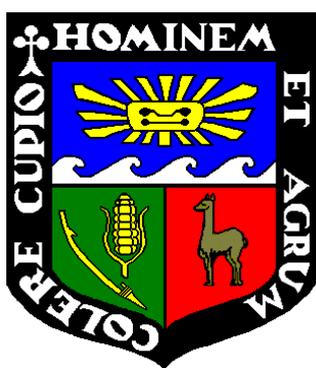


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA  
BOCATOMA “LA ATARJEA”, RÍO RÍMAC (2009-2015)”**

Presentado por:  
ROBERTO VALERIO FLORES CRUZ

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE  
EN CIENCIAS AMBIENTALES

Lima – Perú  
2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA  
BOCATOMA “LA ATARJEA”, RÍO RÍMAC (2009-2015)”**

Presentado por:

**ROBERTO VALERIO FLORES CRUZ**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Sebastián Santayana Vela  
PRESIDENTE

Mg.Sc. Juan Carlos Palma  
PATROCINADOR

Mg.Sc. Grimaldo Febres Huamán  
MIEMBRO

Mg.Sc. Rosa Miglio Toledo  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

A cada maestro, que en la continuidad del tiempo, fue apareciendo en mi vida; tanto en el campo, como en la ciudad, empiristas de las más variopintas experiencias, racionalistas y teóricos con los que disfrute excelentes lecturas y conversaciones, terrenales humanitarios y místicos espirituales que en su propio lenguaje y paradigma, en su respectivo momento, me dieron la oportunidad de hacerme sentir tan humano como tan espiritual:

Alfredo G., Julio J., María Elena, Victoria A., Ángel P., Gabriel V., José L., Manuel T., Javier P., Alejandro A., María F., Juan T., Edgar S. y Gerardo D.

Para ti que guías mis pasos.

A mis padres, hermanos y sobrinos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Gerardo por confiarme a nadar en aguas tempestuosas.

A Edgar por todos sus conocimientos.

A Juan por sus experiencias.

A José el niño sabio.

A ti que me conversas entre sueños.

A la Cooperación Belga, por el apoyo económico que me brindaron.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
	2.1. GENERALIDADES DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	4
	2.1.1. IMPORTANCIA DEL AGUA .....	4
	2.1.3. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	6
	2.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....	7
	2.2.1. DATA MULTIVARIANTE.....	8
	2.2.2. VALORES ATÍPICOS Y VALORES PERDIDOS.....	9
	2.2.3. ¿ANÁLISIS PARAMÉTRICO O NO PARAMÉTRICO? .....	10
	2.2.4. CORRELACIÓN.....	11
	2.2.5. TÉCNICAS MULTIVARIANTES .....	12
	a. ANÁLISIS CLÚSTER O DE CONGLOMERADOS (AC) .....	14
	b. ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD).....	16
	c. ANÁLISIS DE VARIANZA.....	18
	d. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	19
	2.3. ESTUDIOS DE CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO RÍMAC .....	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
	3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	25
	3.2. COLECCIÓN DE DATOS .....	28
	3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	31
	3.3.1. ANÁLISIS PREVIO DE DATOS.....	31
	a. ANÁLISIS EXPLORATORIO INICIAL .....	31
	b. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD .....	31
	c. CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES .....	32
	3.3.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....	32
	a. ANÁLISIS CLÚSTER .....	32
	b. ANÁLISIS DISCRIMINANTE .....	34

c. ANÁLISIS DE VARIANZA.....	34
d. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
4.1. ANÁLISIS PREVIO DE DATOS.....	38
4.1.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO .....	38
4.1.2. CONTRASTE DE NORMALIDAD.....	40
4.1.3. CORRELACIONES.....	42
4.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....	46
4.2.1. ANÁLISIS CLÚSTER (AC).....	46
4.2.2. ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD).....	53
4.2.3. ANÁLISIS DE VARIANZA.....	64
4.2.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	69
V. CONCLUSIONES .....	82
VI. RECOMENDACIONES .....	83
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
VIII. ANEXOS .....	93

