las de Macusani, Putina y Sandía están bajo los límites de detección del equipo. En cuanto a Hierro, los resultados se pueden observar en la figura siendo que las muestras de llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca y Lampa sobrepasan los 0.3 mg/L, concentración que está dentro de los Estándares de Calidad Ambiental y límites de la OMS. Por otro lado, la muestra de Ayaviri 01 tiene concentraciones menores a los límites de detección del equipo.

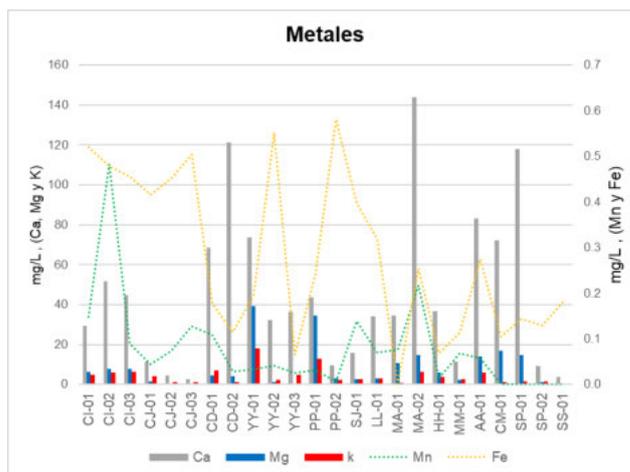


Figura 6. Resultados de parámetros metales: calcio, magnesio, potasio, manganeso y hierro.

### Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos en la investigación (Figura 7) se puede identificar que existe una correlación significativa más resaltante para el distrito de Juliaca con los casos de EDAS notificados a la Dirección Regional de Salud Puno del periodo 2018, así mismo se identificó que la carga bacteriana expresada en coliformes totales y Fecales tiene un comportamiento irregular para cada distrito de la región, por ejemplo en el distrito de Puno se puede ver que existe una correlación débil entre estos parámetros a pesar de que el mayor número de casos por EDAS se encuentran en este distrito, esto puede deberse a que uno de los focos del desarrollo de colonias bacterianas se encuentre en las redes de distribución. En un estudio realizado en Gaza, Palestina, se encontró una fuerte correlación entre las enfermedades diarreicas con la contaminación de coliformes fecales en el sistema de distribución de agua potable (Abu Amr & Yassin, 2008), por lo que pueden existir otros factores en su casuística endémica y que la carga bacteriana pueda sumarse en su trayecto, por defectos funcionales y estructurales de las redes de distribución o al ser almacenada en el hogar.

En el Perú las EDAs son la tercera causa de muerte, principalmente en niños de zonas rurales y en los barrios peri-urbanos de Lima, cuyas condiciones de hacinamiento, falta de servicios agua y desagüe, y falta de alimentación saludable, son factores predisponentes (Robles, 2007; De la Cruz et al., 2005). En la región de Puno se puede ver que el mayor número de casos los presenta el distrito de Puno, seguido del distrito de Juliaca y en menor medida los demás distritos de la región a pesar que la mayor cantidad de coliformes totales se encontraron en el distrito de Sandía, sin embargo no se encontró una correlación significativa entre este parámetro y los casos de EDAs reportados en el distrito, lo cual evidencia que las causas del alto número de EDAs tiene otras justificantes.

