

*Universidad Nacional*  
*“José Faustino Sánchez Carrión”*

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUIMICA



**TESIS**

**Para Optar el Título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**SERIES TEMPORALES PARA LA EVALUACIÓN DEL MONITOREO  
QUÍMICO DEL AGUA EN OPERACIONES MINERAS DEL RIO  
CHECRAS.**

**Autor**

**Jennifer Story, HURTADO REMENTERÍA,**

**Asesor**

**Dr. Edgardo Octavio, CARREÑO CISNEROS**

**CIP. 46389**

**Huacho - Perú**

**2019**

***DEDICATORIA***

***A Mis seres queridos por el apoyo incondicional y espíritu  
positivo para seguir adelante en mi proyecto de vida***

***Jennifer***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios y la intersección de la Virgen por brindarme la fuerza espiritual y a mis seres queridos, de quienes recibo mis bendiciones día a día.*

*Mi agradecimiento a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica quién con sus enseñanzas han permitido formarme integralmente, y en especial a mi asesor por las orientaciones vertidas en la conducción del presente estudio.*

**Jennifer**

## INDICE GENERAL

Portada.	i
Dedicatoria.	ii
Agradecimiento.	iii
Índice general.	iv
Índice de figuras.	vi
Índice de tablas.	vii
Resumen.	viii
Abstrarct.	ix
<b>Introducción.</b>	x
<b>CAPITULO I: Planteamiento del Problema</b>	1
1.1.Descripción de la realidad problemática.	1
1.2.Formulación del problema.	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.	2
1.3.Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos.	3
1.4.Justificación de la investigación.	3
1.4.1. Justificación técnica.	3
1.4.2. Justificación económica.	3
1.4.3. Justificación social.	3
1.5. Delimitación del estudio.	4
1.5.1. Delimitación temporal.	4
1.5.2. Delimitación espacial.	4
1.5.3. Delimitación académica.	4
1.6.Viabilidad del estudio	4
1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.	4
1.6.2. Viabilidad de recurso humano.	4
1.6.3. Viabilidad de recurso financiero.	4

<b>CAPITULO II: Marco Teórico.</b>	5
2.1. Antecedentes de la investigación.	5
2.1.1. Investigación Internacional.	5
2.1.2. Investigación Nacional.	7
2.2. Bases Teóricas.	9
2.3. Definiciones conceptuales	18
2.4. Formulación de hipótesis.	19
2.4.1. Hipótesis general.	19
2.4.2. Hipótesis específicas.	19
<b>CAPÍTULO III. Metodología.</b>	20
3.1. Diseño metodológico.	20
3.1.1. Tipo de investigación.	20
3.2. Población y muestra.	20
3.2.1. Población.	20
3.2.2. Muestra.	20
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.	21
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.	22
3.4.1. Técnicas a emplear.	22
3.4.2. Descripción de los instrumentos.	22
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.	22
<b>CAPÍTULO IV. Resultados.</b>	23
<b>CAPÍTULO V. Conclusiones y Resultados.</b>	51
5.1. Conclusiones.	51
5.2. Recomendaciones.	52
<b>CAPÍTULO VI. Fuentes de Información.</b>	54
<b>ANEXOS.</b>	58

## **Figuras.**

Figura 1.	Ciclo de contabilización del agua.	10
<i>Figura 2.</i>	Concepto de carga y flujo contaminante.	11
Figura 3.	Especies de arsénico encontrada en el agua.	16
Figura 4.	Partes de serie del tiempo.	17
<i>Figura 5.</i>	Modelos de serie de tiempo.	18
Figura 6.	Unidades de pH antes y pH después de operaciones mineras.	24
Figura 7.	Unidades de sólidos totales antes y sólidos totales después de operaciones mineras.	26
<i>Figura 8.</i>	Concentración química del Cobre (mg/L) antes y después de operaciones mineras	27
<i>Figura 9.</i>	Concentración química del Hierro (mg/L) antes y después de operaciones mineras.	29
<i>Figura 10.</i>	Concentración química del Plomo (mg/L) antes y después de operaciones mineras.	30
<i>Figura 11.</i>	Concentración química del Arsénico (mg/L) antes y después de operaciones mineras.	31
<i>Figura 12.</i>	Concentración química del cianuro (mg/L) antes y después de operaciones mineras.	33
<i>Figura 13.</i>	Diagrama de Caja zinc (mg/L) antes y después de operaciones mineras.	34
<i>Figura 14.</i>	pH del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	36
<i>Figura 15.</i>	Sólidos totales en suspensión del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.	37
<i>Figura 16</i>	Sólidos totales en suspensión del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.	38
<i>Figura 17.</i>	Hierro monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	39
<i>Figura 18.</i>	Plomo monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.	40
<i>Figura 19.</i>	Zinc monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.	41

## Tablas

Tabla 1.	Características de aguas residuales según su procedencia.	12
Tabla 2	Operacionalización de variables.	21
Tabla 3	Parámetros físico-químico del monitoreo del agua del río Checras <b>Antes</b> de las operaciones minera	23
Tabla 4.	Parámetros físico-químico del monitoreo del agua del río Checras <b>Después</b> de las operaciones minera	23
Tabla 5.	Estándares Nacionales de Calidad ambiental para agua.	24
Tabla 6.	pH del monitoreo de agua del río Checras antes y después de las operaciones mineras.	36
Tabla 7.	Sólidos Totales en suspensión del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	37
Tabla 8	Cobre - Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	38
Tabla 9	Hierro - Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	39
Tabla 10-	Plomo Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	40
Tabla 11.	Zinc - Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras	41

## **RESUMEN**

El presente estudio pretende determinar las concentraciones químicas (cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro, zinc) y físicas (concentraciones de iones hidrógeno-pH, sólidos totales) del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales. Se usó la base de datos del anuario medio ambiental del Instituto Nacional de Estadística e Informática 2018, el estudio fue no experimental, relacional, se hizo uso de la prueba t de student. Se usaron diferentes herramientas quimiométricas para evaluar los modelos de serie de tiempo que mejor se adecuen al parámetro, determinando el mejor para cada uno de ellos tanto físico o químicos y pruebas de hipótesis, haciendo uso del software Risk Simulator y Stata v14 respectivamente. Los resultados obtenidos fueron comparados con los Estándares de Calidad de Aguas del Perú (ECA), 2017. Se concluye que es posible monitorear en el tiempo la calidad del agua producto de las operaciones mineras mediante series de tiempo, encontrándose para cada parámetro sus niveles de concentración respectivo.

**Palabras Clave:** Antropogénica, Quimiometria, serie de tiempo.



## **ABSTRACT**

The present study aims to determine the chemical concentrations (copper, iron, lead, arsenic, cyanide, zinc) and physical concentrations (concentrations of hydrogen ions-pH, total solids) of the water monitoring of the Czech river as a result of mining operations through time series. The database of the environmental yearbook of the National Institute of Statistics and Informatics 2018 was used, the study was non-experimental, relational, the student's t-test was used. Different chemometric tools were used to evaluate the time series models that best suit the parameter, determining the best for each of them, either physical or chemical and hypothesis tests, using the Risk Simulator and Stata v14 software respectively. The results obtained were compared with the Water Quality Standards of Peru (ECA), 2017. It is concluded that it is possible to monitor the quality of the water product of the mining operations over time by time series, finding for each parameter their levels of respective concentration

**Keywords:** Anthropogenic, Chemometric, time series.

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente se ha demostrado que las operaciones mineras vienen originando a través del agua deterioro del medio ambiente es así que diferentes estudios han constatado que los potencial riesgos en salud es por la exposición de diferentes metales vertidos a diferentes efluentes, elementos químicos que causan potencialmente efectos en el medio ambiente y en la salud ya sea por exposición o a través del consumo de agua. El uso de estas aguas en la producción de vegetales también absorbe diferentes concentraciones de estos metales.

Por lo que en el presente estudio se pretende evaluar las posibles concentraciones de minerales en el agua del Río Checra a través del tiempo.

En el capítulo I, se fundamenta la problemática de la investigación; se definen los objetivos, justificación y la delimitación con la que se enmarca el estudio de investigación, considerándose además la viabilidad del trabajo de investigación.

El capítulo II se establecen los antecedentes de la investigación, el marco teórico. Se define la hipótesis general y específicas.

El capítulo III, se describe el diseño metodológico, los tipos de investigación, el nivel y enfoque de la investigación. Se identifica la población y se determina la muestra; se describe las técnicas e instrumentos empleados en la recolección de datos del presente estudio.

En el capítulo VI, precisan los resultados obtenidos y su interpretación.

En el capítulo V, se elabora la discusión, así como las conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo VI, se hace referencia a las diferentes fuentes bibliográficas usadas en el estudio.

# **CAPITULO I: Planteamiento del Problema**

## **1.1.Descripción de la realidad problemática.**

Actualmente muchos sistemas fluviales han sido adversamente impactados por el exceso de agua y la contaminación, debido a un rápido crecimiento doméstico, agrícola, minero y de actividades industriales, (Vörösmarty et al. 2010). El sistema fluvial se ha contaminado sistémicamente al aumentar el desarrollo agrícola, minero, industrial y urbano. (Ashton y Dabrowski 2011).

Las prácticas industriales especialmente las mineras pueden dejar un legado de contaminación que a menudo es difícil de evaluar, ya que rara vez hay mediciones antes y después de estas operaciones. El agua es el principal factor impulsor de la movilización y el transporte de minerales la que muchas veces viene siendo sometida a una serie de trastornos antropogénicos, como un resultado del rápido desarrollo de la minería.

El río Checras, principal efluente del Río Huara-Región Lima Provincias, se ha visto afectado negativamente principalmente por las actividades antropogénicas de la empresa minera Los Quenuales S.A. en la cuenca ubicada en Lagsaura. La calidad del agua y los sedimentos del río se ha monitoreado por más de 10 años (2008 -2017) antes y después de las operaciones mineras. Se encontró que las concentraciones de algunos de los metales en el agua eran altas y que probablemente excedían los valores de referencia, de acuerdo a la legislación peruana establecidas en la ley de aguas, y que las concentraciones de metales en los sedimentos probablemente se encontraban por encima de los valores de referencia para Cr, Fe, , Pb, Cu, As, CN-y Zn los que están asociados con la contaminación minera y pueden ser tóxicos; así como de otros parámetros en el agua como: concentración de iones hidrógeno (pH) y sólidos totales.

Por lo que, es necesario evaluar quimiométricamente las concentraciones de Cr, Fe, Pb, Cu, As, CN<sup>-</sup>, Zn, pH y sólidos totales antes y después de las operaciones mineras de la Empresa Los Quenuales en las aguas del río Checras.

## **1.2. Formulación del problema.**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles son las concentraciones químicas (cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro, zinc) y físicas (concentraciones de iones hidrógeno-pH, sólidos totales) del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Existe diferencia significativa entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras?.

¿Existe diferencia significativa entre las concentraciones químicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras?.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General.**

Determinar las concentraciones químicas (cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro, zinc) y físicas (concentraciones de iones hidrógeno-pH, sólidos totales) del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar la diferencia significativa entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante.
- Determinar la diferencia significativa entre las concentraciones químicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales.

## **1.4. Justificación de la investigación.**

### **1.4.1. Justificación técnica.**

El presente estudio está justificado, ya que el problema de calidad del agua del río Checras quien contribuye como efluente del río Huaura, es importante porque al encontrar hallazgos que indican la presencia de contaminación, se podrán implementar medidas de control para reducir la contaminación de los ríos de fuentes antropogénicas. Considerando que este río es efluente del río Huaura cuyas aguas abajo son utilizadas para uso agrícola y para consumo humano.

### **1.4.2. Justificación económica.**

La implementación de procedimientos quimiométricos permitirá contar con una base de datos en el manejo en el tipo del comportamiento de las aguas del río Checras y evitar en el futuro sobre costo por las consecuencias de deficiencia del agua.

### **1.4.3. Justificación social.**

El conocimiento en el tiempo de la calidad del agua permitirá tomar acciones de prevención y así evitar posibles casos de contaminación por consumo de agua de mala calidad.

## **1.5. Delimitación del estudio.**

### **1.5.1. Delimitación temporal.**

El estudio esta enmarcado dentro del período del 2008 al 2017, siendo su proyección al 2023

### **1.5.2. Delimitación espacial.**

El estudio se realizó en base a la base de dato del INEI. 2018.

### **1.5.3. Delimitación académica.**

El estudio elaborado cumple con las exigencias establecidas en la normatividad de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, complementándose con las líneas s de formación en la carrera de Ingeniería Química.

## **1.6. Viabilidad del estudio**

### **1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.**

El tema desarrollado en la presente investigación dispone de diferentes técnicas y repositorios de la información en estudio.

### **1.6.2. Viabilidad de recurso humano.**

El presente es viable porque cuenta con especialista en el tema de procesamiento de datos estadísticos para Ingeniería Química (quimiometría).

### **1.6.3. Viabilidad de recurso financiero.**

Los recursos requeridos para el desarrollo del estudio no demandan elevadas cantidades de dinero. Lo que es viable la inversión del tesista.

## **CAPITULO II: Marco Teórico.**

### **2.1. Antecedentes de la investigación.**

#### **2.1.1. Investigación Internacional.**

Ruiz, Fechner, Moresi & Vázquez (2016). *En su estudio DBO5 y otros parámetros físico-químicos como indicadores de contaminación. Río Paraná, Costa Corrientes Capital, Argentina.* Tuvo como **objetivo** evaluar algunas características fisicoquímicas del agua del río Paraná. **Material y Métodos.** Las determinaciones físico-químicas fueron realizadas empleando métodos instrumentales, colorimétricos y volumétricos tomados del Standard Methods for Water and Waste waters (APHA-AWWA—WPCF). Parámetros. físico-químicos: pH-Turbiedad-Conductividad-Alcalinidad-Cloruros-Serie Nitrogenada, DBO5. La información se presenta como variaciones de los siguientes parámetros: pH, turbiedad, conductividad, alcalinidad, cloruros, serie nitrogenada y DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), durante el período 2002-2003. Los puntos de monitoreo se eligieron a lo largo de la costa del río en la ciudad de Corrientes, Provincia de Corrientes, Argentina. **Resultados.** Como se resultados se encontró que no hubieron cambios significativos. **Conclusiones.** El monitoreo permitió evaluar cambios en los parámetros físico-químicos a lo largo de años en diferentes estaciones contra otra información histórica generada por el grupo de trabajo. Cambios que contribuyen a justificar la presencia de algas. Los registros obtenidos son presentados en tablas como valores de cada parámetro (máximos, mínimos y promedios) versus puntos de monitoreo, para las determinaciones: pH, turbiedad, conductividad, cloruros, alcalinidad y serie nitrogenada.