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Parámetros ambientales, unidades, métodos y normas de referencia.....	30
Cuadro 2: Estadísticos básicos de los 24 parámetros de calidad de agua.....	39
Cuadro 3: Resultados de las pruebas de significancia de normalidad univariante .....	40
Cuadro 4: Resultados de prueba de significancia de normalidad multivariante.....	41
Cuadro 5: Matriz de proximidad ordenada - Coeficientes de correlación de Spearman.....	45
Cuadro 6: Matriz de medias mensuales de los 24 parámetros de calidad de agua .....	47
Cuadro 7: Desviación estándar mensual de los 24 parámetros de calidad de agua.....	48
Cuadro 8: Resumen de estadísticos del AD.....	55
Cuadro 9: Matriz discriminadora con estadísticos Lambda de Wilks.....	56
Cuadro 10: Funciones de clasificación por modelo del AD.....	59
Cuadro 11: Matriz de confusión por época y modelo de las observaciones de estimación	60
Cuadro 12: Centroides de grupo por modelo para las dos FD.....	61
Cuadro 13: Análisis de varianza multivariante no paramétrico .....	64
Cuadro 14: Contrastación de significancia por pares de épocas .....	64
Cuadro 15: Resultados de la prueba Kruskal Wallis de significancia univariada.....	65
Cuadro 16: Prueba de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner .....	66
Cuadro 17: Índices de medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin .....	69
Cuadro 18: Componentes principales obtenidos de las correlaciones de Spearman.....	70
Cuadro 19: Cargas de las variables de calidad de agua sobre los CP.....	72
Cuadro 20: Componentes principales por épocas.....	77
Cuadro 21: Cargas de las variables sobre los CPs por época .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación y delimitación de la Cuenca del Río Rímac. ....	25
Figura 2: Esquema fluvial de la cuenca del río Rímac. ....	27
Figura 3: Ubicación de las estaciones de muestreo en la bocatoma La Atarjea. ....	28
Figura 4: Procedimiento de obtención de la matriz de datos. ....	29
Figura 5: Dendrograma exploratorio de las 24 variables de calidad de agua. ....	49
Figura 6: Dendrograma – Medias mensuales de calidad de agua. ....	50
Figura 7: Dendrograma - Medias mensuales con restricción de contigüidad. ....	52
Figura 8: Dispersión de observaciones y centroides. Modelo <i>standard</i> . ....	62
Figura 9: Dispersión de observaciones y centroides. Modelo <i>forward stepwise</i> ....	62
Figura 10: Dispersión de observaciones y centroides. Modelo <i>backward stepwise</i> . ....	63
Figura 11: Gráfico de sedimentación de valores propios ....	71
Figura 12: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones de CPs. ....	74
Figura 13: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones. Rotación varimax. ....	75
Figura 14: Gráficos de sedimentación de valores propios por época. ....	76
Figura 15: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones en “Estiaje”. ....	79
Figura 16: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones en “Transición”. ....	80
Figura 17: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones en “Avenida”. ....	81

## **INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1: Estándares de calidad ambiental para agua. D.S. 015-2015 MINAM.....	94
Anexo 2: Cartas de “acceso a la información pública” .....	101
Anexo 3: Matriz de datos.....	110
Anexo 4: Gráficos de caja (Box plot) univariantes por época.....	113

## RESUMEN

Se evaluó la variación temporal de la calidad de agua en la bocatoma La Atarjea, Río Rímac, desde un enfoque de análisis multivariante y no-paramétrico. Tres patrones temporales o épocas de calidad de agua fueron determinados mediante el análisis clúster: **estiaje** (mayo a octubre), **transición** (noviembre a enero) y **avenida** (febrero a abril). La variación por épocas se probó significativamente ( $p < 0,0001$ ) por tres modelos de análisis discriminante, clasificándose correctamente entre 66 y 74 observaciones. El NPMANOVA mostró diferencias significativas entre épocas. Las pruebas univariantes muestran variación significativa, entre: las tres épocas (caudal, temperatura, turbidez, CE, SD, alcalinidad, DT, cloruros y Fe); estiaje y avenida (sulfatos, nitratos, nitritos, fosfatos, Cu, Al, Mn, Pb, Zn y As); transición y avenida (Cd) y, ninguna (OD, pH y coliformes). El análisis de componentes principales determinó en dos CPs (55,81 por ciento de la varianza). En el CP1, la contribución más “fuerte” es debida a: CE, Fe, SD, caudal y DT. Por épocas se encontró una relación de dependencia con el caudal sobre el CP1, siendo las variables más importantes: CE en **estiaje**; Cu, Zn, y Mn en **transición** y, Al, Fe y Mn en **avenida**. Las correlaciones, AC y ACP, conformaron tres grupos: formas iónicas; metales y medidas físicas (ambos con variación antagónica) y microorganismos biológicos; el pH y el OD no pudieron ser agrupados.

Palabras clave: *análisis multivariante no-paramétrico, calidad de agua, Rímac, variación temporal.*

## ABSTRACT

Temporal variation of water quality in the La Atarjea intake, Rímac River, was evaluated from a multivariate and non-parametric analysis approach. Three temporal patterns or water quality periods were determined using the cluster analysis: *estiaje* (May to October), *transición* (November to January) and *avenida* (February to April). The period variation was proven significantly ( $p < 0.0001$ ) through three discriminant analysis models, with 66-74 observations correctly classified. The NPMANOVA showed significant differences among periods. The univariate tests show 'significant' variations, as follow: among the three periods (flow, temperature, turbidity, EC, DS, alkalinity, TH, chlorides and Fe), between *estiaje* and *avenida* (sulfates, nitrates, nitrites, phosphates, Cu, Al, Mn, Pb, Zn and As), between *transición* and *avenida* (Cd) and 'none' (DO, pH and coliforms). The principal component analysis determined two PCs (55.81 percent of the variance). Within PC<sub>1</sub>, the 'largest' contributors are: EC, Fe, DS, flow and TH. Dependence with flow was found on the CP1 with regard to periods, with the most important variables being: EC in *estiaje*; Cu, Zn, and Mn in *transición* and, Al, Fe and Mn in *avenida*. The correlations, CA and PCA formed three groups: ionic forms; metals and physical measurements (both with antagonistic variation) and biological microorganisms. pH and OD could not be grouped.

