



ARTÍCULO ORIGINAL

## CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

### CHARACTERIZATION AND DETERMINATION OF THE SURFACE WATER QUALITY

Raul Pedro Rojas Vargas<sup>1\*</sup>, Lia Nails Rojas Vizcarra<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Autoridad Nacional del Agua - ANA, Unidad Hidrográfica Coata

#### RESUMEN

La calidad del agua superficial, está en función del uso para el cual va a ser destinada, dependiendo tanto de factores naturales como de la acción humana. La investigación tiene el objetivo de caracterizar y evaluar la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, expone los resultados de cinco años (2015-2019) de análisis de la calidad de agua, realizados por la Autoridad Nacional del Agua, determinándose el índice de calidad de agua ICA-PE. Asimismo, describe la geología de la zona, la identificación de fuentes contaminantes y su incidencia en la calidad del agua superficial. La evaluación de estos índices se realizó con información recopilada en 19 puntos durante nueve monitoreos. El método empleado es cuantitativo de tipo documental, descriptiva y explicativa. Los resultados indican que la geología difiere sustancialmente desde la cuenca alta, de rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, la cuenca media de rocas sedimentarias y metamórficas y, la cuenca baja con predominancia de unidades del Cuaternario. Las fuentes contaminantes son de origen antropogénico, destacando vertimientos de aguas residuales municipales e industriales, botaderos de residuos sólidos y sustancias descargadas in situ. La variación del ICA-PE, según categoría y parámetros que no cumplen el ECA-Agua, indican que en la cuenca alta la calidad es regular (ICA-PE= 45-74) en 71 % y 29 % bueno (ICA-PE=75-89). En la cuenca media es 100% bueno y en la cuenca baja bueno en 56 %, regular en 33 % y malo (ICA-PE=30-44) en 11 %, correspondiente al punto de monitoreo RToro2.

**Palabras clave:** Calidad de agua, contaminación, índice de calidad, unidad hidrográfica, unidades litológicas.

#### ABSTRACT

The quality of surface water is a function of the use for which it is going to be destined, depending on both natural factors and human action. The research has the objective of characterizing and evaluating the quality of surface water in the Coata Hydrographic Unit, exposing the results of five years (2015-2019) of analysis of water quality, carried out by the National Water Authority, determining the index ICA-PE water quality. The research has the objective of characterizing and evaluating the quality of surface water in the Coata Hydrographic Unit, exposing the results of five years (2015-2019) of analysis of water quality, carried out by the National Water Authority, determining the index ICA-PE water quality. It also describes the geology of the area, the identification of polluting sources and their impact on the quality of surface water. The evaluation of these indices was carried out with information collected at 19 points during nine monitoring sessions. The method used is quantitative, documentary, descriptive and explanatory. The results indicate that the geology differs substantially from the upper basin, with volcanic and volcano-sedimentary rocks, the middle basin with sedimentary and metamorphic rocks, and the lower basin with a predominance of Quaternary units. The polluting sources are of anthropogenic origin, highlighting municipal and industrial wastewater discharges, solid waste dumps and substances discharged on site. The variation of the ICA-PE, according to category and parameters that do not meet the ECA-Water, indicate that in the upper basin the quality is regular (ICA-PE= 45-74) in 71% and 29% good (ICA-PE= 75-89). In the middle basin it is 100% good and in the lower basin it is good at 56%, regular at 33% and bad (ICA-PE=30-44) at 11%, corresponding to the RToro2 monitoring point.

**Keywords:** Contamination, hydrographic unit, lithological units, quality index, water quality.

\*Autor para correspondencia: [raulalex19@gmail.com](mailto:raulalex19@gmail.com)

ORCID: [0000-0002-4719-0388](https://orcid.org/0000-0002-4719-0388)

Downloadable from : <http://revistas.unap.edu.pe/epq>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento básico para la vida del ser humano, tanto para su existencia como para su utilización; pero los seres humanos ya emplean la mitad de los recursos de agua dulce del mundo y su consumo va en aumento (Cabildo *et al.* 2013). En nuestro país, el proceso de contaminación de los recursos hídricos, tienen un origen mayormente antrópico. Como consecuencia de los vertimientos en cuerpos de agua lóticos y lénticos, aumentan la concentración de elementos que alteran la calidad del agua, ya que estos cuerpos se constituyen en sumideros de todo tipo de residuos. La Unidad Hidrográfica Coata está siendo impactada por el vertimiento de efluentes de actividades productivas, aguas residuales domésticas sin tratamiento proveniente de las poblaciones que se encuentran asentadas a lo largo de su cauce, así como de la generación de residuos sólidos. Esta afectación se trasluce en las concentraciones de elementos que superan los Estándares de Calidad Ambiental para el agua (ECA-Agua), pero no permiten tener una apreciación objetiva de cuál es la calidad del agua. En función a la dinámica hidrológica (Garrido *et al.* 2010), se ha dividido a la Unidad Hidrográfica Coata en tres zonas funcionales distintas: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja; en cada una de estas zonas se describe su geología, así como la identificación de las principales presiones ambientales según los lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos (ANA 2018b).

Las cuencas constituyen un complejo mosaico de ecosistemas, naturales y manejados, donde se reconocen los vínculos entre los territorios de las zonas altas y bajas, cuyas externalidades, transportadas por los cursos de agua, crean una conexión física entre poblaciones alejadas unas de otras (Cotler 2010). Los territorios de las cuencas otorgan bienes y servicios ambientales invaluable para nuestra existencia como son el suministro de agua dulce, la regulación del caudal de los ríos, el mantenimiento de los regímenes hidrológicos naturales, entre otros Balvanera & Cotler (2009) Carabias & Landa (2005) consideran que la cuenca hidrográfica es el espacio geográfico que contiene los escurrimientos de agua y que los conducen hacia un punto de acumulación terminal; en estos territorios hay una interrelación e

interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes) (SEMARNAT 2013). En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: alto, medio y bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena 2003). Al respecto, Ordoñez (2011) menciona que, la cuenca alta corresponde generalmente a las áreas montañosas, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas, esta área tiene gran capacidad de generar erosión; la cuenca media, donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido, es una zona de mezcla y transición hidrológica hacia las zonas de desembocadura. La cuenca baja o zonas transicionales, es una zona donde las corrientes comienzan a disminuir su velocidad y erosividad, transformándose en áreas de mayor estabilidad y depósitos de sedimentos (planicies aluviales), es el área que desaloja el agua de todo el sistema hacia el mar o un cuerpo de agua interior (Garrido *et al.* 2010).