Addo-Bediako, Matlou, & Makushu, (2018). En su investigación *Heavy metal concentrations in water and sediment of the Steelpoort River, Olifants River System, South Africa. African Journal of Aquatic Science*. El estudio tuvo como objetivo, evaluar las concentraciones de metales pesados en el agua y los sedimentos del río Steelpoort, Sistema del río Olifants, Sudáfrica, **Material y Métodos**. Se utilizó el ANOVA para identificar si había diferencia significativa en las concentraciones de metales en el agua y los sedimentos en diferentes lugares del río y las diferentes estaciones. Se utilizó el análisis de correlación de Spearman para determinar si había una asociación lineal entre los elementos traza. Se utilizó el análisis de componente principal (PCA) para procesar los datos e identificar y las posibles fuentes de contaminación por metales pesados de los sedimentos. Los análisis se realizaron utilizando STATISTICA. paquete de software (Versión 10.0; Statsoft, Inc.). **Resultados**. Se encontró que las concentraciones de algunos de los metales en el agua eran altas y excedían los valores de referencia y que las concentraciones de metales en los sedimentos se encontraban por encima de los valores de referencia para Cr, Cu y Zn. . Las altas concentraciones de Cu y Zn en el Sitio 1 y el Sitio 2 (aguas arriba) podrían haberse originado a partir de fuentes antropogénicas, como los fertilizantes y pesticidas de la descarga de desechos agrícolas, mientras que las altas concentraciones de Cr en el Sitio 3, Sitio 4 (corriente media) y El sitio 5 (aguas abajo) podría haberse originado de los desechos de la mina, y de los desechos domésticos / industriales, respectivamente. Los principales resultados del análisis de componentes mostraron dos componentes principales: PC-1 con alta carga positiva de Cu y Mn, y PC-2 con alta carga positiva de Zn. Estos hallazgos indican la presencia de contaminación. Por lo tanto, se deben implementar medidas de control para reducir la contaminación de los ríos de fuentes antropogénicas.



Baborowski & Jürgen (2016). En su estudio Flood-event based metal distribution patterns in water as approach for source apportionment of pollution on catchment scale: Examples from the River Elbe. Tuvo como objetivo verificar que cada evento de inundación se caracteriza por una estructura interna de la calidad del agua formada por la aparición de valores máximos de los parámetros de calidad del agua en diferentes momentos durante el evento. Empleó la Directiva Europea sobre el Marco del Agua (EU-WFD), e llevaron a cabo investigaciones de inundaciones basadas en eventos en un sitio de muestreo en el Medio Elba. Las investigaciones se basaron en una estrategia de muestreo comparable relacionada con el alta. Se realizaron cuatro campañas entre 1995 y 2006. Como resultado, se determinó que la calidad del agua durante la inundación fue influenciada principalmente por la fuente de los metales en el área de captación y su distancia desde el punto de muestreo. Sin embargo, el transporte de metales en forma disuelta, coloidal o particulada y los cambios en sus proporciones durante la inundación no fueron decisivos para la formación de la estructura. La comparación de las estructuras obtenidas de eventos en diferentes años indica la tendencia de contaminación en el área de captación. Concluyendo que las inundaciones en el área de captación, así como la situación de contaminación tendrá un impacto en la evolución temporal y la cantidad de valores máximos durante la inundación.

### **2.1.2. Investigación Nacional.**

Cárdenas (2018). En su tesis *evaluación del efluente líquido de las actividades de la empresa minera Alma Minerals Perú S.A en El Río Ranyac Distrito De Huachon – Provincia y Región Pasco 2018*. Objetivo. Determinar la calidad de las aguas del efluente líquido de las actividades de la Empresa Minera Alma Minerals Perú S.S. en el río Ranyac-distrito de Huachon-provincia y Región Pasco 2018. Material métodos. La investigación fue descriptiva de tipo transversal, la población fue considerada la longitud del rio Ranyac 12

345 m y la muestra la determinación de tres puntos. El análisis de las muestras fueron realizadas por la empresa INACAL. Concluye que los resultados reportados del efluente que se vierte sin ningún tipo de tratamiento superando los límites máximos permisibles en Hierro Disuelto, Plomo Total, Zinc Total, estos al verter al río Ranyac incrementar su presencia en este río con respecto a las aguas arriba.

Padilla (2016). En su artículo *Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú*. Tuvo como objetivo realizar un estudio hidrológico y determinar la calidad de agua de uso agrícola en la cuenca del río Jequetepeque (Perú), lo que permitirá realizar una gestión integrada de la cuenca. Material y Métodos. El estudio fue descriptivo, se determinaron parámetros físico-químicos, de acuerdo a la normatividad: Ley Recursos Hídricos D.L. N°. 29338. Los parámetros físicos químicos se ejecutaron de acuerdo a lo establecido en el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de Agua. Estos parámetros fueron contrastados con los estándares nacionales establecidos por el decreto supremo N° 002-2008 del Ministerio del medio ambiente, categoría 3 – Riego de vegetales y bebidas de animales, la Ley de Recursos Hídricos N° 29338 y ECA-MINAM del año 2012 y la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Resultados. Los valores de pH oscilan entre 7,17 como valor mínimo y 7,56 valor máximo, los valores promedio de las concentraciones de sólidos totales disueltos fueron entre 194,38 y 305,77 mg/L, encontrándose dentro de los estándares de la Unión Europea (CEE). Concluye que los parámetro físicos y químicos estudiados se encuentran dentro de los estándares establecidos.

## **2.2. Bases Teóricas.**

### **Agua.**

La Organización Mundial de la Salud (2015), define el agua como uno de los componentes más importantes para la vida. Actualmente la magnitud de cantidades de agua dulce que existe en la tierra son limitadas y su calidad viene presentando variabilidad. La calidad del agua se ve en riesgo por la existencia o trasmisión de agentes biológicos patógenos tóxicos infecciosos, elevada presencia o por verter productos químicos y radiaciones (químicos o físicos) distribuyéndose en la misma como parte de un efluente al cual no pertenece, constituyéndose en una modificación o alteración indeseable de la composición natural de un medio; por ejemplo, agua, aire o alimentos (Peñaloza, 2012).

El agua es un factor importante de cambio geológico, medioambiental y global, trascendental para varios de los procesos físicos, químicos y biológicos, también controla la temperatura de la Tierra, en parte por el efecto invernadero asociado al vapor de agua, ya que si no fuera por ese efecto la temperatura media de nuestro planeta sería 30 °C inferior. El ciclo del agua presume de una contabilidad estricta de aproximadamente cada tres mil cien años, reciclándose un volumen de agua equivalente al de todos los océanos del mundo pasa a través de la atmósfera, llevado hasta allí por evaporación y luego es expulsado por precipitación. (Luis, 2016).

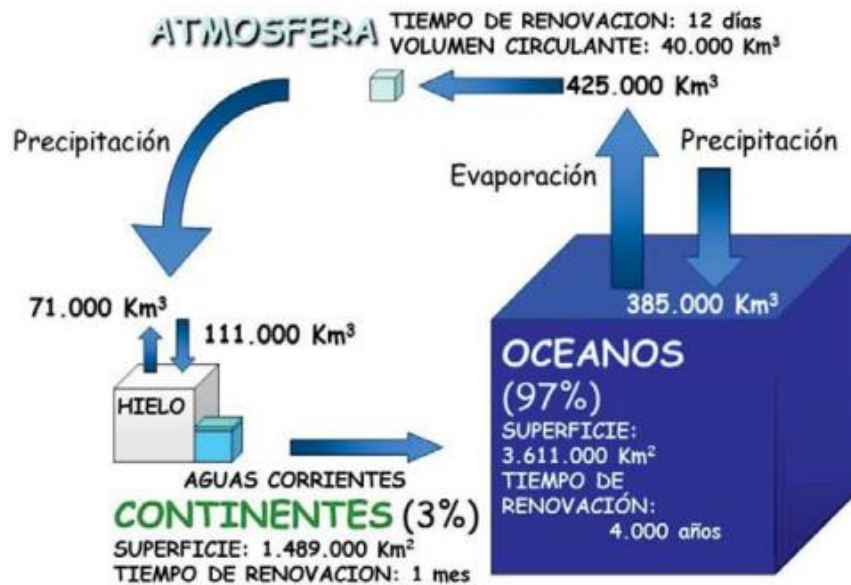


Figura 1. Ciclo de contabilización del agua.

Como puede observarse en figura 1 a través del ciclo de contabilización (hidrobiológico) del agua, todos los cuerpos de esta sustancia están interconectadas, desde la atmósfera hasta los océanos.

Es así que Sierra (2011, p27-29) define estos cuerpos como:

**Ríos.** denominados comúnmente corrientes, se caracterizan porque discurren en una sola dirección, es variable y depende de las condiciones climáticas y de las condiciones del área de drenaje. Generalmente son fluidos mezclados, su la calidad del agua es importante la consideración del sentido del flujo.

**Lagos.** Este sistema acuático por su baja velocidad es estático. Su calidad del agua, depende del lecho subterráneo y de su estado trófico en que se única su cadena alimenticia.

**Aguas subterráneas.** Este acuífero generalmente es de flujo estable, dependen de la porosidad y la permeabilidad del estrato.

También tenemos cantidades de agua consideradas cuya hidrodinámica esta: Embalses, entre lagos y ríos; ciénagas, entre lago y un acuífero freático; estuarios, entre rio y mar a los mares.

## Calidad del agua.

Según Palacios, Martínez & Estrada (2014); manifiestan que:

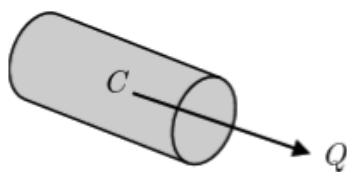
*“La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química. Dentro de esta perspectiva, la calidad del agua podrá definirse no solamente por los parámetros cuantitativos de sus características físico-químicas u organolépticas sino por las posibilidades intrínsecas de contar con un recurso óptimo en condiciones actuales con perspectivas futuras”.*

Desde la perspectiva de Sierra, se puede describirse que el término calidad del agua depende del uso del recurso. Según Barrenechea “Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria” (s/a, p. 3).

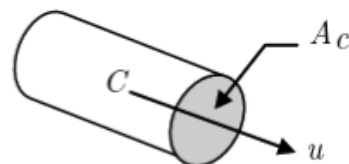
La cantidad de carga contaminante ( $w$ ) que ingresa a una masa ( $m$ ) de agua depende además del tiempo o caudal ( $Q$ ) que lo transporta y del área, donde:

$$W = Q * C = Q * m/v \rightarrow w = m/t$$

$V$  = volumen,  $m$  la masa y  $t$  tiempo



(a) Carga contaminante ( $W = C * Q$ )



(b) Flujo contaminante ( $J = u * C$ )

Figura 2. Concepto de carga y flujo contaminante.

FUENTE: Sierra. (2011).

La calidad de un sistema acuático Sierra. La define como:

*“introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas, como natación, buceo, canotaje, pesca, etc., e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, etc. La calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:*

- i) Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.) químicas (pH, acidez) o biológicas (bioensayos).*
- ii) Utilizando un índice de calidad del agua.” (p. 47).*

Tabla 1.

*Características de aguas residuales según su procedencia.*

<i>Característica</i>	<i>Procedencia</i>
Color	ARD, ARI, degradación natural de la materia orgánica
Olor	ARD, ARI
Sólidos	ARD, ARI, erosión, infiltración, conexiones erradas
Temperatura	ARD, ARI
Carbohidratos	ARD, ARI, ARC
Grasas y aceites	ARD, ARI, ARC
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	ARI
Proteínas	ARD, ARI
Detergentes	ARD, ARI
Metales pesados	ARI
Fósforo	ARD, pesticidas
Nitrógeno	ARD, ARI
H <sub>2</sub> S, Metano	Descomposición de materia orgánica
Parásitos y virus	ARD

ARD: Aguas residuales domésticas    ARC: Aguas residuales comerciales  
ARI: Aguas residuales industriales

FUENTE: Sierra. (2011).

## **PARAMETROS QUIMICOS.**

### **3.1.1. pH**

De acuerdo con los diferentes estándares propuestos por la OMS, ICMR, CPCB, BIS (enumerados en la Tabla 1), el pH es un indicador químico cuyo rango se encuentra entre 6.5 y 8.5. Si el pH es inferior a 6.5, interrumpe la producción de vitaminas y minerales en el cuerpo humano. Más de 8,5 valores de pH causan el sabor del agua más salada y causan irritación ocular y trastorno de la piel cuando el pH es superior a 11. El agua de lluvia que no contiene minerales útiles para el cuerpo humano tiene un pH de 5,5 a 6 y no es dañina si se usa como bebida. El pH en el rango 3.5–4.5 afecta la vida acuática (Adarsh y Mahantesh, 2006, Leo y Dekkar, 2000), considerado como  $\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$

### **3.1. Parámetros de calidad del agua**

**El TDS** se determina para medir la cantidad de materiales sólidos disueltos en el agua (superficie, suelo). Los valores altos de TDS causan efectos perjudiciales para la salud pública, como el sistema nervioso central, provocando parálisis de la lengua, los labios y la cara, irritabilidad, mareos. La presencia de productos químicos orgánicos sintéticos incluso en pequeñas concentraciones imparte sabores y olores desagradables y ofensivos a los peces y plantas acuáticas (Chang, 2005).

#### **Fierro**

El hierro es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre constituye el 5,6% y generalmente está como férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y en la superficie se le encuentra en estado oxidado (Hounslow, 1995). La contaminación del agua por el hierro puede ser geogénica o a través

de efluentes industriales y desechos domésticos. El hierro es un elemento esencial para la hemoglobina, la mioglobina y varias enzimas, y su deficiencia conduce a la anemia y la pérdida de bienestar. Sin embargo, su sobrecarga causa graves problemas de salud en seres humanos, como cáncer de hígado, diabetes, cirrosis hepática, enfermedades cardíacas e infertilidad, etc. La presencia de concentraciones más altas de hierro cambia de color (producto de oxidación de hierro ferroso), sabor, olor al agua, deja manchas en la ropa (en concentraciones superiores a 3,0 mg/L), es corrosivo (OMS, 1995), según Palacio, et. al, su presencia se debe a las características del CO<sub>2</sub> de disolver sobre la corteza terrestre los compuestos férricos a hierro soluble (p. 70).