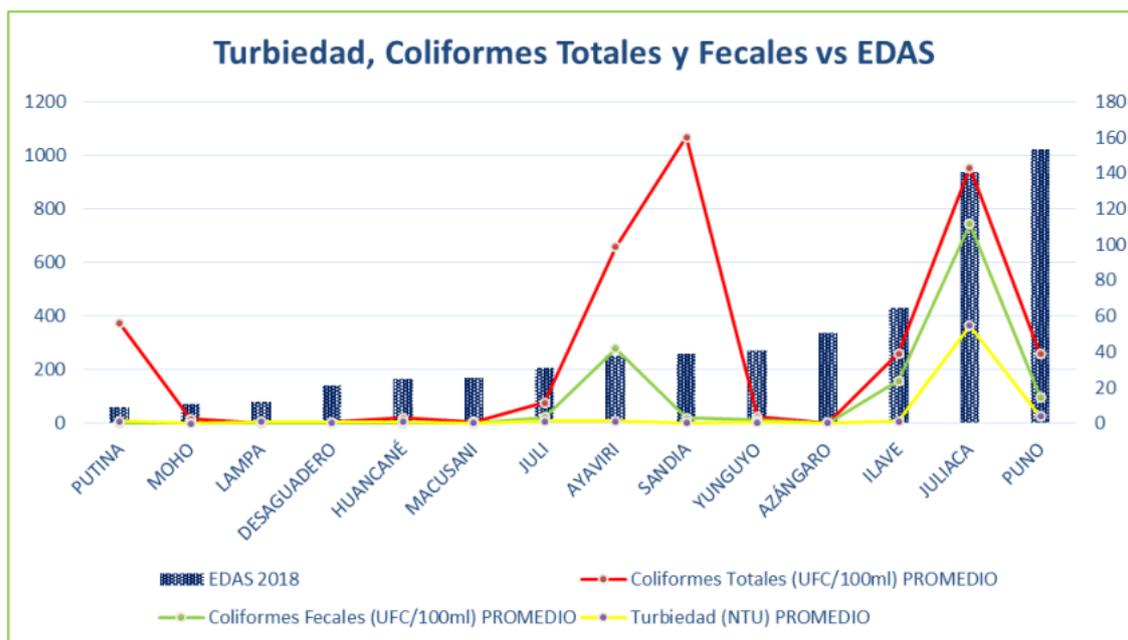


Figura 7. Correlación de los parámetros microbiológicos y las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) de la región de Puno

Por otro lado, para el parámetro de turbidez también se ve una relación con la carga bacteriana, según MORENO ABRIL y PEREZ LOPEZ (1999) mientras que altos valores de turbidez (y materia orgánica) suelen ser paralelos a la detección de valores elevados de coliformes totales, relación que se observa también para el distrito de Juliaca mientras que no se ve la misma relación para los demás distritos de la región.

Caso puntual es la alta concentración de coliformes determinado en la provincia de Sandia, en donde se nota una discreta relación con los casos de EDAs, lo cual implicaría que no se tiene una data confiable en cuanto al reporte de estas enfermedades.

### Conclusiones

Se puede observar que existe una correlación significativa entre Coliformes Totales, Turbiedad y las Enfermedades Diarreicas Agudas(EDAs) para el distrito de Juliaca , donde se puede ver una clara vinculación entre los casos de EDAs notificados a la Dirección Regional de Salud, los niveles de turbidez hallados y la formación de colonias bacterianas, valores que según Estándares de Calidad de Agua sobrepasan el reglamento nacional, sin embargo no se observa una correlación significativa entre estos parámetros para los demás distritos de la región de Puno.

Las concentraciones de Ca en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 sobrepasan los 60 mg/L

## Referencias bibliográficas

- Abu Amr, S. y Yassin, M. (2008). *Microbial contamination of the drinking water distribution system and its impact on human health* en Khan Yunis Governorate, Gaza Strip: Seven years of monitoring (2000-2006). *Public health*, 122(11), pp.1275-1283. doi:10.1016/j.puhe.2008.02.009
- Agudelo, R. (2005). *Water: strategic resource in the 21st century*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol 23 N°1
- APHA, AWWA, & WPCF. (1989). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. 17th ed., Vol. 6. Washington, D.C.
- Autoridad Nacional del Agua (2017). *Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (2019). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. 1st ed. Lima, pp.28-62. Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/209>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002). *Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima.
- De la Cruz, M., Herrera, M., Párraga, K., Rengifo, C., Rojas, F., Sanchez, J. y Lituma, D. (2005). *Prácticas de higiene y su relación con la prevalencia de enfermedad diarreica aguda*. *Revista de Facultad de Medicina Humana*, 5(1), 19-26.
- Higuera, A., Castillo, I., Eslava C., Cifuentes E., Cortés, J., Murillo, M. y Yalaupari, J. (2000). *Contaminación del Agua y efectos en la salud*. Lima, A y Mazari, M. (2006). *Evaluación bacteriológica de la Calidad del agua en el Río Lerma*. Universidad Nacional Autónoma de México de Ecología. Mexico.
- Ministerio Nacional del Ambiente (2017). *DS. N°004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima, Perú.
- Ministerio de Salud (2010). *Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, DS. DS N° 031-2010-SA*. Lima, Perú.
- Mulamattathil, S., Bezuidenhout, C., y Mbewe, M. (2015). *Analysis of physico-chemical and bacteriological quality of drinking water in Mafikeng, South Africa*. *Journal of Water and Health*, 13(4), pp.1143-1152. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.273>
- Neira-Munoz, E., Okoro, C. y McCarthy, (2007). *Outbreak of waterborne cryptosporidiosis associated with low oocyst concentrations*. Vol.135, pp.1159-1164. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0950268807008503>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf)
- Price, M. (2007). *Agua subterránea*. Limusa. México, pp.330
- Robles, C. (2007). *Guía de promoción y prevención de enfermedades diarreicas en la atención farmacéutica*. Lima, PROESCUELA.
- Sabogal, L. (2002). *El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua*. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Signor RS, Ashbolt NJ. (2009). *Comparing probabilistic microbial risk assessments for drinking water against daily rather than annualised infection probability targets*. *J Water Heal* 2009. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19590121>.
- Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*.
- Yasin, M., Ketema, T., y Bacha, K. (2015). *Physico-chemical and bacteriological quality of drinking water of different sources, Jimma zone, Southwest Ethiopia*. *BMC Research Notes*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1376-5>