Los recursos hídricos son todas las fuentes naturales de agua, esenciales en el funcionamiento de los ecosistemas y en todas las actividades humanas, por lo que logra impactar todos los aspectos de la vida del planeta (Villamagua 2012)(Villamagua 2012); la escasez, el uso y manejo inadecuado de los recursos hídricos, se constituye en uno de los factores de mayor limitación para el desarrollo sostenible a nivel mundial. La interdependencia de estos elementos, así como el ciclo hidrológico que estos generan, tal como la evaporación, la transpiración, la humedad del suelo, el agua superficial y freática, el agua costera y marítima, dentro de una perspectiva integral, sustentada por las unidades hidrológicas básicas, las cuencas y los acuíferos, definen el potencial hídrico de una región (Andrade & Navarrete 2004).

El concepto de unidad hidrográfica fue creado por Otto Pfafstetter en 1989, por esta razón a estas unidades se les suele denominar también "ottocuenas". Las unidades hidrográficas son

área de drenaje limitadas por líneas divisorias de aguas, y que se relacionan espacialmente por sus códigos (MMAYA 2010). Al respecto, se indica que las Unidades Hidrográficas son espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, relacionadas espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica.

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares (ONU-DAES 2014); cada uso que damos al agua requiere una calidad distinta de este recurso y recibe por ello un tratamiento diferente, tanto antes como después de su utilización (Ros 2010). La calidad del agua se mide en función del grado de contaminación que tiene, este término se utiliza en general para describir cualquier condición o sustancia que hace que el uso indiscriminado de aire, agua o tierra se vea restringido (Mosqueira 2014).

La contaminación puede definirse como la introducción de una sustancia en el medio ambiente a niveles que llevan a la pérdida del uso benéfico de un recurso o la degradación de la salud de los seres humanos, la vida silvestre o los ecosistemas (Mihelcic y Zimmerman 2012); los contaminantes constituyen la principal causa de la degradación de la calidad de agua en el mundo (ONU-DAES 2014). Así la ANA (2016b) menciona que se desarrolla acciones de vigilancia de la calidad de los recursos hídricos para asegurar la conservación y protección del agua, así como de sus bienes naturales asociados. Por otro lado, la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente (Barrenechea 2004).

Un pasivo ambiental, puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire y deteriorar los ecosistemas, por lo general, estos son producidos por las actividades del hombre, sea por desconocimiento, negligencia o por

accidente a lo largo de su historia (SNMPE 2004). Al respecto, en la Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera 2004), determina que son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

Valcarcél *et al.* (2009) considera que, un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. Para Girardi *et al.* (2018) un índice de calidad es una herramienta que entrega información con respecto de la calidad del agua de manera simplificada y de fácil entendimiento. Así mismo, para Ros (2010), un índice se podría definir como el análisis conjunto de varios parámetros o variables dando lugar a una sola expresión numérica, posee características parecidas a las de un indicador, pero su carácter social está más acentuado, en ese sentido, los “índices de calidad de agua” constituyen un instrumento fundamental debido a que permiten transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo (ANA 2018).

La estratigrafía es el estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias, que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación tanto de los materiales como de los sucesos y una ordenación temporal correcta de la secuencia de los materiales y sucesos (Corrales *et al.* 1977), para Navarrete (2005), la formación es la unidad fundamental de la clasificación litoestratigráfica y así mismo, Juárez (2014), indica que, los yacimientos minerales se forman a partir de procesos de segregación y concentración de determinados elementos químicos, pueden ser explicados, así como la mayoría de los procesos geológicos, en términos de la teoría de la Tectónica de Placas.

Ocola y Laqui (2017) llegaron a la conclusión de que en la cuenca del río Coata existen nueve ciudades, que cuentan con una población urbana total de 280,523 habitantes, según proyecciones del INEI (2013). La ciudad de Juliaca es el centro urbano más habitado, pues allí viven un poco más de 268 mil habitantes; y es también, por eso mismo, la urbe que genera la mayor cantidad de aguas residuales municipales y de residuos sólidos.

### Objetivo general

Caracterizar la Unidad Hidrográfica Coata y evaluar la calidad del agua superficial mediante el índice ICA-PE.

### Objetivos específicos

- Describir la formación geológica en la Unidad Hidrográfica Coata.
- Determinar las fuentes de contaminación presentes en la Unidad hidrográfica Coata.
- Determinar la variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo utilizando el índice ICA-PE.

## MÉTODOS

### Ámbito o lugar de estudio

La investigación se realizó en la Unidad Hidrográfica Coata, el área está constituida por una cuenca alta, media y baja, definida por su geomorfología, gradiente altitudinal y la red de puntos de monitoreo de calidad de agua superficial. Es comprensión de la Región Hidrográfica del Titicaca, ubicada en las provincias de San Román, Lampa y Puno del departamento de Puno.

### Descripción de métodos

- La determinación de los atributos de la Unidad Hidrográfica Coata están en función de los siguientes criterios: aspectos generales, clima, zonas de vida, geomorfología, geología, metalogenia e hidrografía, y la determinación del área de estudio se basó en el enfoque ecosistémico y de cuencas.
- Para realizar la descripción de formaciones

geológicas en la Unidad Hidrográfica Coata, se procedió a la recopilación de la información cartográfica de la geología regional y local, a partir de datos oficiales, confiables y verificables siendo el insumo principal las Cartas Geológicas Nacionales y los Boletines Geológicos elaborados por el INGEMMET correspondientes a los cuadrángulos de Ocuvi (31-u), Juliaca (31-v), Lagunillas (32-u), Puno (32-v) y Acora (32-x), luego se procedió a procesarlo como tabla de archivo shapefile de la geología de la zona de estudio.