Key words: *non-parametric multivariate analysis, water quality, Rímac River, temporal variation.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los programas de monitoreo de calidad de agua de instituciones públicas y privadas generan datos de manera transversal, más de dos variables en uno o más puntos de monitoreo, dentro del espacio de influencia de determinado proyecto y longitudinalmente por lo menos dos veces por año, uno en la época seca y otro en la época húmeda. Estos conjuntos de datos se pueden organizar en una matriz de datos multivariante, o simplemente matriz de datos, cuando son periódicos en una matriz de series de tiempo, en todos los casos, matrices complejas y multidimensionales. Los datos son valores de medición de variables o parámetros físicos, químicos y biológicos de calidad de agua en diferentes escalas y unidades de medida.

El análisis individual de los datos por variable o parámetro ambiental es la forma de evaluación generalizada, tanto en organismos estatales como privados, siendo el objetivo en términos de manejo y regulación ambiental no trasgredir el valor del estándar de calidad ambiental (ECA) del parámetro. Una perspectiva de comparación estática y estacionaria respecto al valor del estándar, donde la finalidad en términos de proximidad es determinar cuan cercanos o alejados del ECA se encuentra la medición de determinada variable, mientras que la variación de dos mediciones en el tiempo de esa misma variable no es tomada en consideración en los informes de monitoreo. El empleo de técnicas estadísticas univariadas podría mejorar la información que subyace en los datos generados, y aún más si los datos fueran tratados de manera conjunta mediante técnicas de estadística multivariante.

El enfoque de este estudio obvia el uso y comparación con niveles aceptables de referencia para variables de calidad ambiental del agua, como los estándares o niveles máximos permisibles, no pretende determinar el cumplimiento o trasgresión de los niveles de aceptación de cada variable o parámetro; sino más bien, intenta dar una mirada a las fluctuaciones y/o regularidades que muestran los parámetros de calidad de agua en el tiempo, como un conjunto y parte de un sistema, asumiendo la complejidad y multidimensionalidad de las medidas u observaciones.

El análisis conjunto de variables o los elementos físico-químicos y biológicos de la calidad de agua en el sector que corresponde a la bocatoma La Atarjea, cuenca baja del río Rímac, desde las perspectiva multivariante, puede considerarse como una primera aproximación a un enfoque de integridad ecológica, ecosistemas acuáticos, cuyos elementos (variables ambientales) se encuentran interactuando entre sí, manifestando variaciones en el tiempo. Además de ser una herramienta de soporte de medidas de manejo y seguimiento tanto para gestores ambientales como para tomadores de decisiones.

El uso de técnicas multivariantes en el análisis de variaciones espacio-temporales de la calidad de agua de cuerpos acuáticos continentales, tanto lénticos como lóticos es una práctica que se ha ido incrementando en las últimas décadas, en la medida que, las herramientas de análisis han ido mejorando e incorporando algoritmos matemáticos más asequibles, comprensibles y específicos para un determinado fin, en programas o paquetes estadísticos comerciales o libres, tanto para la exploración como para la inferencia de datos.

En ese mismo sentido ha avanzado la accesibilidad a la literatura científica y sobre todo a los informes de monitoreo donde se presentan los datos o valores de las variables ambientales monitoreadas, un aspecto que era limitante para investigadores que estaban interesados en la dinámica de la calidad del agua, en términos de tiempo y aún más en recursos financieros para la toma de muestras y el análisis en laboratorio.

Las técnicas de análisis multivariante tienen como objetivo reducir la complejidad y multidimensionalidad de la matriz de datos a nuevas dimensiones de análisis, lo que permite responder, entre otras cuestiones: ¿Existen evidencias estadísticas de cambios en el tiempo? ¿Cómo es la variación de la calidad del agua en el río Rímac? ¿Existe evidencia estadística de un patrón temporal de calidad de agua? ¿Cuál o cuáles son los parámetros o variables ambientales más importantes que influyen en la dinámica temporal de la calidad del agua? ¿Cuál es la relación entre parámetros? ¿Están todos los parámetros relacionados?

La data de estudio ha sido originada por el programa de monitoreo de calidad de agua del río Rímac, en el sector de la bocatoma La Atarjea, de la empresa SEDAPAL. Los datos corresponden a la media mensual de las dos bocatomas existentes y han sido obtenidos mediante el mecanismo de acceso a la información pública.

## **OBJETIVOS**

El objetivo principal de este estudio es determinar patrones de variación temporal de la calidad de agua en el sector de la bocatoma de La Atarjea, Río Rímac.

Los objetivos específicos son:

- i) Identificar patrones temporales de variación de la calidad de agua.
- ii) Examinar la variación temporal de cada uno de los parámetros de la calidad de agua.
- iii) Identificar los parámetros de calidad de agua más importantes o relevantes.
- iv) Identificar relaciones entre parámetros de calidad de agua.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. GENERALIDADES DE LA CALIDAD DEL AGUA

#### 2.1.1. IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua no es solo un recurso natural indispensable para la supervivencia de la humanidad y el desarrollo de la sociedad, sino también parte importante del entorno ecológico. Aparte de la bebida e higiene personal, el agua es además una condición necesaria para la producción agrícola, procesos industriales y manufactureros, generación de energía eléctrica, disolución de contaminantes liberados, biotransformación y otros (Deng *et al.*, 2015).