## La regeneración de los aceites usados de los motores de combustión disminuye el impacto ambiental en la ciudad de Ica

### Regeneration of used oils from combustion engines, reduces the environmental impact in Ica city

---

Luis Alberto Massa Palacios  
*massapal@hotmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*  
Rosalio Cusi Palomino  
*ross3023@yahoo.es- Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*  
Sofía Andrea Cuneo Macedo  
*sofia.cuneo.macedo@gmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*  
Mirna Vanessa Alvaro Huillcara  
*mirnal.quimi2007@hotmail.com- Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*  
Elizabeth Escate Reyna  
*elizabethescate@hotmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*  
Allan Flores Ramos  
*biomvzallan.80@hotmail.com - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica*

### Resumen

El desarrollo industrial y comercial de las últimas décadas ha estado acompañado de un proceso de urbanización acelerada y de un aumento en la concentración de la población. Tanto las industrias, como los comercios y la población han aumentado su demanda por materias primas, productos y energía, lo que ha generado un aumento de los residuos que al no ser tratados adecuadamente afectan nuestro ambiente en forma negativa. En muchas industrias y comercios existe un aspecto ambiental que no se está manejando en forma adecuada debido a la gran informalidad y falta de alternativas técnicas para su tratamiento, produciendo graves problemas de contaminación. Nos referimos a la generación de aceites usados. Este inadecuado manejo de los aceites usados, sumado a la falta de conciencia y cultura ambiental de los trabajadores y empresarios, a la carencia de normativa técnica sobre el tema y a la falta de sistemas formales de almacenamiento, recolección y aprovechamiento del aceite usado, ocasiona, entre otros problemas, la contaminación del suelo, del agua superficial y subterránea, la contaminación del aire, el deterioro de tuberías y alcantarillado. En este sentido, el estudio " La regeneración de los aceites usados de los motores de combustión y la disminución del impacto ambiental en la ciudad de Ica " se presenta como una solución concreta y efectiva al problema de los aceites usados, tanto para generadores y recicladores (a través de la sensibilización, asistencia técnica y mejoras en su desempeño ambiental), como para autoridades locales y sectoriales, a través de Ordenanzas Municipales y Normas Técnicas Peruanas, que les permitan promover y controlar un adecuado manejo de los aceites usados.

**Palabras claves:** *Aceites, regeneración, medio ambiente.*

## Abstract

The industrial and commercial development of the last decades have been accompanied by an accelerated urbanizational process and an increase in concentration of population. As much as industry and commerce have increased so have the population, demand for raw materials, products as well as for energy, which has generated an increase in waste, that, if not properly treated, affects our environment in a negative way. In many industries and businesses there is an environmental aspect that is not being handled properly due to the great informality and lack of technical alternatives for its treatment, causing serious pollution problems. We refer to the generation of used oils. This inadequate management of used oils, coupled with the lack of environmental awareness and culture in workers and employers, the lack of technical regulations on the subject and the lack of formal storage systems, collection and use of used oil that causes, among other problems: Soil pollution, surface and groundwater, air pollution, deterioration of pipes and sewerage. In this sense, the study "Regeneration of used oils from combustion engines and the reduction of environmental impact in the city of Ica" is presented as a concrete and effective solution to the problem of used oils for both generators and recyclers: (through sensitization, technical assistance and improvements in their environmental performance), as for the local and sectoral authorities, through Municipal Ordinances and the Peruvian Technical Standards, which allow them to promote and control the proper management of used oils.

**Keywords:** *Oils, regeneration, environment.*

### Introducción

Los aceites usados son uno de los residuos más abundantes y constituyen un gran problema puesto que normalmente suponen un importante foco de contaminación. Los aceites usados se generan en casi todos los sectores económicos, tal es el caso de la Industria, el transporte, el agro y la energía, entre otros, y por ello se encuentran dispersos en todo el territorio nacional. Los aceites usados son una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos derivados de los procesos de oxidación y otros elementos resultantes del desgaste de los metales que conforman la maquinaria y que están en contacto con el mismo. El resultado final es una reducción de la calidad original del aceite y la producción de un nuevo residuo.

Su eliminación por vertido o incineración incontrolada origina graves problemas de contaminación en el aire, agua y tierra debido a su toxicidad, baja biodegradabilidad, bioacumulación, emisión de gases y su degradación química.

La forma tradicional de disposición de los aceites usados ha sido quemarlo, aprovechando su excelente potencial energético. Sin embargo, la quema sin un tratamiento previo que le retire las sustancias nocivas sólo agrava el problema del impacto ambiental, pues es más peligrosa la polución atmosférica provocada que la contaminación del suelo y del agua debida al vertido. Los aceites usados son en su mayoría descargados en los drenajes de agua o directamente en el suelo, por lo que constituyen una fuente de contaminación importante de los cuerpos de agua superficiales y mantos acuíferos. Se ha calculado que un 40% de la contaminación de ríos y lagos procede del aceite usado de los vehículos.