- En la determinación de las fuentes de contaminación presentes en la Unidad Hidrográfica Coata, se empleó la metodología de los lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA 2018a), se evaluó y sistematizó la información recopilada para luego contrastarla con la información de campo y verificación realizada en los monitoreos participativos de la calidad de agua superficial.
- Para la determinación de la variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata, por comparación en la red de monitoreo, se siguió el procedimiento de cálculo del índice de calidad de agua (ICA – PE) y el empleo de herramientas informáticas (GIS, Google Earth).
- En la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) de la Unidad Hidrográfica Coata, se consideró la información siguiente: identificación del área de estudio, su caracterización, red de monitoreo, valores establecidos en el ECA-Agua, clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales y resultado de los monitoreos participativos. Seguidamente se procedió a la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE), empleándose para el efecto la metodología desarrollada por la Autoridad Nacional del Agua:

**Determinación y descripción de los factores  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  del ICA-PE.** **$F_1$  – Alcance**

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} * 100$$

 **$F_2$  – Frecuencia:**

$$F_2 = \frac{\text{Número de datos que no cumplen los ECA – Agua de los datos evaluados}}{\text{Número Total de datos evaluados}} * 100$$

 **$F_3$  – Amplitud:**

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

**Suma Normalizada de Excedentes = SNE.**

$$SNE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \right) * 100$$

**Caso 1:** Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA-Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

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

**Caso 2:** Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA para Agua:

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

**Cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA-PE:**

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

**Escalas de valoración:**

El resultado del ICA-PE, se muestra como un número adimensional entre cero (0) y 100, el cual permite instaurar escalas en

cinco (5) rangos, este valor permite evaluar el estado de la calidad del agua cualitativamente, como: pésimo, malo, regular, bueno y excelente, según:

**Tabla 1**  
*Valoración del ICA-PE*

ICA - PE	Calificación	Interpretación
90 -100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
75 -89	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
45 -74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
30 -44	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0-29	Pésimo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE. Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Formaciones geológicas en la Unidad Hidrográfica Coata

Las unidades geológicas involucradas en el área de la Unidad Hidrográfica Coata incluyen rocas sedimentarias volcánicas y volcano-sedimentarias, sus edades van desde la Formación Calapuja (Paleozoico Ordovícico-Superior) hasta la Formación Azángaro (Cenozoico Plioceno- Pleistoceno) y están cubiertas localmente por depósitos recientes

poco consolidados del Cuaternario-Holoceno. Del análisis e interpretación de los mismos y su agrupación de acuerdo a su composición litológica, de cada formación geológica, mediante el uso del software ArcGIS, se ha determinado la geología y columna estratigráfica. Como resultado, se muestra la correlación litoestratigráfica de la U.H. Coata, realizada en función a los resultados de la evaluación cartográfica y la determinación de las columnas litoestratigráficas de la cuenca alta, media y baja (Tabla 2).

**Tabla 1**  
*Correlación litoestratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coata*

Era	Sistema	Época	Unidad litoestratigráfica	Edad (ma.)	Símbolo	Unidad estratigráfica	Correlación litoestratigráfica		
							Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial reciente	0	Qh-al		✓	✓	✓
			Areniscas limolitas y gravas retrabajadas		Qh-al2	depósitos inconsolidados	✓	✓	✓
			Depósito bofedal		Qh.bo		✓	✓	✓
			Depósito fluvio-glaciario		Qh-fg		✓		
	Neógeno	Pleistoceno	Morrenas antiguas	4	Qpl-mo		✓		
			Formación Azángaro	5	NQ-az	rocas sedimentarias		✓	
	Paleógeno	Plioceno	Formación Capillune*	6	N-ca	rocas volcano-sedimentarias	✓		
			Grupo Barroso	7	Np-ba			✓	
		Mioceno	Grupo Sillapaca	14	Nm-si		✓		
			Grupo Palca	22	Nm-pa/tbka	rocas volcánicas	✓		
	Oligoceno	Grupo Tacaza: Formación Carayccasa	30	PN-tc	rocas volcano-sedimentarias	✓			

Era	Sistema	Época	Unidad litoestratigráfica	Edad (ma.)	Símbolo	Unidad estratigráfica	Correlación litoestratigráfica		
							Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
Mesozoico	Cretáceo	Paleoceno	Grupo Puno	65	<b>P-pu</b>	rocas sedimentarias	✓		✓
		Superior	Formación Ayabacas	100	<b>Kis-ay</b>		✓	✓	✓
		Inferior							
	Triásico		Grupo Mitu	250	<b>PsT-mi</b>	rocas volcano-sedimentarias	✓	✓	✓
	Paleozoico	Carbonífero	Superior	Grupo Iscay	300	<b>Ps-is</b>			✓
			Inferior	Grupo Ambo	330	<b>Ci-a</b>		✓	✓
Devónico		Inferior	Grupo Cabanillas	350	<b>D-ca</b>		✓	✓	
		Superior	Formación Chagrapi	400	<b>Sa-cha</b>	rocas sedimentarias			✓
Ordovícico		Superior	Formación Calapuja	450	<b>O-ca (Calapuja)</b>			✓	

En relación a la geología de la Unidad Hidrográfica Coata, Valdivia y Rodríguez (2003) mencionan que la secuencia estratigráfica en el área de Lagunillas comienza con rocas del paleozoico, Silúrico-Devónico (Grupo Cabanillas) hasta depósitos del Cuaternario reciente, los cuales en su mayor parte se encuentran en los bordes de los ríos formando pequeñas terrazas fluvioaluviales y Cerpa *et al.* (2015) contextualiza que la geología del cuadrángulo de Ocuvi nos muestra unidades que van desde el Paleozoico a depósitos recientes. La unidad más antigua está representada por las areniscas y lutitas del Grupo Ambo. El Mesozoico muestra las calizas resedimentadas de la Formación Arcurquina que afloran a manera de olistolitos o clastos del

Grupo Puno. Las rocas del Cenozoico están conformadas por una sucesión sedimentaria, volcánica y volcano-sedimentaria, con una restricción de sedimentos fluvioalacustres que van desde el Paleoceno hasta el Plioceno Inferior. Así mismo, Acosta y Quispe, Jorge Luis Santisteban, Alexander Acosta (2008) sostienen que el dominio Cusco-Lagunillas-Mañazo está formado por unidades volcánicas-sedimentarias del Oligoceno-Mioceno. Parte de este dominio presenta dos épocas de metalogenéticas de depósitos epitermales y polimetálicos, durante el Mioceno y Plioceno.

Con relación a la geología de la Cuenca Media, el INRENA (2007), indica que en la cuenca de

los ríos Cabanillas y Lampa afloran rocas de diferente composición, cuyas edades van desde el Precámbrico al Cuaternario reciente, estando compuestas mayormente por rocas sedimentarias y metamórficas cubiertas por depósitos de rocas volcánicas y depósitos in consolidados modernos

En lo que respecta a la geología de la cuenca baja, INGEMMET (2020) describe que, en el Altiplano se encuentran diversos depósitos recientes que rellenan valles, depresiones y planicies. Entre estos, se tienen depósitos glaciares, fluvio-glaciares, aluviales, fluviales, coluviales y biogénicos.