En muchas áreas, los ríos constituyen la principal fuente de agua continental para el uso doméstico, industrial e irrigación, y juegan un importante rol en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos (Zhao *et al.*, 2011). Los ríos son sistemas que llevan una carga significativa de materiales en fases disueltas y particuladas de fuentes naturales y antropogénicas en una dirección (Zhang *et al.*, 2010).

Dado que los ríos son la más importante fuente de aguas continentales para consumo humano, es imprescindible disponer de información fiable de las características y tendencias de la calidad del agua para una gestión efectiva. La calidad de un río en un punto refleja varias influencias importantes que incluyen, la litología de la cuenca, aportaciones atmosféricas, condiciones climáticas y aportes antropogénicos (Jung *et al.*, 2015).

La contaminación de agua superficial con químicos tóxicos y la eutrofización de ríos y lagos con excesos de nutrientes son las preocupaciones ambientales en el mundo. Actividades agrícolas, industriales y urbanas están siendo consideradas como las mayores fuentes de contaminantes químicos y nutrientes para los ecosistemas acuáticos, mientras que las deposiciones atmosféricas podrían ser una importante fuente de determinados constituyentes como el mercurio y nitrógeno. La concentración de químicos tóxicos y nutrientes biológicamente disponibles en exceso pueden llevar a problemas diversos como *bloom* de

algas tóxicas, pérdida de oxígeno, muerte de peces, pérdida de biodiversidad y otros (Voutsas *et al.*, 2001; Ouyang *et al.*, 2006).

Los ingresos de compuestos químicos a ríos, lagos y océanos se clasifican en fuentes puntuales y no puntuales. Las descargas de contaminantes de fuentes puntuales como las de alcantarillados y de plantas de tratamiento municipales tienden a ser continuas con poca variabilidad en el tiempo y por consiguiente relativamente simples de medir y regular, frecuentemente controlados por tratamientos en fuente. Las fuentes no puntuales pueden ser también continuas, pero son a menudo intermitentes y relacionados con actividades agrícolas estacionales o eventos irregulares, con frecuencia derivan de extensas áreas de terrenos y son transportadas por tierra, bajo tierra o depositadas desde la atmósfera, por lo que son difíciles de medir y regular, y su tratamiento se pasado por alto (Carpenter *et al.*, 1998).

### **2.1.2. CALIDAD DE AGUA**

Los conceptos de cantidad y calidad de agua probablemente se desarrollaron simultáneamente, pero a través de la mayor parte de la historia humana, hubo pocas maneras de evaluar la calidad del agua más allá de la percepción sensorial y observaciones de los efectos que ciertas aguas tenían sobre los seres vivos. Cualquier propiedad física, química o biológica que influya en la idoneidad del agua para los sistemas ecológicos o el uso por los seres humanos es una variable de la calidad del agua, y el término calidad del agua se refiere a la idoneidad del agua para un propósito particular. Literalmente, existen cientos de variables de calidad del agua, pero para un fin particular generalmente sólo algunas variables son de mayor interés (Boyd, 2015).

La calidad del agua describe una condición que incluye características químicas, físicas y biológicas con respecto a su conveniencia o aptitud para un propósito o fin determinado. El término parámetro ambiental, usado en la evaluación de la calidad del agua, hace referencia a una variable cuantitativa o un valor para lo cual se ensaya una medición (Collin, 2004).

La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal (Samboni, 2007). En la valoración y evaluación de la calidad del agua se han empleado diversas metodologías, entre las que se incluyen: comparación de las variables con la normatividad vigente, los

indicadores de calidad de agua (ICA) donde a partir de un grupo de variables medidas se genera un valor que califica y cualifica la fuente y, metodologías más elaboradas como la modelación (Samboni, 2009).

El empleo de estadísticos simples, como el promedio y la suma total, se han utilizado en todos los índices elaborados a partir del índice de Horton. Pero, estos siempre estuvieron basados en parámetros, relaciones de aceptación de la concentración de los parámetros, pesos, etc., seleccionados o definidos por el desarrollador del índice con o sin la ayuda de expertos. En contraste, la importancia y alcance de los parámetros de algunos índices son determinados a partir del análisis de la calidad del agua y datos relacionados mediante técnicas estadísticas multivariantes. Este enfoque tiene la ventaja de presentar menos subjetividad que en los índices tradicionales. No obstante, los índices basados en análisis estadísticos son más complejos y más difíciles de aplicar (Abbasi & Abbasi, 2012).

### **2.1.3. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA**

La evaluación de cambios estacionales en la calidad del agua superficial es un aspecto importante para analizar las variaciones temporales de la contaminación fluvial debido a aportes naturales o antropogénicos de fuentes puntuales o no puntuales. Además, los ingresos de contaminantes a sistemas fluviales normalmente provienen de muchas vías incluyendo escorrentía de agua pluvial, descarga de cunetas y arroyos, lixiviado de zonas no saturadas, filtración de agua subterránea y deposición atmosférica. Estas vías son estacional-dependientes (Ouyang *et al.*, 2006).