Tal como lo manifiesta Chacón (2016) con respecto al hierro:

*En condiciones reductoras, el hierro existe en estado ferroso. En ausencia de iones que forman complejos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo. Al exponerlo al aire o al añadir oxidantes, el hierro ferroso se oxida al estado férrico y puede hidrolizarse para formar óxido férrico hidratado insoluble (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 1992). p.9*

## **Mercurio**

El mercurio (Hg); uno de los metales de mayor toxicidad, es el único metal de la tabla periódica que a temperatura ambiente se presenta líquido, de color plateado, su punto de ebullición es de 357°C su punto de ebullición -38.4°C, su concentración en la corteza terrestre es de 0.1 µg.g<sup>-1</sup>, tiene la capacidad de formar aleaciones como el oro y la plata. La acción de bacterias produce el metilmercurio, (HgCH<sub>3</sub>). Sustancia bioacumulada en el pescado y que puede llegar al hombre producto de la cadena alimenticia. López, A. M. A., & Martínez, T. M. R. (2018, p. 27-28)



## **Plomo.**

Según La Organización Mundial de la Salud citado por Téllez-Rojo, et.all. el plomo (Pb) es un metal xenofóbico, considerado entre los 10 metales más tóxicos causante de discapacidad intelectual en el mundo. El Pb es un metal pesado, tóxico para el ser humano, y que está presente en el ambiente y en emisiones derivadas de actividades humanas. La exposición se da por tres vías: respiratoria, digestiva y dérmica o cutánea y causar efectos nocivos para la salud del hombre a nivel celular, este metal se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y distribuida discriminadamente en el ambiente (300 veces más que por medios naturales), debido a fuentes fijas o móviles contaminantes antropogénica. Rodríguez, Cuéllar, Maldonado & Suardiaz (2016, p. 252).

El sulfato de plomo, reacciona con gran dificultad o lentamente con las aguas superficiales, presenta tendencia a formar carbonato de plomo. En caso de cobre, este tiene color rojo, que en estado de oxidación puede cambiar a pardo, rojo oscuro o verde

## **Cobre.**

El cobre considerado como un metal de transición, se encuentra en gran cantidad en el núcleo de la tierra. Su estado nativo es calcopirita,  $\text{CuFeS}_2$ . Sus fuentes principales tenemos: calcopirita, cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Malaquita ( $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ ), azurita, cubanita ( $\text{Fe}_2\text{CuS}_3$ ), entre otras. Entre sus procesos de extracción tenemos el térmico (pirometalurgia) y el acuoso (hidrometalurgia), (Valle, 2004, pp 11-12)

## **Arsénico**

Según Martínez y Gasquez (2005) en Galindo, Fernandez-Turiel, J. L., Parada, M. Á., & Gimeno, D. (2005), el As se encuentra en su naturaleza en los siguientes estados de oxidación: As (V), As (III), As (0) y As (-III) . La contaminación del agua por arsénico se produce por dos vías: vía natural y la antropogénica. En la vía natural tenemos emisiones

volcánicas, fluidos magmáticos, etc. Y en la vía antropogénica, uso de plaguicidas, minería, operaciones en la industria metalúrgica, líquidos conservantes de madera, entre otros.

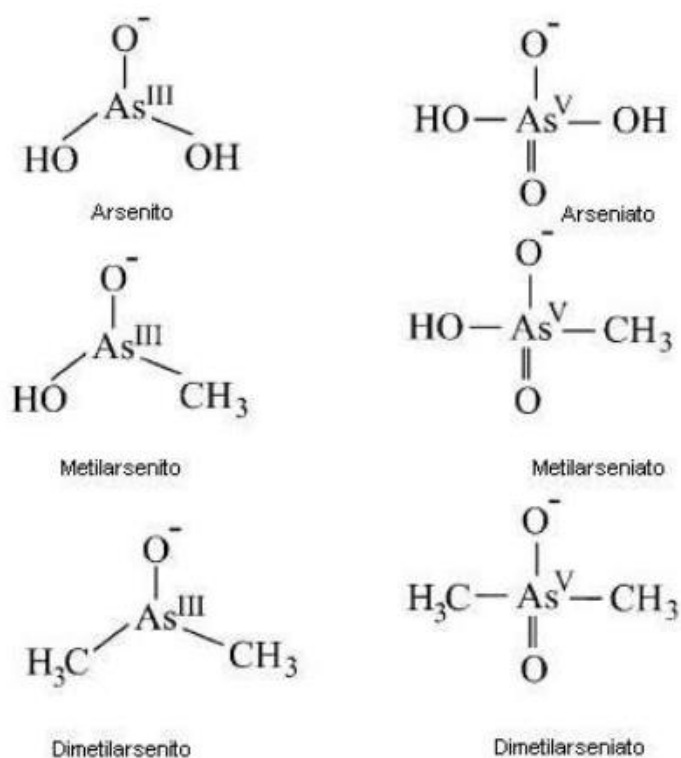


Figura 3. Especies de arsénico encontrada en el agua.

**Fuente:** Martínez y Gasquez ( 2005 )

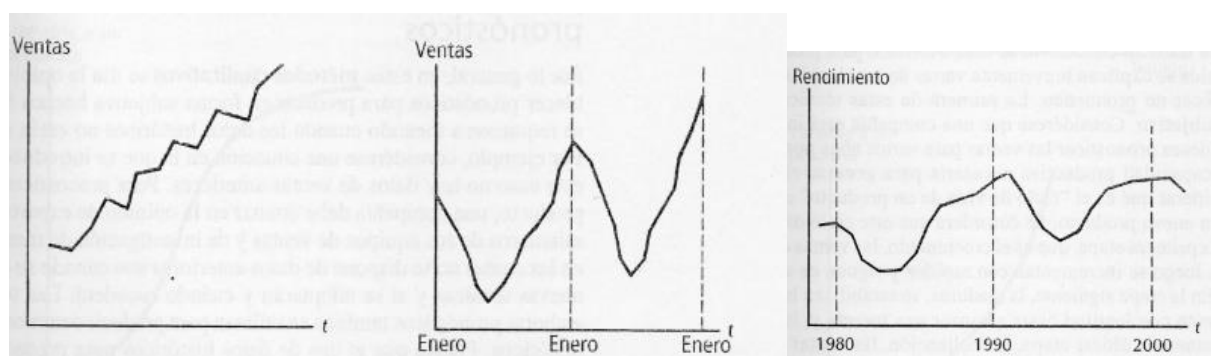
## SERIES DE TIEMPO.

Una serie de tiempo (time series) es definida como un conjunto de datos numéricos observados de una o varias variables obtenidos en diferentes intervalos de tiempo, Hernández (2007) y Pérez (2006), en ese sentido para Reyes (2016), cuando se hace referencia a la medición de valores observados o de una secuencia de valores durante un tiempo sistematizados cronológicamente se les conoce generalmente como serie temporales. Browerman, O'Connell & Koehler (2007), definen series de tiempo como “una sucesión cronológica de observaciones de una variable particular”, (p. 4). Sus partes son: tendencia, ciclo, variaciones estacionales y fluctuaciones irregulares.

**Tendencia.-** Componente de la serie de tiempo que indica un cambio de temporalidad con movimientos hacia arriba y hacia abajo y a largo plazo. (Browerman, 2007).

**Ciclo.** Componente de la serie que recoge oscilaciones irregulares y periódicas de amplitud superior a un año. (Anderson, 1995).

**Variaciones estacionales.** Recaba oscilaciones originadas alrededor de la tendencia, de forma reiterativa y en periodos parecidos o menores a un año. (Browerman, 2007).



a) Tendencia.

b). Variación estacional

c). Ciclo.

Figura 4. Partes de serie del tiempo.

Desde la perspectiva del tiempo, se puede decir que una serie de tiempo sirve para pronosticar la tendencia o comportamiento de un conjunto de datos seriados cronológicamente, en figura se muestra los modelos más usados en series de tiempo teniendo en cuenta la estacionalidad y tendencia de los datos. Por ejemplo si los datos de la variable cronológicamente no muestran una tendencia pero si estacionalidad los métodos adecuados serían Aditivo estacional o multiplicativo estacional.

	No Estacionalidad	Con Estacionalidad
Sin Tendencia	<i>Promedio Movil Simple</i>	<i>Aditivo Estacional</i>
Sin Tendencia	<i>Suavizamiento Exponencial Simple</i>	<i>Multiplicativo Estacional</i>
Con Tendencia	<i>Promedio Movil Doble</i>	<i>Aditivo Holt-Winter's</i>
Con Tendencia	<i>Suavizamiento Exponencial Doble</i>	<i>Multiplicativo Holt-Winter's</i>

Figura 5. Modelos de serie de tiempo.

FUENTE: Simulador de riesgo. Mun (2012).

### 2.3. Definiciones conceptuales

**Antropogénica.** - actividades del ser humano sobre en el medio ambiente de la Tierra que influencia significativamente sobre ella.

**Monitoreo.**- “Vigilancia por métodos químicos, físicos o biológicos, continua o por períodos largos en un área determinada o de los efectos de aquella sobre los componentes bióticos y abiótico del medio”. (Mata, A. ,2005).

**Nivel Trófico.** Posición en que se ubican a los seres vivos dentro de la cadena alimenticia, depende del ecosistema en que se ubican y de donde obtienen materia y energía.

**Quimiometría.** Uso de la estadística en las ciencias químicas.

**Xenobiótico,** material extraño o que no es producido por el organismo vivo.

## **2.4. Formulación de hipótesis.**

### **2.4.1. Hipótesis general.**

Las concentraciones químicas (cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro, zinc) y físicas (concentraciones de iones hidrógeno-pH, sólidos totales) del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales nos permitirá conocer a través del tiempo el comportamiento físico y/o químico de los minerales mencionados.

### **2.4.2. Hipótesis específicas.**

- Existe una diferencia significativa y elevada entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante y las normas de calidad de agua.
- 
- Existe una diferencia significativa y elevada entre las concentraciones químicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales y las normas de calidad de aguas.

## **CAPÍTULO III. Metodología.**

### **3.1. Diseño metodológico.**

La investigación es de tipo básica, no experimental, cuantitativa, relacional.

### **3.2. Población y muestra.**

**3.2.1. Población.** La población esta conformada por los diferentes puntos del cauce del Río Checras

**3.2.2. Muestra.** Es la subpoblación de los diferentes puntos donde se han tomado las muestras y que son provenientes de la base de datos del INEI 2018.

### 3.3. Operacionalización de variables e indicadores.

Tabla 2. Operacionalización de variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones.	Indicadores	Escala de medición
Serie de tiempo	Sucesión cronológica de observaciones de una variable particular. Browerman, O`Connell & Koehler (2007),	Conjunto de datos determinados en el tiempo mediante sucesión cronológica para medir los parámetros físicos y químicos en agua del Río Checras.	Modelos de serie del tiempo	Tendencia  Estacionalidad	Promedio Móvil simple Aditivo estacional. Suavizamiento exponencial simple. Multiplicativo estacional Promedio Móvil doble. Aditivo Holt-Winter`s Suavizamiento Exponencial doble. Multiplicativo Holt Winter`s
Monitoreo del agua	Vigilancia por métodos químicos, físicos o biológicos, continua o por períodos largos en un área determinada o de los efectos de aquella sobre los componentes bióticos y abiótico del medio.	Vigilancia por métodos químicos, físicos con apoyo de herramientas quimiométricas para evaluaciones cronológicas de modelos de serie de tiempo en el Río Checras.	Monitoreo Físico.  Monitoreo Químico	Potencial de hidrógeno. Sólidos totales.  Cobre Hierro Plomo Arsénico Cianuro Zinc	pH  (mg/L). STS  (mg/L). (mg/L). (mg/L). (mg/L). (mg/L). (mg/L).

### **3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.**

La técnica que se uso fue la observación, y posteriormente se hizo uso del anuario de dato ambientales 2018 de Instituto Nacional de estadística e Informática.

### **3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.**

En el presente trabajo se empleó el análisis univariado de series de tiempo a las mediciones de los diferentes parámetros físicos (pH, STS) y químicos (Cu, Fe, CN, As, ) mediante un simulador Risk Simulator a fin de obtener datos del modelo que permita predecir parámetros en estudio en mediano plazo y realizar con facilidad predicciones a partir de un número reducido de datos. Posteriormente los datos fueron contrastados mediante pruebas de medias (t student) con los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, haciendo uso del software Stata v. 14.



## CAPÍTULO IV. Resultados.

### ESTADÍSTICA Descriptiva.

Tabla 3.

*Parámetros físico-químico del monitoreo del agua del rio Checras Antes de las operaciones minera.*

Parámetro	N válido	Media	Se (mean)	Mediana	DS	Mín.	Máx.	CV
pH ( <i>Unidad de pH</i> )	12	8,181	0,049	8,212	0,170	7,858	8,395	0,021
Sólidos Totales en Suspensión ( <i>mg/L</i> )	12	87,938	20.374	68,582	70,579	8,320	287,167	0,803
Cobre ( <i>mg/L</i> )	12	0.011	0.004	0.006	0.012	0.003	0.046	1.150
Hierro ( <i>mg/L</i> )	12	3.210	0.617	2.508	2.136	0.719	8.093	0.665
Plomo ( <i>mg/L</i> )	12	0.014	0.008	0.006	0.027	0.004	0.100	1.881
Arsénico ( <i>mg/L</i> )	12	0.005	0.001	0.004	0.002	0.002	0.010	0.548
Cianuro ( <i>mg/L</i> )	12	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.009	0.937
Zinc ( <i>mg/L</i> )	12	0.120	0.015	0.103	0.053	0.047	0.221	0.443

FUENTE: INEI (2018). Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2018. Lima-Perú.

Tabla 4.

*Parámetros físico-químico del monitoreo del agua del rio Checras Después de las operaciones minera.*

Parámetro	N válido	Media	Se (mean)	Mediana	DS	Mín.	Máx.	CV
pH ( <i>Unidad de pH</i> )	12	8.186	0.056	8.266	0.195	7.727	8.376	0.028
Sólidos Totales en Suspensión ( <i>mg/L</i> )	12	100,943	18,084	83,792	62,644	46,364	275,167	0,621
Cobre ( <i>mg/L</i> )	12	0.011	0.003	0.007	0.011	0.004	0.040	0.945
Hierro ( <i>mg/L</i> )	12	3.186	0.634	2.634	2.196	0.468	8.076	0.689
Plomo ( <i>mg/L</i> )	12	0.015	0.008	0.006	0.027	0.004	0.100	1.858
Arsénico ( <i>mg/L</i> )	12	0.005	0.001	0.004	0.004	0.002	0.017	0.816
Cianuro ( <i>mg/L</i> )	12	0.003	0.001	0.002	0.004	0.001	0.013	1.083
Zinc ( <i>mg/L</i> )	12	0.123	0.014	0.109	0.050	0.059	0.233	0.409

FUENTE: INEI (2018). Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2018. Lima-Perú.

Tabla 5.