En el Perú el parque automotor ha aumentado rápidamente en los últimos años que la demanda por materias primas (aceites lubricantes y filtros), ha estado aumentando en forma acelerada, lo que ha generado un aumento de los residuos que al no ser tratados adecuadamente afectan nuestro ambiente en forma negativa.

### 2. Bases teóricas

#### 2.1.- Aspectos Teóricos Ambientales

Los problemas ambientales surgen de las incompatibilidades existentes entre las cualidades biofísicas del entorno y las relaciones socioculturales actuantes sobre él, por tanto un análisis adecuado de estas dificultades deberá profundizar en una crítica del tipo de relación del hombre con su medio ambiente

La **contaminación** es la introducción de sustancias en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido, calor, luz o radiactividad).

Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio, y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental.

#### 2.2.- Aceites usados

Los aceites residuales generados representan más del 60% de los aceites lubricantes consumidos. Esto hace que los aceites usados sean uno de los residuos contaminantes más abundantes que se generan actualmente, pudiendo alcanzarse la cifra de 24 millones de Tm/año. Los lubricantes se contaminan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación y otras materias tales como carbón, producto del desgaste de los metales y otros sólidos, lo que reduce su calidad. Cuando la cantidad de estos contaminantes es excesiva el lubricante ya no cumple lo que de él se demandaba y debe ser reemplazado por otro nuevo. Estos son los llamados *Aceites Usados, de Desecho o Residuales* y deben ser **recogidos y reciclados para evitar la contaminación del medio ambiente y para preservar los recursos naturales.**

Los **aceites usados** se están eliminando por procedimientos tales como el **vertido en terrenos y**

**cauces de agua o la combustión indiscriminada** que no aprovechan su auténtico valor potencial, produciendo, por el contrario, peligrosas contaminaciones

### 2.2.1.- Composición y Clasificación de los Aceites usados

Los aceites usados son una mezcla muy compleja de los productos más diversos.

Un lubricante está compuesto por una mezcla de una base mineral o sintética con aditivos (1 -20%). Durante su uso se contamina con distintas sustancias, tales como:

Agua

Partículas metálicas, ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción

Compuestos organometálicos conteniendo plomo procedente de las gasolinas

Ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o del azufre de los combustibles

Compuestos de azufre

Restos de aditivos: fenoles, compuestos de cinc, cloro y fósforo

Compuestos clorados: Disolventes, PCBs y PCTs

Hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA)

Pero, además, pueden estar contaminados por otras sustancias cuya presencia es imprevisible, tales como:

Pesticidas

Residuos tóxicos de cualquier tipo

Los PCBs y PCTs provienen de fluidos dieléctricos y fluidos térmicos de seguridad que han venido siendo utilizados en la industria durante muchos años.

Los hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA, también llamados HAPS), parecen tener su origen en la oxidación de las gasolinas, Son unos compuestos muy peligrosos puesto que entre ellos se puede encontrar el cancerígeno Benzo(a) pireno (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>) y alguno de sus derivados alquílicos.

### 2.2.2.- Contaminación por aceites usados

#### a) Contaminación del aire

La eliminación del aceite usado por combustión solo o mezclado con fuel-oil, también origina graves problemas de contaminación, a menos que se

adopten severas medidas para depurar los gases resultantes.

Otro gran problema asociado al anterior lo crea **el plomo** que emitido al aire en partículas de tamaño submicrónico perjudica la salud de los seres humanos, sobre todo de los niños. **El plomo** es el más volátil de los componentes metálicos que forman las cenizas de los aceites usados, por lo que puede afirmarse que, prácticamente, cuando se quema aceite todo el plomo es emitido por las chimeneas.

La cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila del 1 al 1,5 por 100- en, peso y proviene de las gasolinas y de los aditivos. Estudios realizados en los Países Bajos han estimado que si llegaran a quemarse las 70.000 toneladas año de aceite usado que pueden recogerse, se recargaría la atmósfera con 350 toneladas adicionales de plomo, lo que representaría una tercera parte más de lo que actualmente emiten los escapes de los vehículos.

#### b) Contaminación del agua

Los aceites no se disuelven en el agua, no son biodegradables, forman películas impermeables que impiden el paso del oxígeno y matan la vida tanto en el agua como en tierra, esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta.