El análisis de la variabilidad temporal ha sido limitado al análisis de estaciones del año como patrones temporales *a priori* de la variación de la calidad del agua, como puede verse en algunos estudios (Singh *et al.*, 2004; Ouyang *et al.*, 2006; Pejman *et al.*, 2009; Razmkhah *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2015; Phung *et al.*, 2015; Ruždjak & Ruždjak, 2015), un análisis alternativo de la variabilidad temporal se da en función al comportamiento mensual, pero con una reducción o ajuste de datos en series de tiempo anuales a un patrón de medias mensuales, siguiendo un criterio específico ligado más a una dinámica hidrológica o régimen de precipitaciones que un criterio climático general.

Desde un enfoque de análisis tendencias, el análisis de series de tiempo mensuales de calidad

del agua sugiere de manera muy fuerte la presencia de estacionalidad. Los resultados sugieren que la estacionalidad, la existencia de distribuciones diferentes para tiempos diferentes, para diferentes épocas del año, es un fenómeno común. Las contrastaciones de la hipótesis de no variación estacional son rechazadas en un 45 por ciento de los casos. Se sabe además que las concentraciones de los constituyentes de la calidad de agua están correlacionadas con la descarga de los ríos. (Hirsch *et al.*, 1982; Yu *et al.*, 1993)

Debido a las variaciones en la química del agua, los programas de monitoreo proporcionan una estimación confiable de la calidad del agua superficial, incluyen frecuentes muestreos de agua en numerosos sitios y consisten en análisis completos de un gran número de parámetros físico-químicos. Estos programas generan matrices grandes de datos, lo que requiere una interpretación de la data compleja (Boyacioglu & Gunduz, 2005).

## **2.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE**

Los sistemas ecológicos, entendidos como sistemas complejos, requieren de la comprensión y caracterización de las dinámicas espacio-temporales del conjunto de sus componentes químicos, físicos y biológicos.

Desde esta perspectiva, se han realizado una serie de estudios cuyos enfoques están basados en el seguimiento de los componentes físicos y químicos de calidad de agua sustentados en la metáfora de “salud del ecosistema” como paradigma ortodoxo en las ciencias ambientales, pero el enfoque alternativo “integridad de ecosistemas” parece ser la alternativa más acorde en análisis de matrices complejas de datos (Suter, 1993; Wicklum & Davies, 1995; Andreasen *et al.*, 2001).

La complejidad de las dinámicas espaciales y temporales en tales sistemas ha estimulado el interés por el desarrollo de técnicas estadísticas multivariantes, estos métodos son apropiados para la reducción significativa de datos y la interpretación en investigaciones que involucran múltiples parámetros (Hanrahan, 2012).

El análisis multivariante es un término genérico para los muchos métodos de análisis importantes en la investigación de datos multivariados, como: el análisis clúster, el análisis de componentes principales y el análisis factorial (Everitt & Skrondal, 2010).

### 2.2.1. DATA MULTIVARIANTE

Generalmente, las mediciones de calidad de agua son transversales y únicas, en el sentido de que son realizadas en un momento o periodo de tiempo dado en uno o varios puntos. Sin embargo, pueden ser medidas longitudinalmente en diferentes momentos para evaluar la evolución temporal, constituyendo un conjunto de observaciones obtenidas periódicamente.

Las diferentes observaciones o muestras mensuales, características medidas de un mismo individuo u objeto, normalmente se presentan en forma de tabla o matriz (Peña, 2002; Rodríguez, 2008), la matriz de datos o data multivariante, también es denominada matriz de datos multivariante, matriz compleja de datos o matriz multidimensional.

Manuales de software de estadística multivariante refieren a la matriz de datos como un conjunto de individuos u observaciones organizadas en filas o *raw data*, y a las variables como datos en columna o *column data*.

La data multivariante o matriz de datos es una matriz conformada por  $p$  variables numéricas en un conjunto de  $n$  elementos u observaciones. Cada una de estas  $p$  variables se denomina una variable escalar o univariante y el conjunto de las  $p$  variables forman una variable vectorial o multivariante. Los valores de las  $p$  variables escalares en cada uno de los  $n$  elementos pueden representarse en una matriz  $X$ , de dimensiones  $(n \times p)$ , que se denomina matriz de datos (Peña, 2002; Johnson & Wichern, 2007):

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2p} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{np} \end{pmatrix}$$

Se denota por  $x_{ij}$  al elemento genérico de esta matriz  $X$ , que representa el valor de la variable escalar  $i$  sobre la observación  $j$ . Dónde:  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , representa las variables y  $j = 1, 2, 3, \dots, p$ , representan las muestras u observaciones.

### 2.2.2. VALORES ATÍPICOS Y VALORES PERDIDOS

Los *outliers* o valores atípicos son valores de observaciones que parecen desviarse marcadamente de los otros valores de la muestra a la que pertenecen. Formalmente, el término *outlier* se refiere a una observación que parece ser inconsistente con el resto de los datos, en relación a un supuesto modelo. Tales observaciones extremas pueden estar reflejando alguna anomalía en la característica medida de un sujeto, o pueden resultar de un error en la medición o registro (Everitt & Skrondal, 2010).