Los que confirman el resultado de la investigación geológica, determinando que la geomorfología y geología de la Unidad Hidrográfica Coata difieren sustancialmente desde la cuenca alta de rocas volcano-sedimentarias (cuya secuencia litoestratigráfica está comprendida por las unidades: Grupo Cabanillas, Grupo Ambo, Grupo Mitu, Formación Ayabacas, Grupo Puno, Grupo Tacaza, Grupo Palca, Grupo Sillapaca, Formación Capillune, Morrenas antiguas, depósitos fluvio-glaciares y recientes), la cuenca

media mayormente de rocas sedimentarias (unidades: Formación Calapuja, Formación Chagrapi, Grupo Cabanillas, Grupo Ambo, Grupo Iscay, Grupo Mitu, Formación Ayabacas, Grupo Barroso, Formación Azángaro, y depósitos recientes) y la cuenca baja con mayor predominancia de unidades del Cuaternario (Grupo Mitu, Formación Ayabacas, Grupo Puno, y depósitos recientes).

**Fuentes de contaminación en la Unidad hidrográfica Coata**

Entre las fuentes de contaminación, entendiéndose esta como las principales presiones ambientales, en la Unidad Hidrográfica Coata se tienen a fuentes puntuales y no puntuales (difusas) generadas a partir de actividades poblacionales, productivas y naturales:

- Aguas residuales domésticas, industriales y mineras sin tratamiento que son descargadas en cuerpos de agua.
- Inadecuada disposición de los residuos sólidos municipales.
- Pasivos ambientales mineros.
- Actividad minera.

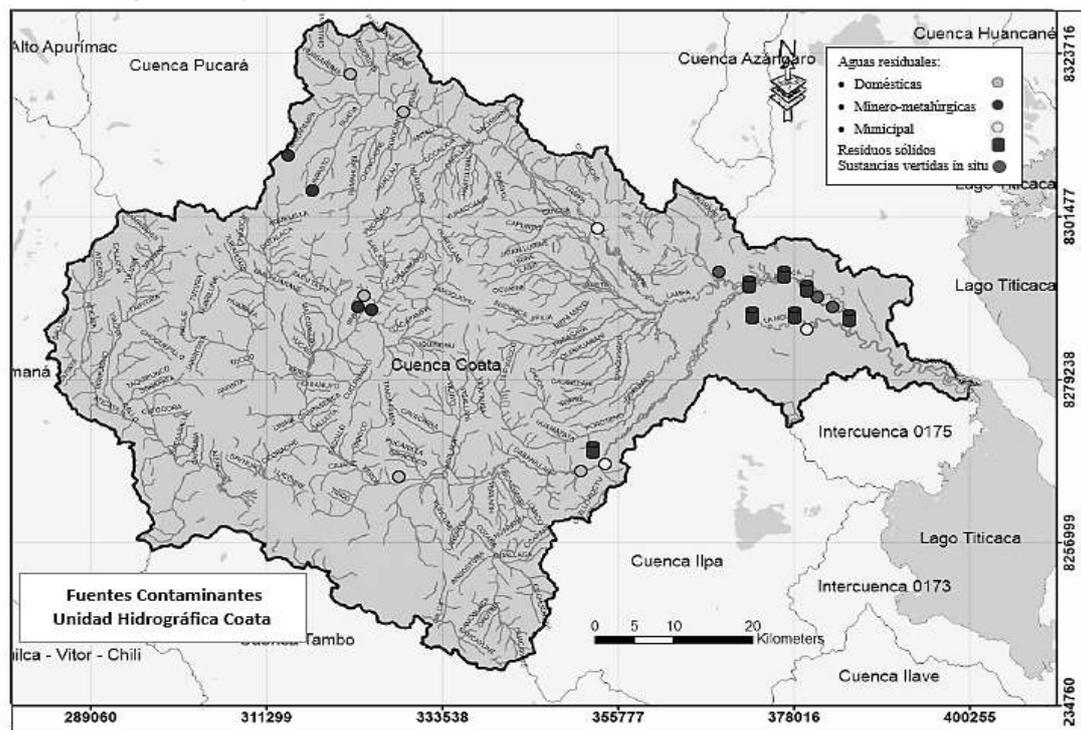
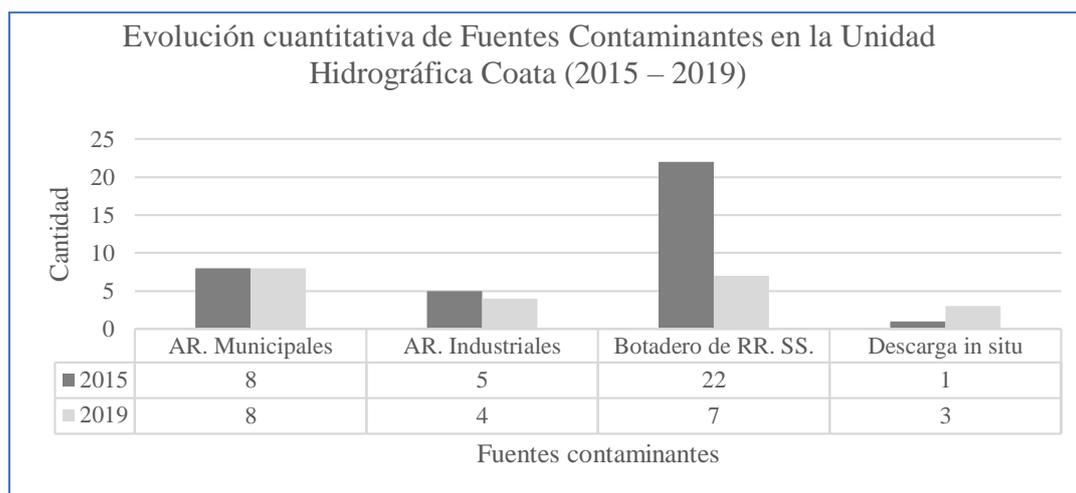


Figura 1. Mapa de identificación de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata.



**Figura 1.** Evolución cuantitativa de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata 2015 – 2019.

En correspondencia con la identificación de fuentes contaminantes en la Unidad Hidrográfica Coata, Ocola y Laqui (2017), sostienen que existen nueve ciudades, que cuentan con una población urbana total de 280, 523 habitantes (INEI 2013). La ciudad de Juliaca es el centro urbano más habitado, siendo la urbe de la cuenca del Titicaca que genera la mayor cantidad de aguas residuales municipales y de residuos sólidos. Así mismo, de la verificación y sistematización de la información de la ANA, permiten determinar que las fuentes de contaminación en la Unidad Hidrográfica Coata son de origen antropogénico ANA (2016) y Mosqueira (2014) señala que el agua que está ligera, mediana o fuertemente contaminada puede provenir tanto de fuentes derivadas de la actividad humana como de procesos naturales. Conforme las actividades humanas han aumentado, también lo ha hecho la contaminación del agua.