*Estándares Nacionales de Calidad ambiental para agua.*

Parámetro	CATEGORÍA I		CATEGORÍA III
	Destinada a la producción de agua potable. A1	Destinada para recreación. B1	Para riego de vegetales y bebidas animales.
pH ( <i>Unidad de pH</i> )	6,5 - 8,5	6 – 9 (2,5)	6,5 – 8,4
Sólidos Totales en Suspensión ( <i>mg/L</i> )	1 000	-	-
Cobre ( <i>mg/L</i> )	2	2	0,5
Hierro ( <i>mg/L</i> )	0,3	1	1
Plomo ( <i>mg/L</i> )	0,01	0,01	0,05
Arsénico ( <i>mg/L</i> )	0,01	0,01	0,1
Cianuro ( <i>mg/L</i> )	0,005	0,022	0.1
Zinc ( <i>mg/L</i> )	3	3	24

FUENTE: Adaptado del DS N° 004-2017-MINAM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. 2017. Perú

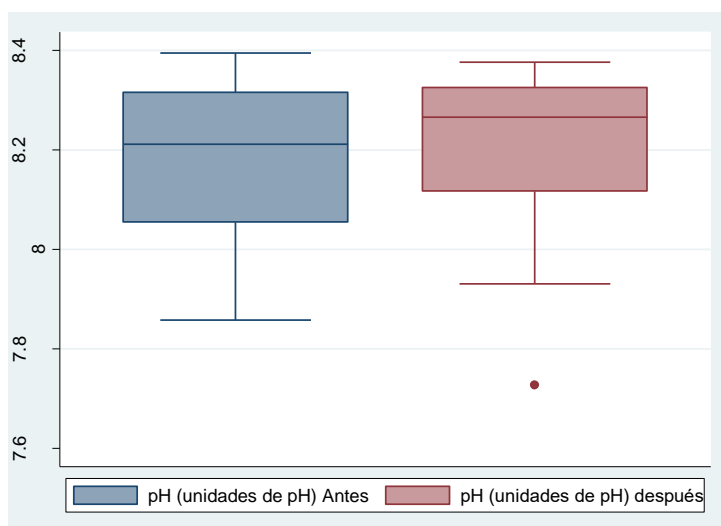


Figura 6. Unidades de pH antes y pH después de operaciones mineras.

### Descripción del pH antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 6, se observan los resultados de unidades de pH, correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la

Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 8,181 unidades de pH; la mediana de 8,212 indicando que el 50% de las unidades de pH están por debajo de 8,212 y el 50% está por encima de 8,212; los datos se dispersan 0,170 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,049 unidades de pH.

### **Descripción del pH después de las operaciones mineras.**

En tabla 4 y figura 6, se observan los resultados de unidades de pH, correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checra después de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 8,186 unidades de pH; la mediana de 8,266 indicando que el 50% de las unidades de pH están por debajo de 8,266 y el 50% está por encima de 8,266; los datos se dispersan 0,195 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,056 unidades de pH. Así mismo en figura 6, se alerta la presencia de un dato discordante y es la observación 2 correspondiente al año 2007 con un valor medido de 7,727.

Con respecto a figura 6, los valores de pH comparados antes y después de las operaciones mineras se observa que después tiene un ligero incremento en su mediana.

### Sólidos totales en suspensión (mg/L).

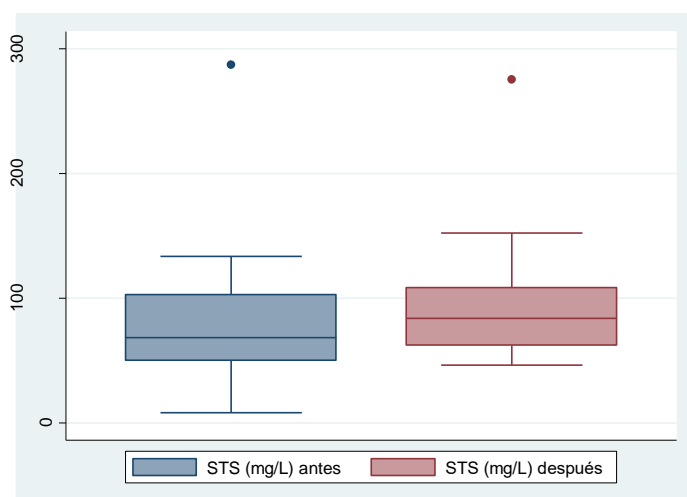


Figura 7. Unidades de sólidos totales antes y sólidos totales después de operaciones mineras.

#### Descripción Antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 7, se observan los resultados de unidades de sólidos totales en suspensión (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checra antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 87,938 mg/L; la mediana de 68,582 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 68,582 mg/L y el 50% está por encima de 68,582 mg/L; los datos se dispersan 70,579 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 20,374 mg/L. Así mismo en figura 7, se alerta la presencia de un dato discordante y es la observación correspondiente al año 2014 con un valor medido de 287,167 mg/L.

#### Descripción después de las operaciones mineras.

En tabla 4 y figura 7, se observan los resultados de unidades de sólidos totales en suspensión (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checra antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 100,943 mg/L; la mediana de 83,792 mg/L indicando que el 50% están por debajo de

83,792 mg/L y el 50% está por encima de 83,792 mg/L; los datos se dispersan 62,644 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 18,084 mg/L. Así mismo en figura 8, se alerta la presencia de un dato discordante y es la observación correspondiente al año 2014 con un valor medido de 275,167 mg/L.

Con respecto a figura 8, los valores de sólidos en suspensión comparados antes y después de las operaciones mineras se observa que después tiene un ligero incremento en su mediana.

### Cobre mg/L

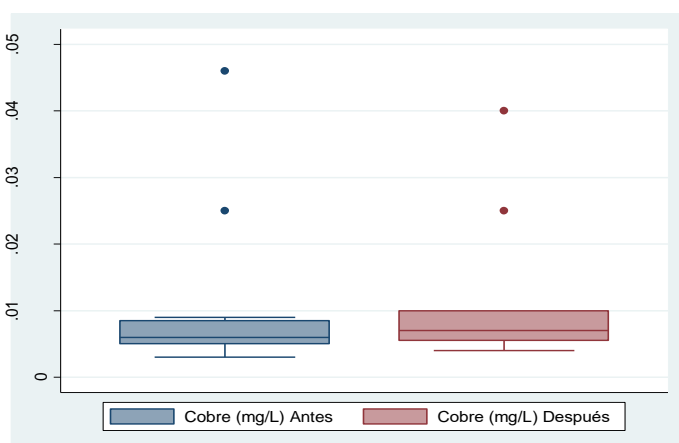


Figura 8. Concentración química del Cobre (mg/L) antes y después de operaciones mineras.

### Descripción Antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 8, se observan los resultados de unidades de cobre (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,011 mg/L; la mediana de 0,006 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,006 mg/L y el 50% está por encima de 0,006 mg/L; los datos se dispersan 0,006 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,004 mg/L. Así mismo en figura 3, se alerta

la presencia de dos datos discordantes y es la observación correspondiente a los años 2006 y 2007 con valores medidos de 0,046 mg/L y 0,025 mg/L respectivamente.

#### **Descripción después de las operaciones mineras.**

En tabla 4 y figura 8, se observan los resultados de unidades de cobre (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,011 mg/L; la mediana de 0,007 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,007 mg/L y el 50% está por encima de 0,007 mg/L; los datos se dispersan 0,011 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,003 mg/L. Así mismo en figura 8, se alerta la presencia de dos datos discordantes y es la observación correspondiente a los años 2006 y 2007 con valores medidos de 0.04 mg/L y 0.025 mg/L respectivamente.

Con respecto a figura 8, los valores de cobre comparados antes y después de las operaciones mineras se observa que después tiene un ligero incremento en su mediana.

## Hierro



Figura 9. Concentración química del Hierro (mg/L) antes y después de operaciones mineras.

### Descripción Antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 9, se observan los resultados de unidades de hierro (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 3,210 mg/L; la mediana de 2,508 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 2,508 mg/L y el 50% está por encima de 2,508 mg/L; los datos se dispersan 2,136 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,617 mg/L.

### Descripción después de las operaciones mineras.

En tabla 4 y figura 9, se observan los resultados de unidades de hierro (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 3,186 mg/L; la mediana de 2,634 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 2,634

mg/L y el 50% está por encima de 2,634 mg/L; los datos se dispersan 2,196 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,334 mg/L. Con respecto a figura 9, los valores de hierro comparados antes y después de las operaciones mineras se observa que después tiene un ligero incremento en su mediana.

## Plomo

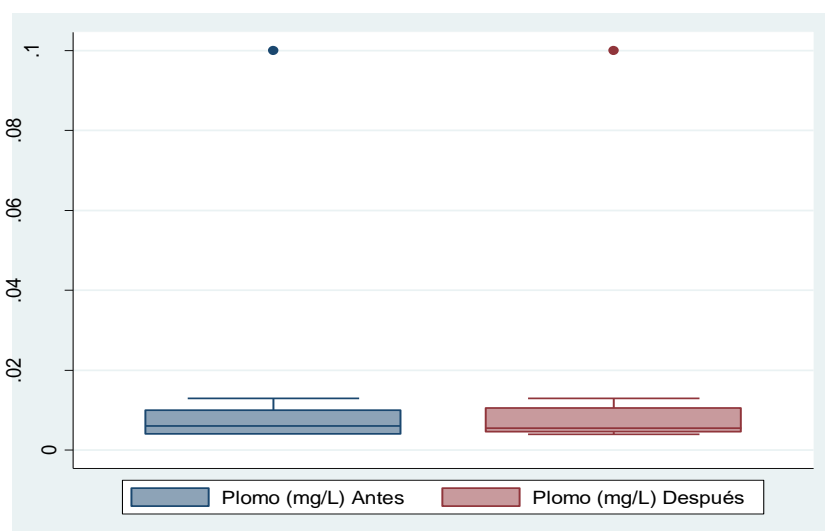


Figura 10. Concentración química del Plomo (mg/L) antes y después de operaciones mineras.

### Descripción Antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 10, se observan los resultados de unidades de plomo (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,014 mg/L; la mediana de 0,006 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,006 mg/L y el 50% está por encima de 0,006 mg/L; los datos se dispersan 0,006 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,008 mg/L. Así mismo en figura 10, se alerta la presencia de un valor atípico y es la observación correspondiente al año 2006 cuyo valor es de 0,1 mg/L.



### Descripción después de las operaciones mineras.

En tabla 4 y figura 10, se observan los resultados de unidades de plomo (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,015 mg/L; la mediana de 0,006 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,006 mg/L y el 50% está por encima de 0,006 mg/L; los datos se dispersan 0,027 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,008 mg/L. Así mismo en figura 10, se alerta la presencia de un valor atípico y es la observación correspondiente al año 2006 cuyo valor medido fue de 0.1 mg/L.

Con respecto a figura 10, los valores de plomo comparados antes y después de las operaciones mineras se observa que después tiene un ligero incremento en su mediana.

### Arsénico

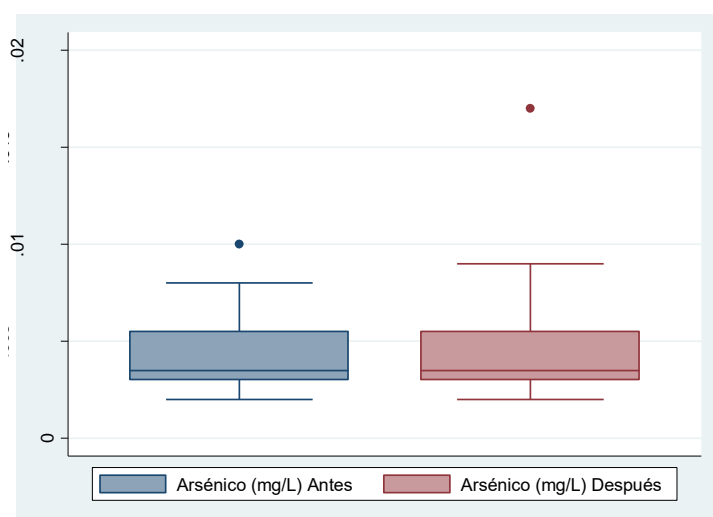


Figura 11. Concentración química del Arsénico (mg/L) antes y después de operaciones mineras.

### **Descripción Antes de las operaciones mineras.**

En tabla 3 y figura 11, se observan los resultados de unidades de arsénico (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,005 mg/L; la mediana de 0,004 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,004 mg/L y el 50% está por encima de 0,004 mg/L; los datos se dispersan 0,002 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,001 mg/L. Así mismo en figura 11, se observa un valor atípico correspondiente al año 2006 con valor de 0,010 mg/L

### **Descripción después de las operaciones mineras.**

En tabla 4 y figura 11, se observan los resultados de unidades de arsénico (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,005 mg/L; la mediana de 0,004 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,004 mg/L y el 50% está por encima de 0,004 mg/L; los datos se dispersan 0,001 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,001 mg/L. Así mismo en figura 11, se observa un valor atípico correspondiente al año 2006 con valor de 0,017 mg/L.

Con respecto a figura 11, los valores de cobre comparados antes y después de las operaciones mineras no se observa incremento en su mediana.

## Cianuro

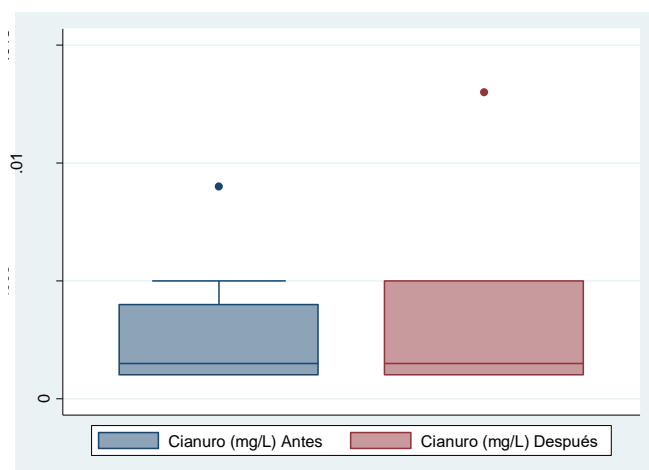


Figura 12. Concentración química del cianuro (mg/L) antes y después de operaciones mineras.

### Descripción Antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 12, se observan los resultados de unidades de cianuro (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,003 mg/L; la mediana de 0,002 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,002 mg/L y el 50% está por encima de 0,002 mg/L; los datos se dispersan 0,001 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,001 mg/L. Así mismo en figura 12, se observa un valor atípico correspondiente al año 2006 con valor de 0,009 mg/L

### Descripción después de las operaciones mineras.

En tabla 4 y figura 12, se observan los resultados de unidades de cianuro (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,003 mg/L; la mediana de 0,002 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,002

mg/L y el 50% está por encima de 0,002 mg/L; los datos se dispersan 0,004 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,001 mg/L. Así mismo en figura 12, se observa un valor atípico correspondiente al año 2012 con valor de 0,013 mg/L.

Con respecto a figura 12, los valores de cobre comparados antes y después de las operaciones mineras no se observa incremento en su mediana.