Las causas que generan la existencia de valores atípicos pueden ser diversas y se pueden clasificar en dos grandes grupos: Los ocasionados por errores en los datos (tanto en la recogida como en la introducción a la base de datos y errores en el muestreo) y los ocasionados por la inevitable y necesaria variabilidad de esos datos, *outliers* legítimos (Uriel y Aldás, 2005).

La existencia de valores perdidos es algo prácticamente inevitable en la investigación. Las consecuencias para el análisis dependen de la existencia de valores perdidos del patrón que siguen estos datos ausentes o espacios vacíos, de cuántos son y por qué están perdidos. Si su distribución es aleatoria en la matriz de datos no puede originar problemas en el análisis, pero si responde a un patrón determinado, sí (Uriel y Aldás, 2005).

Los espacios vacíos o valores perdidos se producen por diverso motivos, tales como: a) Algunos datos se han perdido a causa de un error accidental durante la experimentación, y no es posible repetir las medidas en las mismas condiciones, y b) Algunos datos se hallan por debajo del límite de detección (LD) y por lo tanto, su valor no se puede conocer sin cambiar el método. Puesto que no es posible operar con una matriz de datos incompletos se hace necesario eliminar variables con datos faltantes o rellenar los espacios vacíos (Espíritu, 2010).

En estadística se usa el término “data censurada” para observaciones que no son cuantificadas, son conocidas también por exceder o ser menores que un valor límite. Generalmente las observaciones censuradas son concentraciones de elementos químicos orgánicos e inorgánicos que está en un nivel entre cero y los límites de detección o presentación de los informes de laboratorio. Los valores u observaciones que están por

debajo o son menores que del límite de detección (LD) son data “censurada por la izquierda”. Esta restricción se da comúnmente ya sea por la técnica analítica o por los instrumentos de medición que tienen niveles mínimos de detección (Helsel, 2011; He, 2013; Morvillo *et al.*, 2015).

### **2.2.3. ¿ANÁLISIS PARAMÉTRICO O NO PARAMÉTRICO?**

Los datos de calidad de agua se analizan generalmente con procedimientos estadísticos paramétricos, que requieren el cumplimiento de los supuestos de normalidad, para lograr una exactitud y precisión en los niveles de significación alcanzados.

Sin embargo, típicamente los datos de calidad del agua están distribuidos de manera no normal, están en el límite de cero y a menudo son muy sesgados, conteniendo valores altos de manera poco frecuente. Esta asimetría no causa sorpresas ya que muchos constituyentes están fuertemente relacionados con el flujo o caudal del agua, que usualmente es modelado por una distribución log-normal u otra distribución altamente sesgada. Cuando se aplican procedimientos paramétricos a datos con estas características, su poder para detectar diferencias (por ejemplo, entre grupos de datos o tendencias a lo largo del tiempo) puede ser bastante bajo (Helsel, 1987).

Yu *et al.* (1993) en estudios de análisis exploratorios de análisis de tendencia encontraron que los datos de calidad del agua no presentan normalidad, están correlacionados en series de tiempo, censurados con valores por debajo de los límites de detección y con fluctuaciones estacionales. Por lo tanto, análisis con técnicas no paramétricas son más flexibles que los métodos paramétricos y pueden manejar estas características de serie de tiempo más fácilmente.

Los procedimientos no paramétricos tienen varias ventajas sobre sus contrapartes paramétricas cuando se aplican a datos de calidad del agua. Algunas de estas ventajas incluyen (Helsel, 1987):

- i) **No requieren transformaciones previas, incluso cuando se podría lograr la normalidad aproximada.**

- ii) Se pueden analizar satisfactoriamente casos en los que no es posible lograr la normalidad de los grupos a comparar.
- iii) Se alcanza mayor potencia de análisis en las distribuciones sesgadas comunes a los datos de calidad del agua.
- iv) Se hacen comparaciones entre valores centrales tales como la mediana, en lugar de la media; y finalmente.
- v) Se pueden incorporar datos por debajo del límite de detección (LD) sin imputación de valores o sesgo. La información contenida en valores ‘menores que’ es utilizada con precisión, sin tergiversar el estado de esa información.

La normalidad univariante es la más fácil de contrastar siendo posible varias medidas correctoras; la normalidad multivariante implica que las variables individuales sean normales (Hair *et al.*, 1999; Uriel y Aldás, 2005).

#### **2.2.4. CORRELACIÓN**

Los coeficientes de correlación miden la fuerza de la relación o asociación entre dos variables continuas. El interés está en, si generalmente una variable aumenta en qué medida una segunda aumenta o disminuye, o si sus patrones de variación son totalmente independientes. Las medidas de correlación muestran covariación y no proporcionan necesariamente evidencia para la relación causal entre las dos variables, aunque una puede causar a la otra, como la precipitación causa escurrimiento, o también que ambas pueden estar correlacionados porque ambas comparten la misma causa, tal como dos solutos medidos varias veces o en diferentes lugares (Helsel & Hirsch, 2002).