#### c) Contaminación del Suelo

Los aceites usados vertidos en suelos producen la destrucción del humus y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La eliminación por Vertido de los aceites usados origina graves problemas de contaminación de tierras, ríos y mares. En efecto, los hidrocarburos saturados que contiene el aceite usado no son degradables biológicamente, recubren las tierras de una película impermeable que destruye el humus vegetal y, por tanto, la

### 3.- Interpretación de los resultados

#### 3.1.- De la regeneración del aceite

Cuadro N°3.1 Características Físicoquímicas de los aceites

Prueba	Aceite nuevo	Aceite usado	Aceite regenerado
Viscosidad a 313°K (m <sup>2</sup> /s)	107.70	79.10	69.32
Viscosidad a 373°K(m <sup>2</sup> /s)	12.55	12.65	11.09
Índice de viscosidad	128	136	135
Temperatura de inflamación (°C)	222	205	204
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	0.8797	0.8797	0.8745
<b>Propiedades químicas</b>			
	<b>Aceite usado</b>	<b>Aceite regenerado</b>	
Índice de saponificación	3.94	12.7	
Índice de acidez	2.20	4.40	
Índice de basicidad	4.70	1.70	

Fuente: Elaborado por los autores y colaboradores

Cuadro N° 3.2 Identificación de los aspectos ambientales

ETAPAS /PROCESOS	ATMÓSFERA	VERTIDOS LÍQUIDOS	RESIDUOS	RUIDO	AGUAS	SUELOS
<b>Recepción y almacenamiento de residuos</b>	Emisiones difusas (nieblas de aceite)	Vertidos por arrastre de agua de lluvia Vertidos por mala praxis	Residuos de envases Rechazo en cabeza de planta	Operaciones de carga y descarga	Posible afección aguas subterráneas y superficiales	Posible afección al suelo
<b>Elaboración del producto (recuperación)</b>	Emisiones atmosféricas	Operaciones de mantenimiento Purga de torres de refrigeración Agua de proceso	Rechazo Aguas de proceso	Maquinaria	Posible afección aguas subterráneas y superficiales	Posible afección al suelo
<b>Envasado</b>	Emisiones difusas (nieblas de aceite)	Vertido accidental del producto recuperado	Restos de envases Producto defectuoso	Maquinaria	Posible afección aguas subterráneas y superficiales	Posible afección al suelo
<b>Laboratorio (control de calidad)</b>	Emisiones cabina extractora	Vertido Laboratorio	Gestión Químicos Asimilables urbanos	Ruido cabina		
<b>Distribución del producto recuperado</b>	Emisiones del transporte	Lavado de vehículos	Residuos mantenimiento	Operaciones de carga y descarga		Posible afección al suelo

#### 3.2.- Interpretación y Discusión de los resultados.

Cuando un aceite lubricante es regenerado o recuperado, al igual que otros “residuos”, se debe realizar una caracterización del producto obtenido para verificar que se trata del mismo producto de partida. Esta sería la única manera de poder estar exentos de la aplicación de las normas vigentes en el país.

Para el caso que nos ocupa vamos a detallar las diferentes propiedades tanto químicas como físicas así como la composición media de nuestro aceite lubricante recuperado y vamos a enfrentarlas a las propiedades físico-químicas y composición de un aceite lubricante sin usar o nuevo.

Prácticamente las propiedades físico-químicas de los aceites regenerados son idénticas a las del aceite lubricante sin usar o nuevo. Cabe destacar que algunas de ellas mejoran con el tratamiento de regeneración, como son los casos de la viscosidad y la temperatura así como del color.

No se ha encontrado más documentación bibliográfica que evidencie la gran similitud de los aceites lubricantes, pero como prueba de que su composición orgánica permanece prácticamente intacta.

Cuando se regenera un producto, se demuestra que es el mismo de origen y además se va a destinar para el mismo fin, éste quedaría fuera del alcance de aplicación de las normas. Sin embargo aun regenerando el mismo producto de partida, si éste se pretende destinar a otros usos no descritos en el material de partida, si quedaríamos dentro de la aplicación del reglamento, puesto que dicho reglamento pretende registrar todas las sustancias junto con todos y cada uno de sus usos.

## Conclusiones

Después de todo lo aquí presentado, parece obvio el esfuerzo a realizar en la Gestión de los aceites lubricantes usados por diversas razones: De acuerdo a la bibliografía se necesitan 100 litros de petróleo para producir solamente 2 de aceite lubricante; se traduce en mucho gasto innecesario de materia prima agotable por lo sobreexplotada que esta; En la investigación, a partir de 3 litros de aceite usado, recuperamos 2 litros; el aceite lubricante tiene muchas repercusiones ambientales: son persistentes, peligrosos, etc. Se debería tender a mantener la cantidad de aceite global en cifras más o menos constantes fomentando el reciclaje o su recuperación; etc.

Se ha presentado el método de arcillas acidas, tratamiento que produce residuos "más limpios, a pesar de ser la menos agresiva.

Una planta de tratamiento seguiría generando impactos sobre el medio ambiente, por ello se debe seguir en la búsqueda de las mejores técnicas disponibles para llegar a alcanzar el impacto "cero" sobre el medio ambiente.

A mi juicio, otra de las líneas de investigación para este caso en concreto, podría estar en la sustitución de esos aditivos, que le confieren posteriormente el grado de peligrosidad al aceite usado, por otros compuestos que le proporcionen las mismas propiedades pero que a su vez minimicen su grado de peligrosidad.