## Zinc

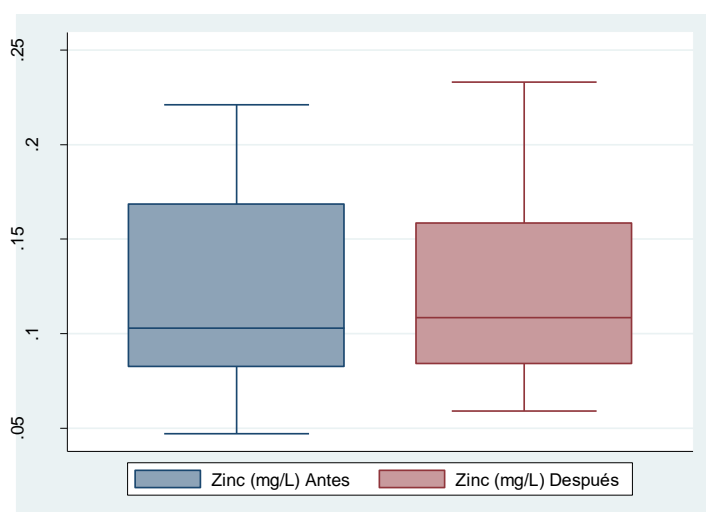


Figura 13. Diagrama de Caja zinc (mg/L) antes y después de operaciones mineras.

### Descripción Antes de las operaciones mineras.

En tabla 3 y figura 13, se observan los resultados de unidades de cianuro (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,120 mg/L; la mediana de 0,103 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,103 mg/L y el 50% está por encima de 0,103 mg/L; los datos se dispersan 0,053 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,015 mg/L.

### **Descripción después de las operaciones mineras.**

En tabla 4 y figura 13, se observan los resultados de unidades de cianuro (mg/L), correspondientes a los resultados del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras de la Empresa Minera Los Quenuales S.A, se observa que su media fue de 0,123 mg/L; la mediana de 0,109 mg/L indicando que el 50% están por debajo de 0,109 mg/L y el 50% está por encima de 0,109 mg/L; los datos se dispersan 0,050 con respecto al valor central; el error estándar de la media es de 0,014 mg/L.

Con respecto a figura 13, los valores de cobre comparados antes y después de las operaciones mineras se observa un pequeño incremento en su mediana.

## ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO

### Serie de tiempo pH.

Tabla 6 *pH del monitoreo de agua del río Checras antes y después de las operaciones mineras*

El Mejor Modelo: Promedio Móvil Simple		El Mejor Modelo: Aditivo de Holt-Winter	
Alfa		Alfa	0.0599
Beta		Beta	0.2836
Gamma		Gamma	1.0000
Estacionalidad		Estacionalidad	1
RMSE	0.1635	RMSE	0.1278
MSE	0.0267	MSE	0.0163
MAD	0.1471	MAD	0.1134
MAPE	1.78%	MAPE	1.38%
U de Theil	1.3071	U de Theil	0.9984

De tabla 6 se observa que las unidades de pH antes de las operaciones no guardan una tendencia o temporalidad; mientras que después se observa una estacionalidad obteniendo los valores de Alfa (0.0599), Beta (0.2836), gamma (1.000). Con respecto a la media de la raíz cuadrada de los errores al cuadrado (RMSE) fue de 0.1258 antes de las operaciones y 0.1278 después de las operaciones mineras. El porcentaje de la media del error absoluto (MAPE) antes y después de las operaciones mineras fue de .1.78% y 1.38% respectivamente.

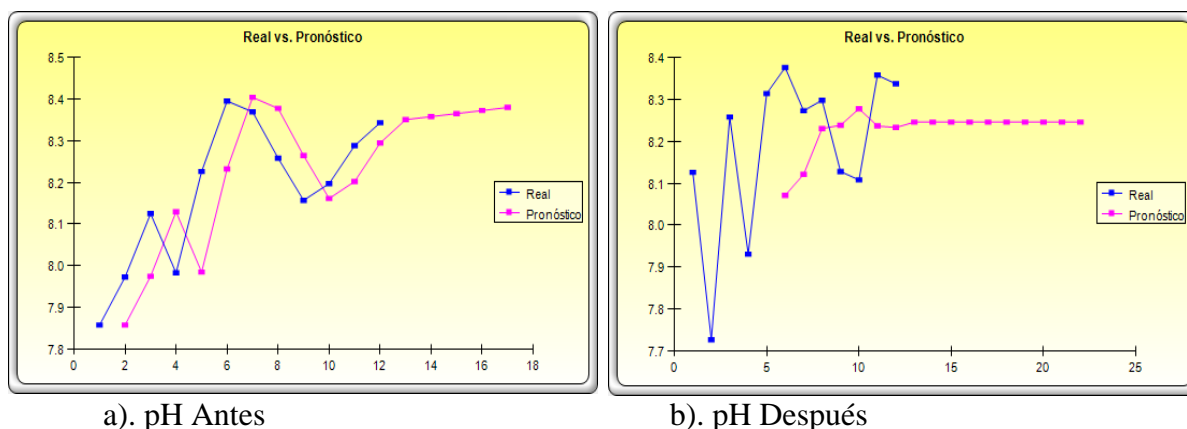


Figura 14. pH del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras

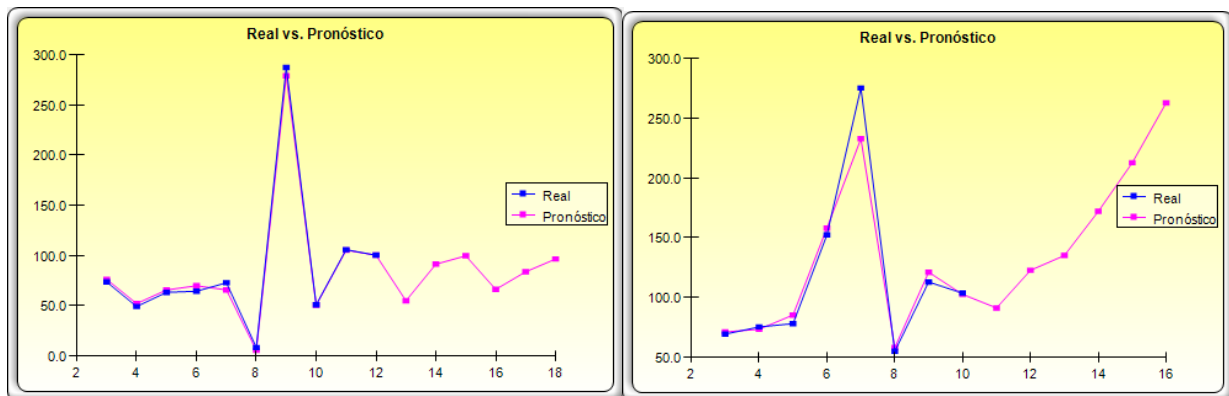
## Serie de tiempo Sólidos totales en suspensión.

Tabla 7. *Sólidos Totales en suspensión del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.*

ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

Estadísticas de la Regresión	Antes	Después
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9965	0.9907
R-Cuadrado Ajustado	0.9938	0.9783
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9983	0.9953
Error Estándar Estimado (EEy*)	75.26	173.91
Número de Observaciones	10	8
Criterio de Información Akaike (AIC)	6.7078	9.3455
Criterio Schwarz (SC)	6.8591	9.6451
Logaritmo de Probabilidad	-28.54	-33.38
Estadístico Durbin-Watson (DW)	1.5672	2.3384
Número de Iteraciones	12638	16958

Según tabla 7, se observa que el R-Cuadrado, o el Coeficiente de Determinación, antes (0.9965) y después de las operaciones mineras (0.9907), el Coeficiente de Correlación Múltiple (R-Múltiple) presenta una correlación de 0.9983 y 0.9953. La dispersión de los datos o el Error Estándar Estimado describe valores de 75.26 y 173.91 respectivamente.



a). Sólidos Totales en suspensión Antes

b). Sólidos Totales en suspensión Después

Figura 15. Sólidos totales en suspensión del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras

## Serie de tiempo Cobre

Tabla 8. Cobre - *Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.*

Promedio Móvil Simple			
Antes		Después	
	5		5
RMSE	0.0049	RMSE	0.0050
MSE	0.0000	MSE	0.0000
MAD	0.0034	MAD	0.0036
MAPE	58.45%	MAPE	59.00%
U de Theil	3.1470	U de Theil	3.3396

Según tabla 8, se observa que los datos no tienen tendencia a temporalidad siendo necesario usar el método de promedio móvil simple. la raíz cuadrada de los errores al cuadrado (RMSE) antes y después de las operaciones mineras fue de 0.0049 y 0.0050 respectivamente.

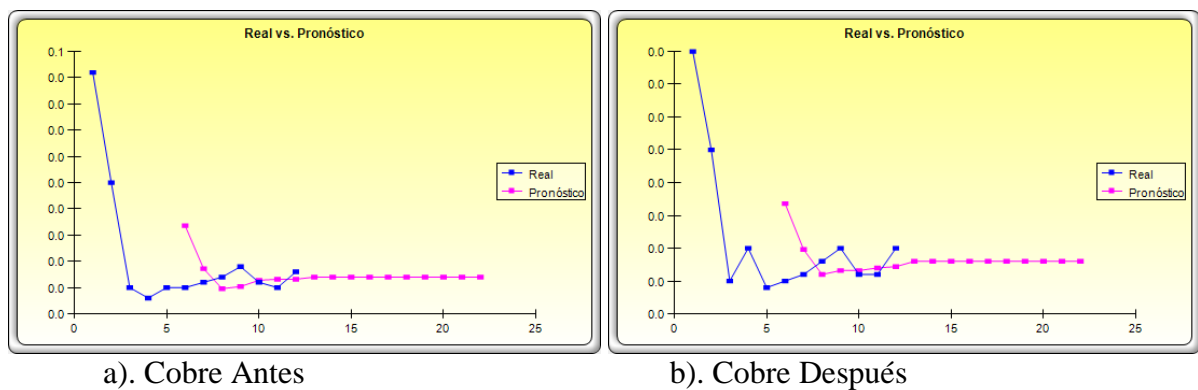


Figura 16. Sólidos totales en suspensión del monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras



## Serie de tiempo Hierro

Tabla 9. Hierro - *Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras*

El Mejor Modelo: Aditivo de Holt-Winter			
Fe - Antes		Fe - Después	
Alfa	0.0594	Alfa	0.0396
Beta	0.7126	Beta	0.5361
Gamma	0.3587	Gamma	0.4786
Estacionalidad	1	Estacionalidad	1
RMSE	1.8943	RMSE	1.9378
MSE	3.5883	MSE	3.7551
MAD	1.3387	MAD	1.4799
MAPE	39.02%	MAPE	45.62%
U de Theil	0.9875	U de Theil	0.9932

Según tabla 9, se observa que el Existe estacionalidad y tendencia. la media de la raíz cuadrada de los errores al cuadrado (RMSE) para el monitoreo antes de las operaciones mineras fue de 1.8943 y después 1.9378.

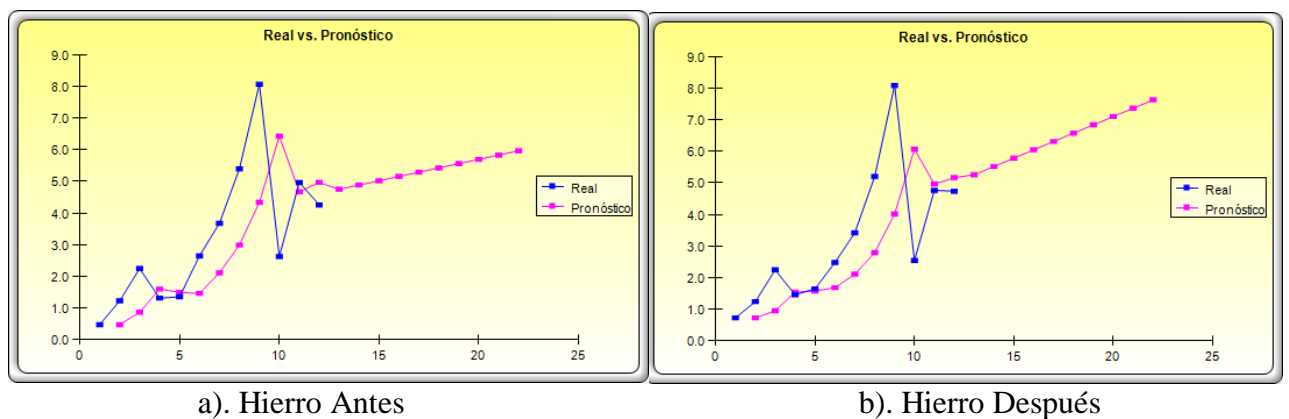


Figura 17. Hierro monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras

## Serie de tiempo plomo

Tabla 10. Plomo - *Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras*

El Mejor Modelo: Suavizado Exponencial Doble			
Antes		Después	
Alfa	1.0000	Alfa	1.0000
Beta	0.0093	Beta	0.0079
RMSE	0.0039	RMSE	0.0043
MSE	0.0000	MSE	0.0000
MAD	0.0029	MAD	0.0034
MAPE	50.40%	MAPE	57.40%
U de Theil	1.1186	U de Theil	1.0972

Según tabla 10, se observa que el Se observa que los datos presentan una tendencia, pero no una estacionalidad.

La media de la raíz cuadrada de los errores al cuadrado (RMSE) es de 0.039 y 0.0043 antes y después de las operaciones mineras respectivamente.