Las medidas de correlación tienen como características de ser adimensionales y escaladas en el rango de  $-1 \leq \rho \leq 1$ . Cuando no hay relación entre las dos variables  $\rho = 0$ ; si una se incrementa mientras la otra se incrementa,  $\rho$  es positiva; cuando ambas varían en sentidos opuestos  $\rho$  es negativa. La significancia de la correlación se mide con la test de hipótesis:  $H_0: \rho = 0$  versus  $H_a: \rho \neq 0$  (Helsel & Hirsch, 2002).

Los datos pueden estar correlacionados de manera lineal o no lineal. Cuando  $x$  generalmente aumenta, a medida que  $y$  aumenta o disminuye, las dos variables tienen una correlación monótona. Esta correlación puede ser no lineal en patrones exponenciales, patrones lineales en partes, o modelos similares a las funciones potenciales cuando ambas variables son no negativas. Esta no linealidad es evidencia de que la medida de la correlación lineal podría ser inapropiada. La fuerza de una medida lineal podría debilitarse por la no linealidad, resultando en un coeficiente de correlación más bajo y menos significativo que en una relación lineal teniendo ambas la misma dispersión (Helsel & Hirsch, 2002).

Tres medidas de correlación son de uso común, la  $\tau$  de Kendall, la  $\rho$  de Spearman y la  $r$  de Pearson. Las primeras dos están basados en rangos y miden todas las relaciones monótonas y son muy resistentes a los efectos de los *outliers*. La  $r$  de Pearson es comúnmente la más usada como una medida de correlación lineal, un tipo específico de relación monótona. Ninguna de las medidas detectará relaciones no monótonas. (Helsel & Hirsch, 2002). La correlación de Pearson es lo mismo que un coeficiente de regresión estandarizado (Everitt & Skrondal, 2010).

La  $\rho$  de Spearman es un coeficiente de correlación de rangos, alternativo a la  $\tau$  de Kendall (también no paramétrico), es una medida del grado de relación entre dos variables ordinales (Israel, 2009).  $\rho$  y  $\tau$  utilizan diferentes escalas para medir la misma correlación, al igual que las mediciones de temperatura en grados: Centígrados y Fahrenheit. Aunque  $\tau$  es generalmente menor que  $\rho$  en magnitud, sus valores- $p$  para la significación deben ser bastante similares cuando se calculan en los mismos datos (Helsel & Hirsch, 2002).

Los valores del coeficiente  $\rho$ , oscilan entre:  $-1 \leq \rho \leq 1$ . El signo del coeficiente indica la dirección de la relación y el valor absoluto del coeficiente indica la medida, los valores absolutos más cercanos a uno indican mayor medida de correlación (asociación o interdependencia) o simplemente una correlación “perfecta”, cuando el valor es cero, significa que no hay correlación.

### **2.2.5. TÉCNICAS MULTIVARIANTES**

Las técnicas multivariante clásicas están basados en supuestos estadísticos, por lo que requieren una comprobación de estos supuestos básicos que subyacen del análisis

multivariante. Algunas técnicas como el ACP y el AD asumen la normalidad de sus datos, otras como el AC, por ser una técnica algorítmica no exige propiedades estadísticas.

En un sentido amplio, el análisis multivariante hace referencia a los métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples de cada individuo u objeto (muestras temporales por ejemplo) sometido a investigación, por lo que cualquier análisis simultáneo de más de dos variables es una aproximación del análisis multivariante (Hair *et al.*, 1999).

En el análisis multivariante es difícil establecer un esquema de clasificación de técnicas que sean ampliamente aceptadas y apropiadas. Una de las clasificaciones distingue entre técnicas de estudio de relaciones de interdependencia de aquellas asignadas al estudio de relaciones de dependencia. Otras clasificaciones distinguen entre el número de poblaciones y el número de conjuntos de variables que están siendo estudiadas. Otras abordan técnicas de inferencia acerca de tratamientos de medias, acerca de estructura de covarianza y técnicas de clasificación de grupos. Sin embargo, la selección de un método y el tipo de análisis a emplear son en gran parte determinados por el objetivo de la investigación. Los objetivos de investigación para los que los métodos multivariados se prestan naturalmente incluyen los siguientes (Johnson & Wichern, 2007):

- i) Reducción de datos o simplificación estructural. El fenómeno en estudio es representado tan simple como sea posible sin sacrificar información valiosa. Se espera que esta hará la interpretación más fácil.
- ii) Clasificación o agrupamiento. Grupos de objetos o variables “similares” son creados en base a características medidas. Alternativamente, pueden ser requeridos reglas para la clasificación de objetos dentro de grupos bien definidos.
- iii) Investigación de dependencia entre variables. El interés es la naturaleza de las relaciones entre variables. ¿Son todas las variables mutuamente independientes o es una o más dependientes de otras? Si es así, ¿Cómo?
- iv) Las relaciones entre variables podrían ser determinadas con propósitos de predecir los valores de una o más variables sobre la base de las observaciones de otras variables.