## Referencias bibliográficas

- BENAVENTE R, Gonzalo. (1999) Aceite Lubricante Usado. Bravo Energy Chile
- RUIZ, Ernesto. (1991) Aceites lubricantes para motores a gasolina. En: Curso de educación continuada fundamentos básicos de lubricación. Bogotá D.E.
- Pit & Quarry. 2000 Equipment & Tech Handbook. Vol. 92 Issue 6, p. 126
- PANTOJA, José Luis Martín y MORENO, Pilar Matías.(1995) ¿Qué se hace en España con los aceites usados? En: Ingeniería Química. Enero 1995, p. 113-117. Universidad de Antioquia.
- FLOREZ PIEDRAHITA, Carlos Arturo.(2001) Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión. En: Escenarios Y Estrategias. Bogotá. Diciembre de 2001 No 8. p. 28 – 32.
- FORBY, Tim. Taking oil samples. En: Construction bulletin. Septiembre 5, 2003 p. 17.
- BOUGHTON, Bob y Arpad Horvath. (2004) Environmental Assessment of Used Oil Management Methods. En: Environmental science & technology. Vol. 38, No. 2; p. 353-358.
- ELBASHIR N.O., (2002) et al. A method of predicting effective solvent extraction parameters recycling of used lubricating oils, Chemical Engineering and Processing. Vol 41

## Referencias electrónicas

- <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/diccionarioEcologico/diccio-narioEcologico.php3>
- <http://www.geocities.com/psicoresumenes/public/Actitud.htm>
- [http://www.peruecologico.com.pe/glosario\\_a.htm](http://www.peruecologico.com.pe/glosario_a.htm)
- <http://platea.pntic.mec.es/~jpascual/vida/biodiv2.htm>
- [http://www.peruecologico.com.pe/glosario\\_d.htm](http://www.peruecologico.com.pe/glosario_d.htm)
- <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/diccionarioEcologico/diccionarioEcologico.php3?letra=&numero=01&rango=ECESIS-Electromiograma>
- <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/votar.asp>



## **Normas generales para la presentación de artículos en Ñawparisun Revista de Investigación Científica**

### **Tipos de publicación**

#### **Artículo original**

Es un tipo de investigación válida por excelencia, pues su información es de tipo primaria e inédita. Está caracterizada por la interpretación de resultados alcanzados que muestran no solo un estado actual cognoscitivo nuevo, sino además que pueden demostrar la aplicación de un resultado de manera directa o conducente hacia otra disciplina del saber de manera indirecta en el tiempo pero que finalmente, se transformará para su justificación como causa directa. El formato de comunicación será el siguiente: título, autor (es) e institución (es), resumen y abstract, palabras claves (Keywords), introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, agradecimientos y referencias bibliográficas. La extensión máxima es de veinticinco (25) páginas para el contenido.

#### **Artículo de revisión**

Los artículos de revisión son publicaciones que se caracterizan por profundizar un tema en particular a modo de divulgación, crítica o contribución a la comunidad académica. En un artículo de revisión se recomienda la búsqueda sistemática de referencias bibliográficas y que respondan a preguntas esbozadas. Los artículos de revisión se pueden presentar a solicitud del Comité o por iniciativa de los autores, los cuales dependiendo de la pertinencia, pasan o no a su revisión por pares. El formato de comunicación será el siguiente: título, autor (es) e institución (es), resumen y abstract, palabras claves (Keywords), introducción, contenido, conclusiones, agradecimientos y referencias bibliográficas. La extensión máxima es de veinte (20) páginas para el contenido.

#### **Comunicaciones cortas**

Las comunicaciones cortas, rápidas o breves, representan un producto de una investigación científica, pero por lo general son resultados preliminares que necesitan ser comunicados prontamente; por lo que estas investigaciones pueden presentar ciertas limitaciones. Estos trabajos pasan por revisión de pares. El formato de comunicación será el siguiente: título, autor (es) e institución (es), resumen y abstract, palabras claves (Keywords) introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, agradecimientos y referencias bibliográficas. La extensión máxima es de catorce (14) páginas para el contenido.

#### **Artículo de opinión**

Es un tipo específico de publicación, en las que el autor (es) da (n) cuenta de su enfoque sobre un tema de interés que por lo general se hace a solicitud de la revista o por convocatoria de la misma. Este tipo de publicación, por lo general, hace énfasis sobre la posición del autor (es) con relación al tema. Dependiendo de la pertinencia, pasan o no a su revisión por pares. El formato de comunicación será el siguiente: título, autor (es) e institución (es), resumen y abstract, palabras claves (Keywords) introducción, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. La extensión máxima es de catorce (14) páginas para el contenido.

## Reporte de casos

Corresponde a una comunicación donde se detallan las condiciones sobre determinado hallazgo, representándose niveles de evidencia. Cada reporte de caso pasa por una revisión de pares. El formato de comunicación será el siguiente: título, autor (es) e institución (es), resumen y abstract, palabras claves (Keywords), introducción, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. La extensión máxima es de catorce (14) páginas para el contenido.