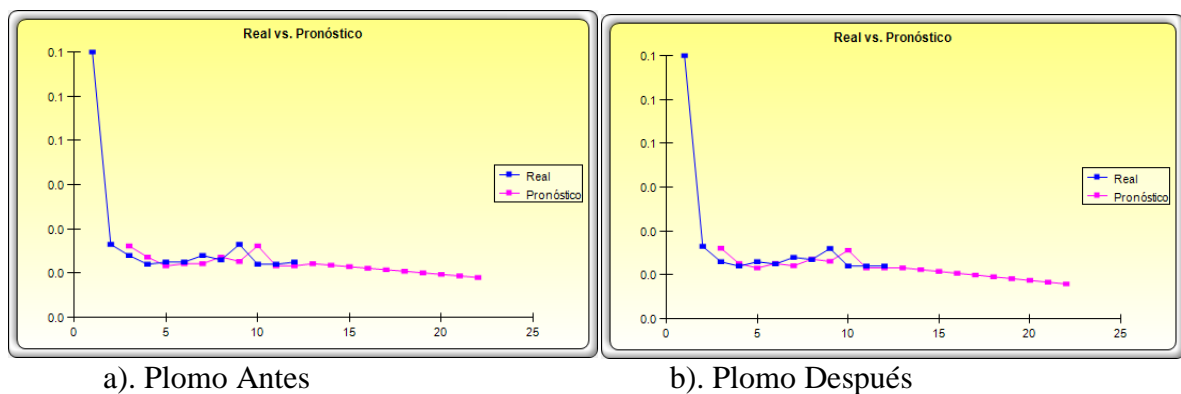


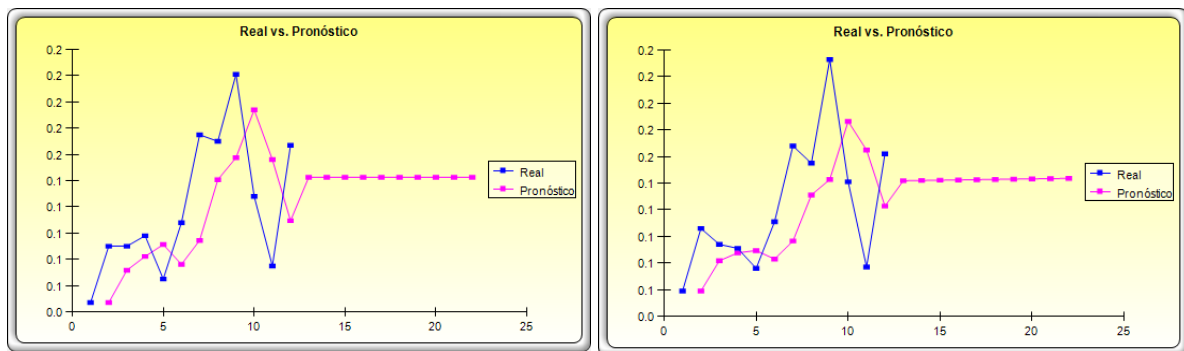
Figura 18. Plomo monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.

## Serie de tiempo Zinc

Tabla 11. Zinc - Monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras

El Mejor Modelo: Aditivo Estacional		El Mejor Modelo: Aditivo de Holt-Winter	
Zinc Antes		Zinc Después	
Alfa	0.1496	Alfa	0.0012
Beta		Beta	1.0000
Gamma	0.5000	Gamma	0.4803
Estacionalidad	1	Estacionalidad	1
RMSE	0.0520	RMSE	0.0509
MSE	0.0027	MSE	0.0026
MAD	0.0466	MAD	0.0420
MAPE	40.01%	MAPE	33.75%
U de Theil	0.9008	U de Theil	0.8704

Según tabla 11, se observa que los datos observados de Zinc (mg/L) de series de tiempo antes de las operaciones mineras no tienen tendencias apreciables, pero muestran estacionalidad. El RMSE fue de 0.052; mientras que en las muestras después de las operaciones mineras muestran estacionalidad y tendencia, siendo su RMSE de 0.0509.



a). Zinc Antes

b). Zinc Después

Figura 19. Zinc monitoreo de agua del río Checras antes de las operaciones mineras.

### **Serie de tiempo Arsénico**

Antes de las operaciones mineras el RMSE del Arsénico fue de 0.0012. Los datos no muestran tendencia ni estacionalidad, el método de series de tiempo apropiado fue el promedio móvil simple.

Los datos después de las operaciones muestran una tendencia, pero no una estacionalidad, el método de series de tiempo apropiado fue el suavizado exponencial doble. El RMSE fue de 0.0010.

### **Serie de tiempo Cianuro**

Los datos de cianuro antes de las operaciones muestran una tendencia, pero no una estacionalidad, el método de series de tiempo apropiado fue el suavizado exponencial doble. El RMSE fue de 0.00080. Después de las operaciones los datos muestran estacionalidad y tendencia empleándose el método Aditivo de Holt-Winter. El RMSE fue de 0.0036.

## **PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

Con respecto al estudio realizado en las aguas del Río Checras después de las operaciones mineras.:

¿Puede concluirse con un nivel de significación de 0,05 que esta muestra fue extraída de una población cuya media difiere de lo establecido por ECA para los parámetros de: Unidades de pH y Sólidos Totales en Suspensión?

**Hipótesis para el pH (Unidades de pH).**

$\mu$  = Parámetro químico: Unidades de pH.

$\mu_o$  = Parámetro de la Norma ECA = 8.5 unidades de pH

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_o$  = No existe un alto nivel de unidades pH de las aguas del Río Checras después de las operaciones mineras.

$H_1$  = Existe un alto nivel de unidades pH de las aguas del Río Checras después de las operaciones mineras

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico:** t de student.

**Regla de decisión:** Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_o$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_o$

$H_o = \mu \leq 8.5$

$H_1 = \mu > 8.5$

```

One-sample t test
-----
Variable |      Obs      Mean   Std. Err.   Std. Dev.   [95% Conf. Interval]
-----+-----
      pH |         12   8.186167   .056335    .1951502    8.062174    8.310159
-----+-----
      mean = mean(pH)
Ho: mean = 8.5
                        degrees of freedom =      11

      Ha: mean < 8.5
Pr(T < t) = 0.0001
      Ha: mean != 8.5
Pr(|T| > |t|) = 0.0002
      Ha: mean > 8.5
Pr(T > t) = 0.9999

```

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto al pH se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (0.999) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que existe un bajo nivel de concentración de pH después de las operaciones mineras en el Río Checras.**

### Hipótesis para Sólidos Totales en Suspensión (mg/L STD).

$\mu$  = Parámetro químico: STD mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 100 mg/L de STD.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de STD en el Río Checras después de las operaciones.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de STD en el Río Checras después de las operaciones.)

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico** : t de student.

**Regla de decisión** : Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 100$

$H_1 = \mu > 100$

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]
Sólidos TS	12	100.9433	18.08383	62.64424	61.141 140.7455

mean = mean(STS) t = 0.0522  
degrees of freedom = 11  
Ho: mean = 100 Ha: mean != 100 Ha: mean > 100  
Pr(T < t) = 0.5203 Pr(|T| > |t|) = 0.9593 Pr(T > t) = 0.4797

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto a STS se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (0.4797) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que existe bajo nivel de concentración de Sólidos Totales en suspensión después de las operaciones mineras en el Río Checras.**

### **2.- Determinar la diferencia significativa entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante.**

$H_0$  = No existe un alto nivel de contaminación de las aguas del Río Checras por metales (Cromo, Hierro, Plomo, zinc, Arsénico, Cianuro) después de las operaciones mineras.

$H_1$  = Existe un alto nivel de contaminación de las aguas del Río Checras por metales (Cromo, Hierro, Plomo, zinc, Arsénico, Cianuro) después de las operaciones mineras.

**Hipótesis para Cobre (mg/L Cu).**

$\mu$  = Parámetro químico: Cobre mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 0.100 mg/L de Cobre.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de Cobre en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de Cobre en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

Nivel de significancia: 0.05

Cálculo estadístico : t de student.

Regla de decisión : Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 0.100$

$H_1 = \mu > 0.100$

```

One-sample t test
-----
Variable |      Obs      Mean   Std. Err.   Std. Dev.   [95% Conf. Interval]
-----+-----
Cobre   |         12   .01125   .0030702   .0106355   .0044925   .0180075
-----+-----
      mean = mean(Cobre)                                t = -28.9069
Ho: mean = 0.100                                       degrees of freedom =      11

      Ha: mean < 0.100           Ha: mean != 0.100           Ha: mean > 0.100
Pr(T < t) = 0.0000           Pr(|T| > |t|) = 0.0000           Pr(T > t) = 1.0000

```

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto a cobre se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (1.000) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que existe bajo nivel de concentración de Cobre después de las operaciones mineras**

**Hipótesis para Hierro (mg/L Fe).**

$\mu$  = Parámetro químico: Hierro mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 0.3 mg/L de Hierro.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de Hierro en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de Hierro en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico** : t de student.

**Regla de decisión** : Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 0.3$

$H_1 = \mu > 0.3$

One-sample t test

```

-----
Variable |      Obs      Mean   Std. Err.   Std. Dev.   [95% Conf. Interval]
-----+-----
Hierro   |         12   3.186083   .633851    2.195724    1.790987    4.58118
-----+-----

      mean = mean(Hierro)                                t =      4.5533
Ho: mean = 0.3                                           degrees of freedom =      11

      Ha: mean < 0.3          Ha: mean != 0.3          Ha: mean > 0.3
Pr(T < t) = 0.9996          Pr(|T| > |t|) = 0.0008          Pr(T > t) = 0.0004

```

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto a Hierro se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p < 0.05$  (0.0004) por lo que no aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que existe alto nivel de concentración de Hierro después de las operaciones mineras**



**Hipótesis para Plomo (mg/L Pb).**

$\mu$  = Parámetro químico: Plomo mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 0.0025 mg/L de Plomo.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de Plomo en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de Plomo en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico** : t de student.

**Regla de decisión** : Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 0.0025$

$H_1 = \mu > 0.0025$

```
One-sample t test
-----
Variable |      Obs      Mean   Std. Err.   Std. Dev.   [95% Conf. Interval]
-----+-----
Plomo    |         12   .0145833   .0078204   .0270906   -.0026292   .0317959
-----+-----
      mean = mean(Plomo)                                t =      1.5451
Ho: mean = 0.0025                                     degrees of freedom =      11

      Ha: mean < 0.0025           Ha: mean != 0.0025           Ha: mean > 0.0025
Pr(T < t) = 0.9247                Pr(|T| > |t|) = 0.1506                Pr(T > t) = 0.0753
```

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto a Plomo se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (0.0753) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que existe bajo nivel de concentración de Plomo después de las operaciones mineras**

**Hipótesis para Zinc (mg/L Zn).**

$\mu$  = Parámetro químico: Zinc mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 0.12 mg/L de Zinc.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de Zinc en el Río Checras después de las operaciones mineras.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de Zinc en el Río Checras después de las operaciones mineras.)

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico :** t de student.

**Regla de decisión :** Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 0.12$

$H_1 = \mu > 0.12$

```

One-sample t test
-----
Variable |      Obs      Mean   Std. Err.   Std. Dev.   [95% Conf. Interval]
-----+-----
   Zinc   |         12   .12275    .0144894    .0501926    .0908592    .1546408
-----+-----
      mean = mean(Zinc)                                t =      0.1898
Ho: mean = 0.12                                       degrees of freedom =      11

      Ha: mean < 0.12           Ha: mean != 0.12           Ha: mean > 0.12
Pr(T < t) = 0.5735           Pr(|T| > |t|) = 0.8529           Pr(T > t) = 0.4265

```

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto al Zinc se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (0.4265) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que no existe alto nivel de Zinc después de las operaciones mineras.**

**Hipótesis para Arsénico (mg/L As).**

$\mu$  = Parámetro químico: Arsénico mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 0.01 mg/L de Zinc.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de Zinc en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de Zinc en el Río Checra después de las operaciones mineras.)

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico** : t de student.

**Regla de decisión** : Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 0.1$

$H_1 = \mu > 0.1$

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
Arsénico	12	.0051667	.0012175	.0042176	.002487	.0078464

```

-----
      mean = mean(Arsénico)                                t = -3.9699
Ho: mean = 0.01                                           degrees of freedom = 11

      Ha: mean < 0.01           Ha: mean != 0.01           Ha: mean > 0.01
Pr(T < t) = 0.0011           Pr(|T| > |t|) = 0.0022           Pr(T > t) = 0.9989

```

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto al Arsénico se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (0.9989) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que no existe alto nivel de Arsénico después de las operaciones mineras.**

### Hipótesis para Cianuro (mg/L CN).

$\mu$  = Parámetro químico: Cianuro mg/L.

$\mu_0$  = Parámetro de la Norma ECA = 0.0052 mg/L de Cianuro.

Hipótesis unilateral hacia la derecha.

$H_0 = \mu \leq \mu_0$  (No existe un alto nivel de Cianuro en el Río Checras después de las operaciones mineras.)

$H_1 = \mu > \mu_0$  (Existe un alto nivel de Cianuro en el Río Checras después de las operaciones mineras.)

**Nivel de significancia:** 0.05

**Cálculo estadístico** : t de student.

**Regla de decisión** : Si  $p < 0.05$ , se rechaza  $H_0$  y si  $p \geq 0.05$  no se rechaza  $H_0$

$H_0 = \mu \leq 0.0052$

$H_1 = \mu > 0.0052$

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]
Cianuro	12	.00325	.001016	.0035194	.0010139 .0054861

mean = mean(Cianuro) t = -1.9193  
Ho: mean = 0.0052 degrees of freedom = 11

Ha: mean < 0.0052 Ha: mean != 0.0052 Ha: mean > 0.0052  
Pr(T < t) = 0.0406 Pr(|T| > |t|) = 0.0812 Pr(T > t) = 0.9594

Según el análisis de las hipótesis y al reporte del Stata con respecto al Arsénico se contrasta el resultado de la hipótesis unilateral derecha. El resultado nos muestra que  $p > 0.05$  (0.9594) por lo que aceptamos la hipótesis nula y se **concluye que no existe alto nivel de cianuro después de las operaciones mineras.**

## **CAPÍTULO V. Conclusiones y Resultados.**

### **5.1. Conclusiones.**

Los análisis mediante los diferentes modelos de serie de tiempo de la variable física (pH y STS) y la variable Química (cobre, hierro, plomo, zinc, arsénico, cianuro), ha permitido analizar su estacionalidad o temporalidad de los datos, observando que en el tiempo es posible predecir sus valores. Los modelos que mejor se ajustan para los parámetros son: pH el Aditivo de Holt Winter; el de Sólidos Totales en Suspensión Modelo autorregresivo integrados móviles; el cobre Promedio móvil simple; el hierro Modelo aditivo de Holt Winter, el plomo Modelo suavizado exponencial doble, el zinc Modelo aditivo de Holt Winter, arsénico el suavizado exponencial doble, el aditivo de Holt Winter. Los modelos de análisis de serie de tiempo nos han permitido analizar a una predicción de 6 años indicándonos que los parámetros tanto físicos como químicos se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua (ECA) excepción del Hierro cuyas aguas no son aptas para tratamiento convencional de consumo humano, pero si para riego de vegetales.

El análisis quimiométrico de los parámetros físicos del monitoreo de aguas del río Checras producto de las operaciones mineras, demuestran la probabilidad de que los las unidades de pH (8.18) y concentración de STS (100.9433 mg/L) se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua (ECA).