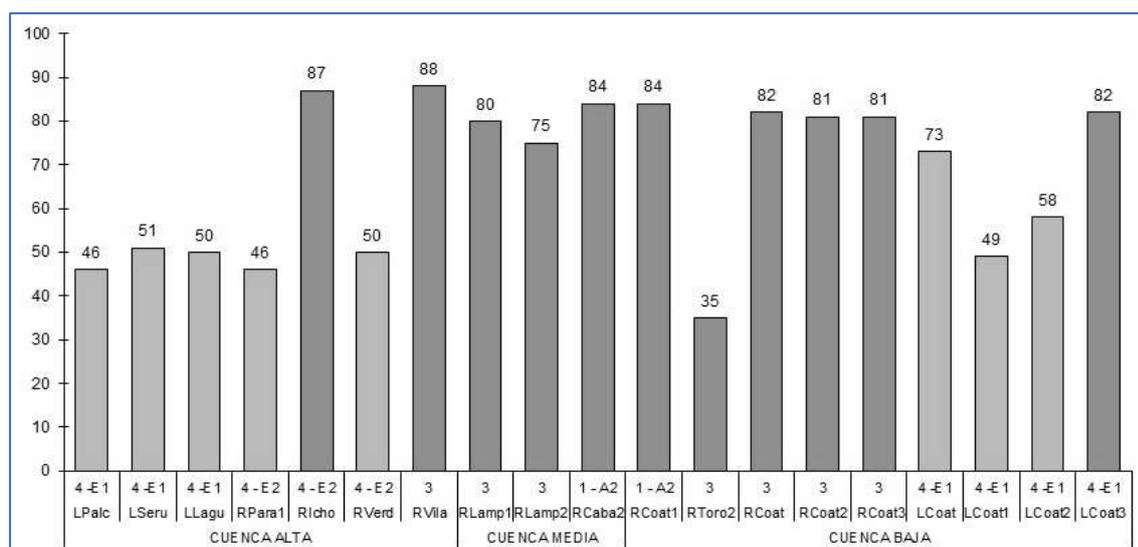
**Variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo utilizando el índice ICA-PE**

Partiendo de los resultados de los monitoreos participativos de la calidad del agua superficial de los años 2015 al 2019, en cada uno de los puntos de la red de monitoreo (19), se determinaron los ICA-PE en función al número de parámetros que no cumplen los ECA-Agua, número total de parámetros a evaluar, número de los parámetros que no cumplen el ECA-Agua de los datos evaluados y número total de datos evaluados, con los que se calcularon los tres factores; F1= Alcance, F2= Frecuencia y el factor F3= Amplitud se calculó a partir de la determinación de la suma normalizada de los excedentes (nse), dividiendo la sumatoria de los excedentes entre el total de los datos. Los valores del ICA-PE calculados se calificaron de acuerdo a la escala de rangos o niveles de sensibilidad como excelente, bueno, regular, malo y pésimo (Tabla 3), asignándoles un color de la escala cromática RGB.

**Tabla 2**

Resultados ICA-PE Unidad Hidrográfica Coata: monitoreos 2015-2019; zona alta, media y baja

Zona	N°	Punto de monitoreo	Categoría ECA-Agua	Cuerpo de agua	Resultado ICA-PE	
Cuenca alta	1	LPalc	4 -E1	Laguna Palca, salida hacia la quebrada Palca	46	REGULAR
	2	LSeru	4 -E1	Laguna Serusa, salida río Pomasi	51	REGULAR
	3	LLagu	4 -E1	Laguna Lagunillas, a la salida de la laguna	50	REGULAR
	4	RPara1	4 -E2	Río Paratía, vertimiento U.M. El Cofre	46	REGULAR
	5	Rlcho	4 -E2	Río Ichocollo, Puente Pinaya	87	BUENO
	6	RVerd	4 -E2	Río Verde, aguas debajo Minera Tacaza	50	REGULAR
	7	RVila	3	Río Vilavila, después de vertimiento aguas residuales	88	BUENO
Cuenca media	8	RLamp1	3	Río Lampa, después de vertimiento poblacional	80	BUENO
	9	RLamp2	3	Río Lampa, antes confluencia río Cabanillas	75	BUENO
	10	RCaba2	1 -A2	Río Cabanillas, unión con el río Lampa	84	BUENO
Cuenca baja	11	RCoat1	1 -A2	Río Coata, aguas abajo puente Independencia	84	BUENO
	12	RToro2	3	Aguas residuales de Juliaca, riachuelo Torococha	35	MALO
	13	RCoat	3	Río Coata, altura puente Suches	82	BUENO
	14	RCoat2	3	Río Coata, altura puente Coata	81	BUENO
	15	RCoat3	3	Desembocadura del río Coata	81	BUENO
	16	LCoat	4 -E1	Lago Titicaca, desembocadura río Coata	73	REGULAR
	17	LCoat1	4 -E1	Lago Titicaca, aguas adentro Capachica	49	REGULAR
	18	LCoat2	4 -E1	Lago Titicaca, Zona Coata-Capachica	58	REGULAR
	19	LCoat3	4 -E1	Lago Titicaca, Zona Coata-Capachica	82	BUENO


**Figura 3.** Variación espacio-temporal del ICA-PE. U.H. Coata 2015-2019.

En la Tabla 3 y Figura 3, se observa que en la cuenca alta de la U.H. Coata conformada por siete (7) puntos de monitoreo, tres (3) de lagunas y cuatro (4) de ríos, el ICA-PE de los puntos LPalc, LSeru, Llagu (Categoría 4-E1) y RPara1, RVerd (Categoría 4-E2) se encuentran en el intervalo de 45 a 74 del valor ICA-PE, correspondiéndole la calificación de REGULAR y, de RIcho (Categoría 4-E2)) su calidad es BUENO (87); respecto a RVila, de la Categoría 3, está en el intervalo de 75 a 89 calificado como BUENO. La presencia recurrente, moderadamente recurrente o poco frecuente de parámetros que exceden el ECA-Agua se deben a la incidencia de los parámetro físicos, químicos y microbiológicos determinados en cada punto de monitoreo, así como a la geología de la cuenca alta, constituida por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, donde la franja XXI-C de Depósitos Polimetálicos Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag es la que ha controlado la mineralización a través de las fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Condorama-Caylloma-Incapuquio, encontrándose en esta zona las principales ocurrencias de depósitos y yacimientos mineros. Así mismo las aguas residuales minero-metalúrgicas y domésticas municipales inciden en la calidad del agua superficial de la cuenca alta de la Unidad Hidrográfica Coata.