## Carta al editor

Son manuscritos breves donde se expresa un comentario de acuerdo o desacuerdo conceptual, metodológico, interpretativo sobre alguna modalidad de artículo publicado en una revista. La publicación por la modalidad de carta al editor, promueve el conocimiento científico, ya que se basa en ideas o discusiones sobre determinados paradigmas. La opinión, puede ser el reflejo de cuan activa es una comunidad científica y cuan leída puede ser una determinada revista. Estos escritos son evaluados únicamente por el Comité Editor. El formato de comunicación será el siguiente: título, a quien va dirigida, autor (es), institución (es), contenido de texto principal, autor para correspondencia y referencias bibliográficas. En este tipo de publicación, resulta importante ubicar el grado científico o académico del autor (es), así como el lugar de adscripción de desempeño laboral. La extensión máxima es de cuatro (4) páginas para el contenido.

## Reseña

La reseña es un texto escrito de carácter académico que contiene principalmente dos elementos: i) una síntesis de las ideas centrales de un libro, un capítulo de libro o un artículo científico original, y ii) una evaluación o valoración crítica del mismo, con el fin de que los lectores puedan formarse una idea general sobre su contenido y calidad. El formato de comunicación será el siguiente: Información bibliográfica del documento a reseñar (autor, título, lugar (ciudad), editorial, año, cantidad de páginas), contenido de texto principal (contexto, síntesis de contenidos, valoración crítica), conclusión o cierre, autor (es) e institución (es). La extensión máxima es de cuatro (4) páginas para el contenido.

## Formato

Tamaño de página	A4 (21 x 29.7 cm)
Márgenes	Superior, inferior y derecho: 2.5 cm Izquierdo: 3.5 cm
Interlineado	Espacio y medio para el texto en general Espacio simple para citas textuales y notas a pie de página.
Tipografía	Fuente: Times New Roman Tamaño: 12 puntos para el texto en general y hasta 14 puntos para los títulos.

## **Estructura para la presentación de artículos científicos**

### **TÍTULO (en idioma español e inglés)**

Debe demostrar el carácter especializado de la información con relación a la disciplina que se esté abordando, así como denotar una correcta sintaxis. Los títulos no son oraciones y deben finalmente evidenciar según las variables a medir, el tipo de estudio o investigación realizada. Además, el título debe reflejar que se realizó, cómo se realizó, en qué se realizó, así como dónde se realizó.

### **NOMBRE(S) Y APELLIDOS DEL (LOS) AUTOR(ES)**

Si es más de un autor, deberá separarse por el signo de puntuación coma. Cuando los autores no correspondan a la misma institución, deberán identificarse con un número Arábigo-Índico Occidental en superíndice. Al presentarse más de un autor de igual procedencia institucional, deberá estar acompañado el número Arábigo-Índico Occidental en superíndice por letras ordenadas en orden alfabético. Se deberá indicar solo área de desempeño profesional donde se obtuvieron los resultados y la institución correspondiente. Al final de cada identificación se mencionarán cada correo electrónico de los autores.

### **RESUMEN (en idioma español e inglés)**

El resumen debe ser breve, pues en éste deben aparecer sólo los detalles importantes, las ideas fundamentales y los datos técnicos más sobresalientes. Se debe redactar como un texto normal, a renglón seguido, sin usar guiones ni sangrar el texto. No debe exceder de 300 palabras.

### **PALABRAS CLAVES (en idioma español e inglés)**

Se aceptarán un máximo de cinco (5) palabras no incluidas en el título y deberán estar en cursiva.

### **INTRODUCCIÓN**

Debe delimitarse que se realizó como investigación, debe tomar en cuenta el conocimiento previamente construido, pues esta forma parte de una estructura lógica, ya existente y es lo que se denomina marco de referencia (sólo se anuncia lo que se hizo por los autores). De forma conjugada, deberá describirse elementos teóricos ya planteados por uno y/o diferentes autores; y que permiten al investigador fundamentar su proceso de investigación (es lo que se conoce como marco teórico propiamente dicho). La introducción finaliza con comunicación explícita del objetivo de la investigación que se desea comunicar.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Debe presentarse el diseño de investigación seguido con la mayor precisión posible para que otros investigadores comprendan, repliquen y confirmen el proceso de investigación seguido. Los métodos previamente publicados como índices o técnicas deben describirse sólo brevemente y aportar las correspondientes citas, excepto que se hayan realizado modificaciones en los mismos. Se mencionará el sistema (unidad de análisis) que fue estudiado, la descripción geográfica de la zona de estudio, el cálculo del tamaño de la muestra y la forma de muestreo utilizada (recojo de datos), la referencia al tipo de análisis de los datos que se ha empleado.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En esta sección, se reportan los hallazgos (datos), los cuales pueden presentarse en forma de tabla o figura, los que deberán ser analizados en el artículo. Deben ser comprensibles, así como evitar su redundancia. Para efectos de la presentación de hallazgos se procurará resaltar los resultados más relevantes e importantes. En la discusión se debe realizar comparaciones de los datos obtenidos con los alcanzados por otros autores, considerar lo nuevo y relevante, considerar la evidencia científica, identificar perspectivas futuras a investigar, y explicar de forma coherente aquellos resultados no esperados. Ver formatos de tablas y figuras.