El análisis quimiométrico de los parámetros químicos de las variables en estudio del monitoreo de aguas del río Checras producto de las operaciones mineras, demuestran la probabilidad que la concentración de: cobre (0.011 mg/L), cobre (0.011 mg/L), plomo (0.014 mg/L), zinc (0.12 mg/L), arsénico (0.051 mg/L), cianuro (0.00325 mg/L) contienen bajas niveles de concentración por lo que se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua (ECA) para los usos requeridos. En cambio los niveles de concentración de Hierro

(3.186 mg/L) son altos superando el ECA (0.3 mg/L) para consumo humano, siendo útil sólo para riego de vegetales (5 mg/L)

El análisis quimiométrico de los parámetros químicos demuestran la probabilidad de que los las unidades de pH (8.18) y concentración de STS (100.9433 mg/L) se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua (ECA)

## **5.2. Recomendaciones.**

- Realizar estudios con técnicas quimiométricos que nos permitan calibrar los valores de parámetros físicos y químicos en el tiempo.
- Determinar puntos de muestro y evaluar la calidad del agua del Río Chreclas y el impacto en el uso agrícola.

## CAPÍTULO VI. Fuentes de Información.

### BIBLIOGRAFÍA.

- Addo-Bediako, A., Matlou, K., & Makushu, E. (2018). *Heavy metal concentrations in water and sediment of the Steelpoort River, Olifants River System, South Africa. African Journal of Aquatic Science, 1–4*.doi:10.2989/16085914.2018.1524745
- Anderson, O. D. (1985), “Times Series Análisis and Forecasting”. 1ra Edición Editorial.
- Ashton PJ, Dabrowski JM. 2011. An overview of water quality and the causes of poor water quality in the Olifants River Catchment, WRC Project No. K8/887. Water Research Commission, Pretoria
- Baborowski Martina & Jürgen W. Einaxb (2016). Flood-event based metal distribution patterns in water as approach for source apportionment of pollution on catchment scale: Examples from the River Elbe. *Journal of Hydrology*. Volume 535, April 2016, Pages 429-437. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.077>
- Barrenechea, M (s/a). Aspectos fisicoquímicos del agua. [www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf)
- Browerman, B., O`Connell, R., & Koehler, A (2007). Pronósticos series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicado. Cuarta edición. Editorial CENGAGE Learning. México.
- Cárdenas, Guillermo. (2018). Evaluación del efluente líquido de las actividades de la empresa minera Alma minerals Perú SA en el río Ranyac distrito de Huachon–provincia y región Pasco 2018. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/541>
- Chacón, C. M. (2016). Análisis físico y químico de la calidad del agua. Ediciones USTA. Bogotá Colombia. Retrieved from <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2089>
- Chang,H.(2005).Spatialand temporal variation sof water quality nthe Han Riveran ditributaries,Seoul,Korea,1993–2002.WaterAirSoilPollut.161,267–284.
- Galindo, G., Fernández-Turiel, J. L., Parada, M. Á., & Gimeno, D. (2005). Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano – Latinoamericano sobre



temas actuales de hidrología subterránea. IV Congreso Hidrogeológico argentino, Rio Cuarto, 25 al 28 de Octubre de 2005. <http://hdl.handle.net/10261/4019>

Guerrero Padilla, A. (2015). Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú. REBIOL-Revista Científica de La Facultad de Ciencias Biológicas, 35(2), 5–18. Retrieved from <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/1071>

Hernández, J. 2007. Análisis de series temporales económicas II. Madrid, España, ESIC Editorial. 79 p

Hounslow, A. W. 1995. Water Quality Data. New York, USA, CRC Lewis Publishers. 49-59

López, A. M. A., & Martínez, T. M. R. (2018). El mercurio: sus fuentes de emisión, usos e impactos, Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. p 27,28. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecacentralupchsp/detail.action?docID=5513488>.

Luis, E., 2015, Agua. AmbioCiencias, 13, 5-23. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

Mata, A. (2005). Diccionario didáctico de Ecología. Segunda Edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica.

Organización Mundial de la Salud. (2015). Agua. Retrieved from <http://www.who.int/topics/water/es/>

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 1995. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. 2 ed. Ginebra: OMS. V. 1, 195 p.

Palacio Estrada, M. Martínez Varona, A. Pérez Cabrera, et al. (2014). Comportamiento de parámetros físico-químicos en diferentes aguas utilizadas para el consumo humano Higiene y Sanidad Ambiental 14 (2): 1207-1211. <http://www.salud->

publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc538705501cb4a\_Hig.Sanid.Ambient.14.(2).1207-1211.(2014).pdf

- Peñaloza, J. (2012). Contaminación. N°13, Vol. 15(Cv). <https://doi.org/1988-5245>
- Pérez, C. (2006). *Econometría de las Series Temporales*. Editorial Pearson. Prentice Hall. España.
- Reyes, F. (2016). *Predicción de la Demanda Eléctrica: Comparativa ARIMA - Redes Neuronales mediante software SPSS*. Máster en Sistema de Energía Eléctrica. Sevilla, España, Universidad de Sevilla.
- Rodríguez Rey, A., Cuéllar Luna, L., Maldonado Cantillo, G., & Suardiaz Espinosa, M. E. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(3), 251–271. Retrieved from <http://bibvirtual.upch.edu.pe:2056/login.aspx?direct=true&db=lth&AN=121543932&lang=es&site=ehost-live>
- Ruíz, J. D. R., Fechner, D. C., Moresi, A. L., & Vázquez, F. A. (2016). DBO5 y otros parámetros físico-químicos como indicadores de contaminación. *Río Paraná, Costa Corrientes Capital, Argentina. FACENA*, 26, 3-14.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/fac.2601128>
- Sierra, Ramírez, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*, Ediciones de la U, 2011. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecacentralupchsp/detail.action?docID=3198982>.
- Téllez-Rojo, M. M., Bautista-Arredondo, L. F., Richardson, V., Estrada-Sánchez, D., Ávila-Jiménez, L., Ríos, C., ... Hernández-Ávila, M. (2017). Intoxicación por plomo y nivel de marginación en recién nacidos de Morelos, México. *Salud Pública de México*, 59(3), 218–226. <https://doi.org/10.21149/8045>
- Vörösmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO, Dudgeon D, Prusevich A, Green P et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467: 555–561.

Valle, G. (2004). Química descriptiva de los elementos de transición. Una revisión de los compuestos binarios. Primera Edición. Serie Química. Costa Rica.

## **ANEXOS.**

## ANEXO I. Matriz de consistencia

### Título: SERIES TEMPORALES PARA LA EVALUACIÓN DEL MONITOREO QUÍMICO DEL AGUA EN OPERACIONES MINERAS DEL RIO CHECRAS.

Objetivo	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión / Indicadores
<b>Objetivo principal</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variable 1.</b>	<b>Dimensiones V1</b> Modelos series de tiempo
Determinar las concentraciones químicas (cobre, hierro, plomo, zinc) y físicas (concentraciones de iones hidrógeno-pH, sólidos totales) del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales.	Las concentraciones químicas (cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro, zinc) y físicas (concentraciones de iones hidrógeno-pH, sólidos totales) del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales nos permitirá conocer a través del tiempo el comportamiento físico y/o químico de los minerales mencionados.	Series temporales		
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable 2.</b>	
Determinar la diferencia significativa entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante.	Existe una diferencia significativa y elevada entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante y las normas de calidad de agua.	Existe una diferencia significativa y elevada entre las concentraciones físicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales y las normas de calidad de agua.	<b>Dimensiones V2.</b> Monitoreo Físico del agua - pH - Sólidos Totales Monitoreo Químico del agua - Cobre. - Hierro - Plomo - Arsénico - Cianuro - Zinc.	
Determinar la diferencia significativa entre las concentraciones químicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales.	Existe una diferencia significativa y elevada entre las concentraciones químicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales y las normas de calidad de agua.	Existe una diferencia significativa y elevada entre las concentraciones químicas del monitoreo de aguas del río Checa producto de las operaciones mineras mediante series temporales y las normas de calidad de agua.		

## ANEXO II

### Monitoreo del agua del río Checras antes de las operaciones mineras

año	pH	Sólidos Totales Suspensión (STS)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (pb)	Arsénico (As)	Cianuro (CN <sup>-</sup> )	Zinc (Zn)
2006	7.858	46.183	0.046	0.719	0.1	0.01	0.009	0.047
2007	7.973	133.508	0.025	1.235	0.013	0.008	0.005	0.09
2008	8.125	73.583	0.005	2.242	0.006	0.005	0.005	0.09
2009	7.983	49.167	0.003	1.45	0.004	0.006	0.003	0.098
2010	8.226	63.25	0.005	1.642	0.006	0.005	0.002	0.065
2011	8.395	64.33	0.005	2.475	0.005	0.004	0.001	0.108
2012	8.369	72.833	0.006	3.418	0.008	0.003	0.001	0.175
2013	8.258	8.32	0.007	5.203	0.007	0.003	0.001	0.17
2014	8.157	287.167	0.009	8.093	0.012	0.003	0.001	0.221
2015	8.197	50.917	0.006	2.541	0.004	0.002	0.002	0.128
2016	8.288	105.75	0.005	4.766	0.004	0.003	0.001	0.075
2017	8.343	100.25	0.008	4.737	0.004	0.002	0.001	0.167

### ANEXO III

Monitoreo del agua del río Checra después de las operaciones mineras

año	pH	Sólidos Totales Suspensión (STS)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (pb)	Arsénico (As)	Cianuro (CN-)	Zinc (Zn)
2006	8.126	49.808	0.04	0.468	0.1	0.017	0.005	0.059
2007	7.727	104.067	0.025	1.22	0.013	0.009	0.005	0.106
2008	8.258	89.5	0.005	2.242	0.008	0.006	0.005	0.094
2009	7.931	46.364	0.01	1.309	0.004	0.005	0.003	0.091
2010	8.314	69.333	0.004	1.348	0.005	0.005	0.002	0.076
2011	8.376	75.33	0.005	2.642	0.005	0.004	0.001	0.111
2012	8.273	78.083	0.006	3.677	0.008	0.003	0.013	0.168
2013	8.298	152.25	0.008	5.399	0.006	0.003	0.001	0.155
2014	8.128	275.167	0.01	8.076	0.013	0.003	0.001	0.233
2015	8.108	54.917	0.006	2.625	0.004	0.002	0.001	0.141
2016	8.358	112.917	0.006	4.968	0.004	0.003	0.001	0.077
2017	8.337	103.583	0.01	4.259	0.005	0.002	0.001	0.162

## ANEXO IV

### pH – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9967	Criterio de Información Akaike (AIC)	-
		Criterio Schwarz (SC)	4.1149
R-Cuadrado Ajustado	0.9922	Logaritmo de Probabilidad Estadístico Durbin-Watson (DW)	-
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9983	Número de Iteraciones	3.8153
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.35		20.46
Número de Observaciones	8		0.6928
			10243

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=2, Q=2	0.9922	-4.1149	-3.8153	0.6928	10243	1
P=1, D=2, Q=1	0.9781	-2.6865	-1.9541	1.8770	6561	2
P=1, D=2, Q=2	0.9709	-2.5976	-1.6211	2.2977	7942	3
P=2, D=1, Q=1	0.9524	-3.4621	-2.4856	1.0771	5069	4
P=1, D=1, Q=2	0.9333	-3.0788	-2.1578	1.6299	7762	5
P=2, D=0, Q=2	0.9289	-3.4248	-3.2735	2.2478	5693	6
P=2, D=0, Q=1	0.8802	-3.7210	-2.8000	1.3563	5535	7
P=0, D=1, Q=1	0.7660	-1.2214	-0.7854	0.8975	7117	8
P=2, D=2, Q=0	0.5800	-0.6128	0.1669	1.2950	0	9
P=1, D=1, Q=0	0.5087	-0.7945	-0.3340	1.5244	0	10
P=1, D=1, Q=1	0.4642	-0.8413	-0.1506	1.9955	19	11
P=1, D=0, Q=1	0.4619	-1.1658	-0.5118	0.7168	5639	12
P=0, D=2, Q=2	0.3966	0.6727	1.3634	1.6519	63	13
P=2, D=1, Q=0	0.2262	-0.8218	-0.0894	1.6449	0	14
P=0, D=1, Q=0	0.0000	0.1949	0.4129	3.0809	0	15
P=0, D=2, Q=0	0.0000	1.4291	1.6593	3.0106	0	16
P=0, D=0, Q=2	-0.0500	-0.6689	-0.0477	1.9322	17	17
P=0, D=0, Q=1	-0.0999	-0.5172	-0.1031	1.9352	13	18
P=1, D=0, Q=0	-0.1109	-0.3998	0.0362	1.5841	0	19
P=2, D=0, Q=0	-0.1286	-1.3238	-0.6330	1.7493	0	20



## ANEXO V

### SÓLIDOS TOTALES (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9907	Criterio de Información Akaike (AIC)	9.3455
R-Cuadrado Ajustado	0.9783	Criterio Schwarz (SC)	9.6451
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9953	Logaritmo de Probabilidad	-33.38
Error Estándar Estimado (EEy*)	173.91	Estadístico Durbin-Watson (DW)	2.3384
Número de Observaciones	8	Número de Iteraciones	16958

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=2, Q=2	0.9783	9.3455	9.6451	2.3384	16958	1
P=1, D=2, Q=2	0.9505	8.3838	9.3603	2.2051	17274	2
P=1, D=2, Q=1	0.9487	8.5785	9.3109	2.9352	10173	3
P=1, D=1, Q=1	0.9351	8.7769	9.4677	2.0351	4952	4
P=2, D=1, Q=1	0.9222	7.8596	8.8361	3.0361	6937	5
P=1, D=1, Q=2	0.9191	8.8438	9.7648	2.4394	11696	6
P=0, D=2, Q=2	0.9170	10.0825	10.7733	2.2517	18889	7
P=0, D=1, Q=1	0.8757	8.6476	9.0836	1.9299	5333	8
P=2, D=0, Q=2	0.8476	9.6704	9.8217	2.4230	5861	9
P=2, D=2, Q=0	0.4866	12.0184	12.7982	2.1275	0	10
P=1, D=1, Q=0	0.0730	11.5698	12.0304	2.3026	0	11
P=2, D=1, Q=0	0.0433	10.2522	10.9846	2.0014	0	12
P=0, D=1, Q=0	0.0000	10.6392	10.8572	2.7912	0	13
P=0, D=2, Q=0	0.0000	12.8230	13.0533	3.1470	0	14
P=0, D=0, Q=1	-0.0947	11.0210	11.4351	1.9500	8	15
P=1, D=0, Q=0	-0.1061	10.0363	10.4723	1.9855	0	16
P=0, D=0, Q=2	-0.2093	11.0152	11.6364	1.9378	9	17
P=1, D=0, Q=1	-0.2426	10.0350	10.6890	2.0205	9	18
P=2, D=0, Q=0	-0.2736	11.1302	11.8210	1.9854	0	19
P=2, D=0, Q=1	-0.4836	11.1287	12.0497	1.9874	155	20

## ANEXO VI

### COBRE (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9997	Criterio de Información Akaike (AIC)	-14.5792
R-Cuadrado Ajustado	0.9992	Criterio Schwarz (SC)	-14.2796
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9998	Logaritmo de Probabilidad	62.32
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.01	Estadístico Durbin-Watson (DW)	1.8908
Número de Observaciones	8	Número de Iteraciones	18207