Los resultados, del ICA-PE, en la cuenca media, conformada por tres (3) puntos de monitoreo en ríos, el comportamiento de la variación del ICA-PE y el análisis multitemporal de la incidencia de los parámetros que no cumplen con el ECA-Agua, están en el rango de 75 a 89 del valor ICA-PE, correspondiéndole a RLamp1, RLamp2 de la Categoría 3 (ECA-Agua) y RCaba2 de la Categoría 1-A2, la calificación de BUENO. Influyen en estos resultados, de la calidad del agua, la presencia recurrente de un pH básico, moderadamente recurrentes de coliformes termotolerantes y *Escherichia Coli* (en RLamp1) y poco frecuente de Oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, coliformes fecales y metales como Zn, Fe y Li. El valor del ICA-PE para el

punto RLamp2, en su calidad tiende a REGULAR por estar ubicado aguas abajo de la descarga de aguas residuales de la localidad de Cabanillas. La geología de la cuenca Media, constituida por rocas sedimentarias (Plioceno Holoceno) y depósitos recientes no constituye un medio de ocurrencia de depósitos minerales (INGEMMET 2019), siendo incipiente su participación en la calidad de agua, sin embargo, se evidencia que los residuos sólidos proveniente del botadero de Cabanillas y aguas residuales domésticas provenientes de los distritos de Cabanilla, Cabanillas y Lampa, inciden en la variación de la calidad de agua de la cuenca media.

La variación del ICA-PE para la cuenca baja de la Unidad Hidrográfica Coata en el período 2015-2019, así como el análisis multitemporal de incidencia de los parámetros que incumplen el ECA-Agua en la calidad del agua, está en el rango de 30 a 89 (malo, regular y bueno), en el que, para RCoat1 (Cat. 1-A2) se califica como BUENO; el punto RToro2 es el más afectado por materia orgánica y parámetros físico-químicos que exceden el ECA-Agua de la Cat. 3: riego de vegetales y bebida de animales, obteniendo una calificación de MALO (escala 30-44). Los puntos RCoat, RCoat2 y RCoat3 (Cat. 3), no presentan variación en su calidad, siendo su calificación de BUENO; similar comportamiento se observa en LCoat3 (Cat. 4-E1). Para LCoat, LCoat1 y LCoat2, su rango va de 45 a 74 REGULAR. Los factores que inciden en la alteración del ICA-PE, de la cuenca baja, en mayor proporción corresponden a la evacuación de aguas residuales doméstico-municipales de la localidad de Juliaca (mayor a 200 L/s) y botaderos de residuos sólidos, ubicados en la provincia de San Román. La geología de la cuenca baja, en donde la distribución del Cuaternario ocupa la mayor parte de la cuenca con depósitos recientes que rellenan valles, depresiones y planicies y presencia importante de la Formación Ayabacas, influyen en la calidad del agua subterránea.

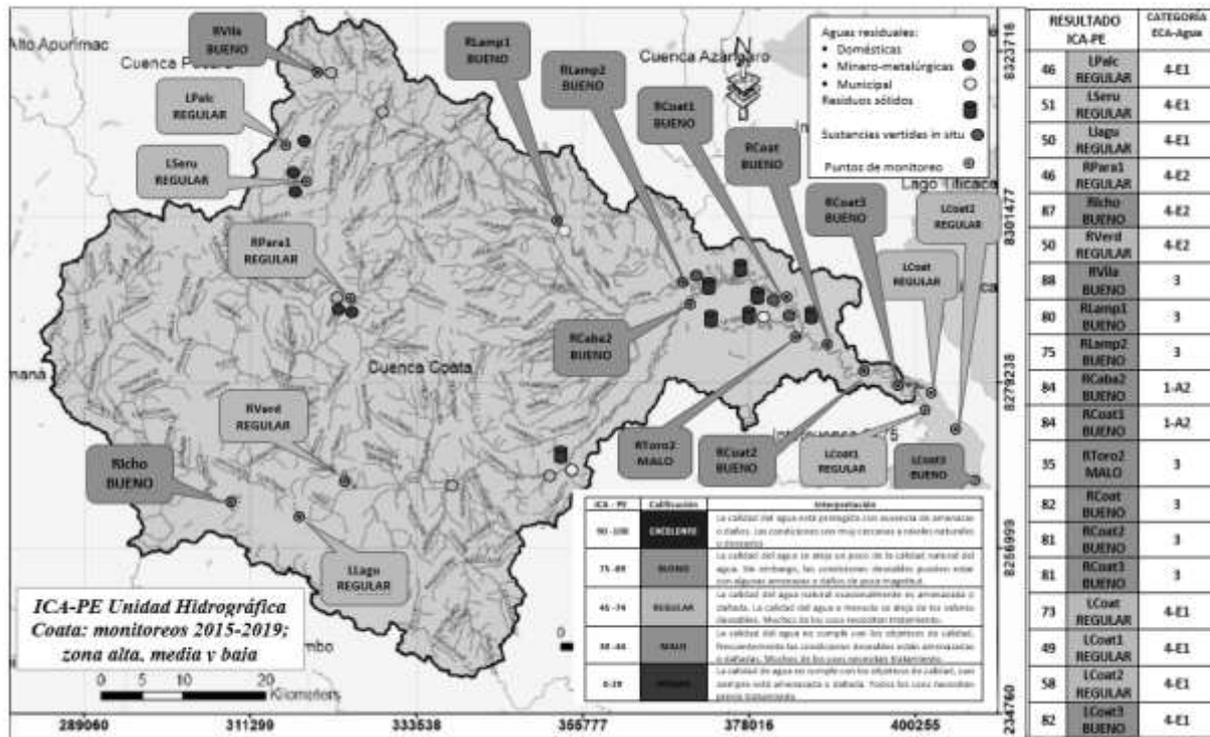


Figura 4. Índice calidad de agua superficial ICA-PE. Unidad Hidrográfica Coata 2015-2019.

En la cuenca alta, zona identificada como de nacimiento y origen de los cuerpos de agua, en donde el proceso dominante es de erosión, la tendencia de la calidad de agua superficial, es de buena calidad en un 29 % y regular en un 71 %, calidad que es alterada como consecuencia de los lixiviados provenientes de pasivos ambientales mineros, unidades mineras y en los demás puntos de la red inciden la descarga de aguas residuales doméstico-municipales, sin embargo, la geología de la zona permite que el pH de los cursos de agua sean básicos (Formación Calizas Ayabacas) atenuando la dilución de los minerales en iones y su transporte respectivo hacia la cuenca media y baja.