### **CONCLUSIONES**

Es la respuesta a los objetivos, de manera que se resalta el principal aporte de la investigación de manera bien fundamentada.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradecerá la colaboración de personas e instituciones que hayan hecho contribuciones sustanciales a la investigación. Así mismo, se recomienda agradecer la fuente de financiación de la investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Es la relación de las diferentes fuentes de información de distinto soporte, impreso o digital, utilizados en la elaboración del artículo científico.

## Estructura para la presentación de artículos científicos

### FORMATO DE TABLA

Cuando se presenten los datos en tabla, se ubicará el nombre de la misma en la parte superior y se identificará con número latino.

Tabla 1.  
*Nombre sobre lo que se identifica.*

Categoría	Categoría	Categoría	Categoría	Categoría
Variable	xx	xx	xx	xx
Variable	xx	xx	xx	xx
Variable	xx	xx	xx	xx

Nota. Pueden ser notas generales, específicas, de probabilidad o nota fuente.

### FORMATO DE FIGURA

En el caso que se presenten los datos en figura, se ubicará la misma en la parte inferior y se identificará con número latino.



Figura 1. Nombre sobre lo que se identifica.  
Nota (de ser necesario)

## MODO DE CITAR LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA

Se refiere a la presentación de las fuentes de información científicas donde solo podrán ser de tipo primaria. Este debe basarse en el manual de estilo APA 6.0 (American Psychological Association).

La forma de citar en el texto será de la manera siguiente:

### Para un solo autor

1. Una de las teorías más importantes es la propuesta de la Inducción Analítica (Araníbar, 2017).
2. Una de las teorías más importantes es aquella propuesta por Araníbar (2017).
3. Araníbar (2017) propuso una de las posturas más importantes de la semiótica.

### Para dos autores

1. Una de las teorías más importantes es la propuesta de la Inducción Analítica (Araníbar y Argota, 2017).
2. Una de las teorías más importantes es aquella propuesta por Araníbar y Argota (2017).

## Para más de tres autores

(1ra vez)

1. Una de las teorías más importantes es la propuesta de la Inducción Analítica (González, Argota, Pérez y Medina, 2017).

(2da vez para adelante)

2. Una de las teorías más importantes es la propuesta de la Inducción Analítica (González et al., 2017).

## MODO DE PRESENTAR LAS REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Basarse en las normas del estilo de redacción APA 6.0. A modo de ejemplo se presentan algunas formas típicas.

### Artículo publicado en una revista científica impresa

Autor, año de publicación, título, revista, volumen y número, páginas.

#### Ejemplo:

Charaja, C.F. (2011). La ciencia como proceso. *Episteme*, Vol. 1(2), 23-37.

### Artículo publicado en una revista científica impresa y disponible en la Internet

Autor, año de publicación, título, revista, volumen, número, páginas, dirección (URL) de la versión digital.

#### Ejemplos:

Argota, G., Lannacone, O.J. y Fimia, D.R. (2013). Características de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática en Cuba. *The Biologist*, Vol. 11(2), 229-236. <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4699849.pdf>

Gracia, M.I., Lázaro, R., Latorre, M.A., Medel, P., Aranibar, M.J., Jiménez-Moreno, E., and Mateos G.G. (2009). Influence of enzyme supplementation of diets and cooking–flaking of maize on digestive traits and growth performance of broilers from 1 to 21 days of age. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 150: 303–315

### Artículo publicado en una revista científica electrónica

Autor, año de publicación, título, revista, volumen, número (si procede) dirección (URL)

#### Ejemplo:

Johnson, B. and Onwuegbuzie, A. (2004). Mixed Methods Research: A Research paradigm whose time has come. *Journal Educational Researcher*, Vol. 33(7), 14-26. <https://pdfs.semanticscholar.org/bb6e/6e3251bbb80587bdb5064e24b55d728529b1.pdf>

### Capítulo de libro

Autor, año de publicación, capítulo del libro, en: iniciales y apellido del editor, título de libro, páginas, lugar, ciudad donde radica la casa editora, y casa editora.

**Ejemplo:** Arce, J.C., y Gutiérrez, M. (2012). Indicadores financieros y su relación con la economía futura latinoamericana. En R.J. Porras (Ed.), *El rumbo económico de América Latina*: (pp.100-121). Bogotá, Colombia: Nuevo Camino.

### Libro

Autor, año de publicación, título de libro, edición, ciudad donde radica la casa editora, casa editora.

**Ejemplo:** Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2015). *Metodología de la Investigación*. Sexta edición. México: Editorial Mc Graw Hill.



2DO NIVEL

Pabellón Académico