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=2, Q=2	0.9992	-14.5792	-14.2796	1.8908	18207	1
P=2, D=1, Q=1	0.9424	-10.5705	-9.5940	1.7373	6303	2
P=2, D=0, Q=1	0.9372	-12.5827	-11.6616	1.7542	5555	3
P=1, D=0, Q=1	0.9369	-9.5683	-8.9143	1.8146	4994	4
P=0, D=2, Q=2	0.9223	-9.3377	-8.6469	1.6368	15118	5
P=2, D=0, Q=2	0.8932	-11.2337	-11.0824	1.2938	7660	6
P=1, D=1, Q=1	0.8345	-9.1558	-8.4650	1.8718	5754	7
P=1, D=1, Q=2	0.8200	-9.2256	-8.3046	1.5860	5487	8
P=1, D=2, Q=2	0.7724	-7.5026	-6.5260	1.5087	7886	9
P=2, D=2, Q=0	0.5483	-8.7123	-7.9325	1.5418	0	10
P=1, D=0, Q=0	0.4642	-7.5168	-7.0808	2.9148	0	11
P=1, D=2, Q=1	0.2597	-6.2922	-5.5598	1.5430	206	12
P=2, D=1, Q=0	0.2538	-8.1314	-7.3990	1.7393	0	13
P=0, D=0, Q=1	0.1752	-6.6241	-6.2100	1.4613	21	14
P=0, D=0, Q=2	0.0950	-6.6368	-6.0156	1.2598	17	15
P=0, D=1, Q=0	0.0000	-6.2768	-6.0588	1.3758	0	16
P=0, D=2, Q=0	0.0000	-6.5316	-6.3013	3.1739	0	17
P=2, D=0, Q=0	-0.0256	-9.6351	-8.9443	1.5476	0	18
P=1, D=1, Q=0	-0.0758	-7.1502	-6.6896	2.3439	0	19
P=0, D=1, Q=1	-0.0799	-6.3027	-5.8667	1.7031	6	20

## ANEXO VII

### HIERRO (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9995	Criterio de Información Akaike (AIC)	-0.8677
R-Cuadrado Ajustado	0.9988	Criterio Schwarz (SC)	-0.5680
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9997	Logaritmo de Probabilidad	7.47
Error Estándar Estimado (EEy*)	4.47	Estadístico Durbin-Watson (DW)	2.8177
Número de Observaciones	8	Número de Iteraciones	19877

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=2, Q=2	0.9988	-0.8677	-0.5680	2.8177	19877	1
P=1, D=2, Q=2	0.9950	-0.1442	0.8324	1.8852	28012	2
P=0, D=2, Q=2	0.9746	1.5780	2.2688	2.4295	10706	3
P=1, D=2, Q=1	0.9478	2.1039	2.8363	1.9477	7016	4
P=1, D=1, Q=2	0.9320	1.3447	2.2657	2.0823	18444	5
P=2, D=1, Q=1	0.9203	1.3629	2.3395	1.7038	9060	6
P=0, D=1, Q=1	0.9162	1.6021	2.0381	2.4055	5657	7
P=1, D=0, Q=1	0.9089	1.4793	2.1332	2.5039	5627	8
P=1, D=1, Q=1	0.9060	1.8229	2.5137	2.7699	5321	9
P=2, D=0, Q=2	0.8689	2.5939	2.7451	2.2019	7276	10
P=2, D=0, Q=1	0.8646	1.8087	2.7297	2.6384	5254	11
P=2, D=2, Q=0	0.4847	4.7012	5.4810	1.9906	0	12
P=1, D=0, Q=0	0.1523	3.6140	4.0500	2.3431	0	13
P=1, D=1, Q=0	0.1187	4.1946	4.6551	2.1487	0	14
P=0, D=0, Q=1	0.0605	4.1661	4.5803	1.7075	10	15
P=0, D=0, Q=2	0.0049	4.1183	4.7395	1.6804	30	16
P=2, D=0, Q=0	0.0015	3.9609	4.6517	2.0513	0	17
P=0, D=2, Q=0	0.0000	5.5036	5.7338	3.2724	0	18
P=0, D=1, Q=0	0.0000	3.9520	4.1700	2.8938	0	19
P=2, D=1, Q=0	-0.0028	3.7757	4.5081	1.9717	0	20

## ANEXO VIII

### PLOMO (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9908	Criterio de Información Akaike (AIC)	-10.5838
R-Cuadrado Ajustado	0.9786	Criterio Schwarz (SC)	-10.2842
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9954	Logaritmo de Probabilidad	46.34
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.01	Estadístico Durbin-Watson (DW)	2.4420
Número de Observaciones	8	Número de Iteraciones	4776

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=2, Q=2	0.9786	-10.5838	-10.2842	2.4420	4776	1
P=1, D=2, Q=2	0.9473	-9.2651	-8.2886	2.4684	7917	2
P=1, D=2, Q=1	0.9387	-8.9688	-8.2364	3.2270	6451	3
P=2, D=1, Q=1	0.9354	-10.0529	-9.0763	2.9399	6693	4
P=1, D=0, Q=1	0.9306	-10.4846	-9.8306	1.8592	6322	5
P=2, D=0, Q=1	0.9264	-12.0240	-11.1030	1.3798	15938	6
P=1, D=1, Q=1	0.9228	-10.9017	-10.2109	2.7400	5409	7
P=1, D=1, Q=2	0.9172	-10.9867	-10.0657	2.2866	15233	8
P=2, D=0, Q=2	0.8794	-10.7120	-10.5607	1.7407	42516	9
P=2, D=2, Q=0	0.3859	-7.7160	-6.9362	2.2854	0	10
P=1, D=0, Q=0	0.2957	-8.2712	-7.8353	2.4057	0	11
P=2, D=1, Q=0	0.1687	-7.6197	-6.8873	2.2564	0	12
P=0, D=2, Q=0	0.0000	-4.5116	-4.2813	1.2758	0	13
P=0, D=1, Q=0	0.0000	-4.1193	-3.9013	1.0389	0	14
P=1, D=1, Q=0	-0.0473	-8.1611	-7.7006	3.0818	0	15
P=0, D=0, Q=1	-0.0954	-4.4704	-4.0563	1.0899	10	16
P=0, D=1, Q=1	-0.1100	-4.1202	-3.6842	1.1030	11	17
P=2, D=0, Q=0	-0.2079	-9.0716	-8.3808	1.8982	0	18
P=0, D=0, Q=2	-0.2170	-4.4705	-3.8493	1.0943	16	19
P=0, D=2, Q=2	-0.2754	-4.5196	-3.8289	1.1662	13	20

## ANEXO IX

### ARSÉNICO (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9909	Criterio de Información Akaike (AIC)	-14.1812
R-Cuadrado Ajustado	0.9836	Criterio Schwarz (SC)	-14.0299
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9954	Logaritmo de Probabilidad	75.91
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.00	Estadístico Durbin-Watson (DW)	2.3016
Número de Observaciones	10	Número de Iteraciones	9109

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=0, Q=2	0.9836	-14.1812	-14.0299	2.3016	9109	1
P=1, D=1, Q=2	0.9783	-15.2051	-14.2841	2.2739	5371	2
P=2, D=0, Q=1	0.9709	-14.4246	-13.5035	2.7606	5784	3
P=1, D=1, Q=1	0.9581	-14.3917	-13.7010	2.8951	5578	4
P=1, D=2, Q=2	0.9440	-12.2519	-11.2754	2.5510	9842	5
P=1, D=2, Q=1	0.9436	-12.0824	-11.3500	3.0171	7405	6
P=2, D=2, Q=2	0.9415	-13.2584	-12.9587	1.8944	12059	7
P=2, D=1, Q=1	0.9246	-13.1460	-12.1695	3.0916	4707	8
P=1, D=0, Q=0	0.8909	-10.8518	-10.4158	1.7889	0	9
P=1, D=0, Q=1	0.8773	-10.8523	-10.1984	1.7533	26	10
P=2, D=0, Q=0	0.7320	-12.0511	-11.3604	2.2565	0	11
P=1, D=1, Q=0	0.3756	-11.5564	-11.0958	2.8670	0	12
P=0, D=0, Q=1	0.0707	-8.3548	-7.9406	1.0039	16	13
P=2, D=2, Q=0	0.0534	-10.9635	-10.1837	2.7444	0	14
P=0, D=0, Q=2	0.0110	-8.3978	-7.7766	1.1533	14	15
P=0, D=2, Q=0	0.0000	-9.6939	-9.4637	1.1911	0	16
P=0, D=1, Q=0	0.0000	-8.4598	-8.2418	0.7003	0	17
P=0, D=1, Q=1	-0.0210	-8.5367	-8.1007	1.1930	11	18
P=2, D=1, Q=0	-0.0466	-10.6459	-9.9135	2.6009	0	19
P=0, D=2, Q=2	-0.2742	-9.7029	-9.0122	1.3197	17	20

## ANEXO X

### ZINC (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9837	Criterio de Información Akaike (AIC)	-5.4895
R-Cuadrado Ajustado	0.9783	Criterio Schwarz (SC)	-4.7571
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9918	Logaritmo de Probabilidad	24.70
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.09	Estadístico Durbin-Watson (DW)	2.5858
Número de Observaciones	9	Número de Iteraciones	15298

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=1, D=2, Q=1	0.9783	-5.4895	-4.7571	2.5858	15298	1
P=2, D=2, Q=2	0.9775	-5.5832	-5.2836	2.2859	15291	2
P=1, D=1, Q=1	0.9682	-6.6509	-5.9601	2.0788	17557	3
P=1, D=2, Q=2	0.9620	-5.1556	-4.1791	2.2459	78464	4
P=2, D=1, Q=1	0.9355	-5.3944	-4.4179	2.6418	5628	5
P=1, D=1, Q=2	0.9226	-5.9160	-4.9950	2.6050	6405	6
P=2, D=0, Q=2	0.8934	-5.0761	-4.9248	2.5789	6287	7
P=0, D=2, Q=2	0.8655	-4.3587	-3.6679	2.2040	6952	8
P=0, D=1, Q=1	0.8491	-4.5406	-4.1046	1.4176	5251	9
P=2, D=0, Q=1	0.8267	-5.4074	-4.4864	1.8013	13315	10
P=1, D=0, Q=1	0.7698	-4.5564	-3.9024	1.4214	5314	11
P=2, D=2, Q=0	0.2966	-2.6296	-1.8498	1.7574	0	12
P=1, D=0, Q=0	0.0241	-3.1364	-2.7004	1.8905	0	13
P=0, D=0, Q=1	0.0135	-3.3418	-2.9276	1.7778	14	14
P=0, D=1, Q=0	0.0000	-2.7253	-2.5073	2.2330	0	15
P=0, D=2, Q=0	0.0000	-2.1012	-1.8709	2.3187	0	16
P=1, D=1, Q=0	-0.0428	-3.0281	-2.5676	2.0599	0	17
P=2, D=1, Q=0	-0.0514	-2.7518	-2.0194	2.0664	0	18
P=0, D=0, Q=2	-0.0790	-3.3575	-2.7363	1.8941	53	19
P=2, D=0, Q=0	-0.1558	-3.3557	-2.6650	1.8418	0	20

## ANEXO X

### CIANURO (mg/L) – MONITOREO DEL AGUA DESPUÉS DE LAS OPERACIONES MINERAS

#### ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

<b>Estadísticas de la Regresión</b>			
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9918	Criterio de Información Akaike (AIC)	-10.0663
R-Cuadrado Ajustado	0.9808	Criterio Schwarz (SC)	-9.7666
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9959	Logaritmo de Probabilidad	44.27
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.01	Estadístico Durbin-Watson (DW)	1.8592
Número de Observaciones	8	Número de Iteraciones	66667

#### AUTO-ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles)

	R Cuadrado Ajustado	Criterio de Información Akaike (AIC)	Criterio de Schwarz (SC)	Estadístico (DW) Durbin-Watson	Número de Iteraciones	Modelo Número
P=2, D=2, Q=2	0.9808	-10.0663	-9.7666	1.8592	66667	1
P=0, D=2, Q=2	0.9781	-10.5568	-9.8660	2.6214	5604	2
P=1, D=2, Q=2	0.9638	-9.0384	-8.0619	2.1804	19798	3
P=1, D=2, Q=1	0.9627	-8.8488	-8.1164	2.5245	6990	4
P=1, D=1, Q=1	0.9449	-10.7512	-10.0604	2.1964	6522	5
P=2, D=1, Q=1	0.9398	-9.5805	-8.6039	2.5228	7613	6
P=0, D=1, Q=1	0.9321	-9.5387	-9.1028	2.8089	5352	7
P=1, D=1, Q=2	0.9188	-10.5188	-9.5977	2.8194	7324	8
P=2, D=0, Q=1	0.8660	-10.8369	-9.9159	2.6609	5433	9
P=1, D=0, Q=1	0.8447	-9.6103	-8.9563	2.7802	5457	10
P=2, D=0, Q=2	0.8359	-9.8164	-9.6651	2.4810	6329	11
P=2, D=2, Q=0	0.4180	-7.1442	-6.3644	2.4618	0	12
P=1, D=1, Q=0	0.1895	-7.9300	-7.4695	2.4083	0	13
P=2, D=1, Q=0	0.1858	-7.1027	-6.3703	2.2992	0	14
P=0, D=2, Q=0	0.0000	-6.4845	-6.2543	3.3468	0	15
P=0, D=1, Q=0	0.0000	-6.9972	-6.7792	3.0559	0	16
P=0, D=0, Q=1	-0.0818	-8.5648	-8.1506	1.8808	11	17
P=1, D=0, Q=0	-0.0977	-7.7254	-7.2894	2.0087	0	18
P=0, D=0, Q=2	-0.1713	-8.5906	-7.9694	1.8166	18	19
P=2, D=0, Q=0	-0.2450	-8.4534	-7.7626	2.0206	0	20

## ANEXO XI

Parámetros de estándares de calidad del agua por categorías.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b>	<b>D1 Riego de vegetales</b>	<b>D2 Bebida de animales</b>	<b>E2. Ríos Conservación del ambiente acuático</b>
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4	6.5 – 9.0
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1 000			<100
Cobre	mg/L	2	0.2	0.5	0.1
Hierro	mg/L	0.3	5	**	--
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.0025
Zinc	mg/L	3	2	24	0.12
Arsénico	mg/L	0.01	0.1	0.2	0.15
Cianuro	mg/L	0.2	0.1	0.1	0.0052

Fuente. Elaboración propia. Adaptado de la Norma Peruana. Decreto Supremo N°004-2017-MINAM-

Publicado en el Peruano el 7 de junio de 2017