En la cuenca media, caracterizada por ser una zona de tránsito, en donde el proceso dominante es el de transporte, la calidad del agua superficial es buena en el 100 %, sin embargo, se observa que el punto RLamp2 linda con regular por su ubicación, como consecuencia de vertimientos de aguas residuales doméstico-municipales y residuos sólidos (de la localidad

de Cabanillas). En esta zona no hay presencia de actividad minera, pero si se tiene actividades de extracción de materiales de construcción como grava y arena, ocasionando sólidos en suspensión, la geología influye en el pH del agua (básico).

La cuenca baja, que viene a ser la zona de deposición o sedimentación, dada la topografía por donde discurre, el río Coata disipa su caudal con un proceso dominante de sedimentación. En esta zona la calidad del agua, considerando los puntos de monitoreo ubicados en la desembocadura del Lago Titicaca (LCoat, LCoat1, LCoat2 y LCoat3), es de buena calidad en 56 % (RCoat, RCoat1, RCoat2, RCoat3 y LCoat3), regular en 33 % (LCoat, LCoat1, LCoat2) y mala en 11 % (RToro2) como consecuencia de la alta densidad demográfica (ciudad de Juliaca), la generación de residuos sólidos, vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales (con caudal superior a 250 L/s). La geología de la zona, conformada por sedimentos mayormente carbonatados de la Formación Ayabacas, permite que el pH del

agua sea básico, empero los procesos de modelamiento geomorfológico han rellenado con material erosionado, de la parte alta e intermedia, la cuenca existente del altiplano, formando extensas planicies cuya composición mineralógica influye en la calidad del agua subterránea de las localidades de Juliaca, Huata y Coata.

Por consiguiente, los resultados evidencian que la calidad de agua en la Unidad Hidrográfica Coata, varían en función a la gradiente altitudinal, geología de la zona, actividades productivas, densidad poblacional y fuentes contaminantes, como la generación de residuos sólidos y aguas residuales.

## CONCLUSIONES

- En el ámbito de la Unidad Hidrográfica Coata se ha determinado que las formaciones geológicas incluyen rocas sedimentarias volcánicas y volcano-sedimentarias, sus edades van desde la Formación Calapuja (Paleozoico Ordovícico Superior) hasta la Formación Azángaro (Cenozoico Plioceno-Pleistoceno) y están cubiertas localmente por depósitos recientes poco consolidados del Cuaternario-Holoceno; observándose diferencias desde la zona de cuenca alta con predominancia de rocas volcano-sedimentarias, que han favorecido la mineralización de la zona, la cuenca media mayormente de rocas sedimentarias y la cuenca baja con mayor dominio de unidades del Cuaternario.
- Las fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos de la Unidad Hidrográfica Coata, son de origen antropogénico, siendo su comportamiento y evolución cuantitativa del año 2015 al 2019 de ocho (8) vertimientos de aguas residuales municipales, no presenta variación; los vertimientos de aguas residuales industriales en el año 2015 fueron en número de cinco (5) y en el 2019 disminuyen a cuatro (4) vertimientos:

mientras que los botaderos de residuos sólidos identificados en el año 2015, fueron de 25, y presenta una disminución sustancial a siete (7) en el año 2019, como consecuencia de la adecuación a la normativa ambiental vigente y las sustancias descargadas *in situ* se incrementaron de uno (1) a tres (3) en el año 2019.

- Los resultados obtenidos del ICA-PE, en la Unidad Hidrográfica Coata período 2015 – 2019, de un total de nueve monitoreos en las épocas de estiaje y avenida, presentan el siguiente comportamiento: En la cuenca alta, la tendencia de la calidad del agua superficial, es bueno (ICA-PE=75-89) en un 29 % y de 71 % regular (ICA-PE=45-74), calidad que es alterada por lixiviados provenientes de pasivos ambientales mineros, unidades mineras y descarga de aguas residuales doméstico-municipales; en la cuenca media, la calidad del agua superficial es bueno (ICA-PE=75-89) en el 100%, sin embargo, se observa que el punto RLamp2 linda con regular (ICA-PE= 45-74), afectado por vertimientos de aguas residuales doméstico-municipales y residuos sólidos (de la localidad de Cabanillas); en la cuenca baja, la calidad de agua es bueno (ICA-PE=75-89) en 56 %, regular (ICA-PE=45-74) en 33 % y malo (ICA-PE=30-44) en 11 %, el que corresponde al punto (RToro2) afectado por la alta densidad demográfica (ciudad de Juliaca), generación de residuos sólidos, vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales. La geología de la zona, conformada por sedimentos mayormente carbonatados de la Formación Ayabacas, permite que el pH del agua sea básico.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano

## REFERENCIAS

- Acosta, Jorge, y Harmuth Quispe, Jorge Luis Santisteban, Alexander Acosta. 2008. “Épocas metalogenéticas y tipos de yacimientos metálicos en la margen occidental del sur del Perú: Latitudes 14°s - 18°s”. Congreso Peruano de Geología, 14, Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, PE, 29 setiembre - 3 octubre 2008, Resúmenes. 2008. [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/424/2/Epocas\\_metalogeneticas\\_tipos\\_de\\_yacimientos\\_metalicos.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/424/2/Epocas_metalogeneticas_tipos_de_yacimientos_metalicos.pdf)
- ANA. 2016a. *Priorización de cuencas para la gestión de los recursos hídricos*. 1ra ed. Lima-Peru: Impreso en Kinko's Impresores S.A.C. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2373>
- . 2016b. “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Autoridad Nacional del Agua – DGCRH – ANA: Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.” Lima-Peru: ANA.
- . 2018a. *Lineamientos para la Identificación y Seguimiento de Fuentes Contaminantes relacionadas con los Recursos Hídricos*. Lima-Peru: ANA.
- . 2018b. “Metodología para la Determinación del Índice de la Calidad del Agua ICA-PE, Aplicado a los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales.” Lima-Peru.
- Andrade, Ángela, y Fabián Navarrete. 2004. *Lineamientos para la aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión Integrada del recurso Hídrico*. 1ra ed. Mexico D.F.: © Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA - Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental. <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-11/semana1/andrade01.pdf>
- Balvanera, Patricia, y Helena Cotler. 2009. “4 Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos”. En *Capital natural de México • Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, 1ra ed, 185–245. Mexico D.F.: Biodiversidad Mexicana. [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/03/II04\\_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/03/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf)
- Barrenechea, Ada. 2004. “Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua”. En *Manual I: Teoría*, 1ra ed, 1–55. Lima-Peru. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Cabildo, Maria del Pilar, Maria del Pilar Cornago, Consuelo Escolástico, Soledad Esteban, Concepción López, y Dionisia Sanz. 2013. *Bases químicas del medio ambiente*. Edición di. Madrid- España: © Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid 2013. [https://www.academia.edu/33650531/Bases\\_Quimicas\\_del\\_Medio\\_Ambiente\\_UNED\\_Madrid](https://www.academia.edu/33650531/Bases_Quimicas_del_Medio_Ambiente_UNED_Madrid).
- Carabias, Julia, y Rosalva Landa. 2005. *Agua, Medioambiente y Sociedad: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. 1ra ed. Mexico D.F.: DR © Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria 04510 México, D.F. [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/10/agua\\_medio\\_ambiente\\_y\\_sociedad\\_mexico.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/10/agua_medio_ambiente_y_sociedad_mexico.pdf).
- Cerpa, Luis Moroni., Irma Cereceda, Luis Miguel Muñoz, y Juan Martínez. 2015. “Ocuvi. Geología y Metalogenia”. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. 2015.
- Corrales, I, J Rosell, L.M. Sanchez, J.A. Vera, y L Vilas. 1977. *Estatigrafía*. 1ra ed. Madrid: Editorial Rueda. <https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=46072>

- Cotler, Helena. 2010. "Perspectivas sobre las cuencas hidrográficas de México". En *Introducción en: Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización.*, 1ra ed. Mexico: D.R. © Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1830>.
- Garrido, Arturo, Noemí Gonzáles, Carlos Enriquez, y Maria Luisa Cuevas. 2010. *Delimitación de las Zonas Funcionales de las Cuencas Hidrográficas de México en: Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización.* 1ra ed. Mexico: D.R. © Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V.
- Girardi, Cristóbal, Fernando González, Sebastián Jara, Raquel Charre, Mariela Elorrieta, Elena Sanchis, Andrea Arancibia, y Iván Castillo. 2018. "Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales en: Escenarios Hídricos 2030." Chile. [https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2021/06/XZ-ICAS - Girardi-et-al.-2017-v.0-7.pdf](https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2021/06/XZ-ICAS_-_Girardi-et-al.-2017-v.0-7.pdf).
- INEI. 2013. "Perú: estimaciones y proyecciones de población total y edades quinquenales, según departamento, provincia y distrito, 2005-2015". Lima-Peru. <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioinei/pub/bancopub/est/lib0846/libro.pdf>.
- INGEMMET. 2019. "Base de datos". Sector energía y minas INGEMMET. 2019. <https://portal.ingemmet.gob.pe/web/guest/base-datos-arg>.
- . 2020. *Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3 y 32x4)*. Lima-Peru. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2883>.
- INRENA. 2007. "Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa." Juliaca-Perú. <https://www.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12543/1830>.
- Juarez, Estefany. 2014. *Geología Económica*. 1ra ed. Lima-Peru. [https://www.academia.edu/31072466/Geología\\_económica](https://www.academia.edu/31072466/Geología_económica)
- Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera. 2004. *Ley N° 28271*. Lima-Peru, Peru: Diario Oficial "El Peruano". <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-que-regula-pasivos-ambientales-actividad-minera>.
- Llerena, Carlos. 2003. "Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias, posibilidades de aplicación en Perú. 3er. Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa". Lima-Peru. <https://docplayer.es/38310600-Servicios-ambientales-de-las-cuencas-y-produccion-de-agua-conceptos-valoracion-experiencias-y-sus-posibilidades-de-aplicacion-en-el-peru.html>.
- Mihelcic, James, y Julie Zimmerman. 2012. *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. 1ra ed. Mexico D.F.: ALFAOMEGA. <https://www.alphaeditorial.com/Papel/9789586829076/Ingeniería+Ambiental+Fundamentos++Sustentabilidad++Diseño>
- MMAYA. 2010. *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Bolivia- Metodología PFAFSTETTER*. 1ra ed. La Paz — Bolivia. <https://www.mmaya.gob.bo/>.
- Mosqueira, S. 2014. *Introducción a la Química y el Ambiente*. 1ra ed. Mexico. <https://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/introduccion-quimica-ambiental..>
- Navarrete, E. 2005. *Apuntes de geología general texto del Ing. EDISON NAVARRETE profesor de Geología*

- General FICT – ESPOL 2005*. 1ra ed. [https://www.academia.edu/27868951/APUNTES DE GEOLOGIA GENERAL TEXTO DEL ING EDISON NAVARRETE PROFESOR DE GEOLOGÍA GENERAL FICT ESPOL](https://www.academia.edu/27868951/APUNTES_DE_GEOLOGIA_GENERAL_TEXTO_DEL_ING_EDISON_NAVARRETE_PROFESOR_DE_GEOLOGIA_GENERAL_FICT_ESPOL).
- Ocola, Juan Jose, y Wilber Laqui. 2017. *Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. 1ra ed. Lima-Peru: Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/636>.
- ONU-DAES. 2014. “Decenio Internacional Para la Acción ‘El Agua fuente de Vida’ 2005-2015”. Departamento de Asuntos Economicos y Sociales de Naciones Unidas. 2014. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>.
- Ordoñez, Juan. 2011. *Cartilla técnica: aguas subterráneas - acuíferos*. 1ra ed. Lima-Peru: Sociedad Geográfica de Lima. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25436?show=full>.
- Ros, A. 2010. *El agua*. 1ra ed. Cartagena: Comisión Mundial del Agua Siglo XXI. [https://www.academia.edu/31354888/EL\\_AGUA\\_pdf?email\\_work\\_card=abstract-read-more](https://www.academia.edu/31354888/EL_AGUA_pdf?email_work_card=abstract-read-more).
- SEMARNAT. 2013. *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. 1ra ed. Mexico D.F.: Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- SNMPE. 2004. “Informe quincenal Noviembre II-2004. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía”. Revista Desde Adentro. 2004. <https://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/revista-desde-adentro.html>.
- Valcarcél, Lino, Nancy Alerro, y Daniel Frias. 2009. “El índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos”. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo* 16 (1683–8904): 1–5. <https://www.yumpu.com/es/document/read/37375127/el-indice-de-calidad-de-agua-como-herramienta-para-la-gestion-de->
- Valcarcél, Lino, Nancy Alerro, y Daniel Frias. 2009. “El índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos”. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo* 16 (1683–8904): 1–5.
- Valdivia, E., y R. Rodríguez. 2003. *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Lagunillas (32-u)*. Lima-Peru: INGEMMET.
- Villamagua, G. 2012. *Módulo 3. Gestión Integrada de los recursos Hídricos- GIRH*. Mesoamerica: ©UICN Mesoamérica. [https://www.iucn.org/sites/default/files/content/documents/modulo\\_3\\_girh.pdf](https://www.iucn.org/sites/default/files/content/documents/modulo_3_girh.pdf)