- v) **Contrastación y pruebas de hipótesis.** Se prueban hipótesis estadísticas específicas formuladas en términos de los parámetros<sup>1</sup> de poblaciones multivariantes. Estas se hacen para validar suposiciones o reforzar convicciones anteriores.

La aplicación de diferentes técnicas de estadística multivariante, tales como: AC, AD y ACP ayudan en la interpretación de las medidas múltiples de cada muestra organizadas en una matriz de datos, para una mejor comprensión de la calidad del agua de un sistema estudiado. Estas técnicas facilitan la identificación de posibles factores que influyen en la calidad del agua y pueden ayudar a un manejo confiable del recurso, así como soluciones rápidas a problemas de contaminación. Las técnicas estadísticas multivariantes han sido aplicadas para caracterizar y evaluar la calidad de agua dulce y son útiles verificando la variación temporal y espacial causada por factores naturales o antropogénicas relacionados a la estacionalidad (Lee *et al.*, 2001; Helena *et al.*, 2000; Ouyang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2010; Garizi *et al.*, 2011; Lei, 2014; Jung *et al.*, 2015; Phung *et al.*, 2015; Azhar *et al.*, 2015; Ruždjak & Ruždjak, 2015; Kim *et al.*, 2016).

#### **a. ANÁLISIS CLÚSTER O DE CONGLOMERADOS (AC)**

Tiene como principal objetivo dividir o clasificar un conjunto de medidas múltiples de objetos o variables, pertenecientes a muestras temporales o de sitios (matriz de datos complejos), en clases o grupos, de tal forma que cada grupo, conglomerado o clúster, sea lo más similar u homogéneo como sea posible respecto a las variables utilizadas para caracterizarlo (alto grado de homogeneidad interna o dentro del conglomerado) y lo más distinto u heterogéneo posible (heterogeneidad externa entre conglomerados) de los otros grupos respecto a las variables consideradas. (Uriel y Aldás 2005).

De acuerdo a Uriel y Aldás (2005) el análisis de conglomerados sigue una secuencia lógica:

- i) Inicialmente, se dispone de  $n$  observaciones, los que tienen información sobre  $p$  variables; el conjunto complejo de datos o simplemente matriz de datos.

---

<sup>1</sup> Hasta este punto el término 'parámetro' ha venido siendo usado como una referencia a una variable cuantitativa o un valor para el cual se ensaya una medición de una característica del agua. Se adiciona un uso estadístico como 'una característica numérica de una población o un modelo, por ejemplo la media y desviación estándar son dos parámetros de una población, el coeficiente de regresión es un parámetro de un modelo (Everitt & Skrondal, 2010).

- ii) A continuación se establece el indicador que permita determinar en qué medida cada par de observaciones se parecen entre sí; a estas medidas se le denomina distancia o similaridad<sup>2</sup>.
- iii) El paso siguiente consiste en crear grupos, de tal forma que cada grupo contenga aquellas observaciones que más se parezca entre sí, de acuerdo a la medida de similaridad. Para llevar a cabo los agrupamientos se puede optar entre los dos tipos de agrupamientos: jerárquico y no jerárquico. A su vez cada tipo puede utilizar distintos tipos de agrupamientos, por ejemplo el método del centroide o el método del vecino más cercano en el agrupamiento jerárquico.
- iv) Finalmente, se debe describir los grupos que se ha obtenido y compararlos unos con otros. Para ello bastará con ver que valores toman las  $p$  variables utilizadas en el AC en cada uno de los grupos obtenidos.

Para medir cuán similares o disimilares son las observaciones existe una serie de índices de similaridad y de disimilaridad o divergencia, cada índice con propiedades y utilidades propias. Siendo los más conocidos los determinados por: **distancia y correlación o asociación**.

Los índices basados en distancia consideran a las observaciones como vectores en el espacio de las variables, en este sentido entre más pequeña es la distancia entre observaciones, mayor será la similaridad y en sentido contrario, a mayor distancia entre las observaciones, mayor será la disimilaridad entre estas.

Los índices de correlación o asociación, como la  $r$  de Pearson o  $\rho$  de Spearman, son usadas como medida de similaridad. Entre más cercano a la unidad se encuentre el valor absoluto del coeficiente de correlación  $\rho$ , mayor será la similitud entre observaciones. De acuerdo al manual de PAST (Hammer *et al.*, 2001), usando la correlación de Spearman (que básicamente es el  $r$  de Pearson) frecuentemente se obtiene el mismo resultado.

---

<sup>2</sup> El termino similaridad es una traducción del anglicismo *similarity*. Su equivalente oficial y más acorde es similitud, sin embargo el uso de “similaridad” es ampliamente aceptado en la literatura estadística, de la misma forma que lo es “disimilaridad” que tiene un significado opuesto.

En el análisis clúster clásico, cada par de objetos u observaciones “datos en fila” de la matriz de datos (muestras espaciales o temporales) pueden ser elegibles para de ser unidos en cada iteración del algoritmo de aglomeración. Sin embargo, en ciertas circunstancias es preferible limitar esa elegibilidad, como en los casos de observaciones de espacios geográficos contiguos (Recchia, 2010) y en el caso de monitoreo continuo, las observaciones de meses contiguos deberían tener alta probabilidad de pertenecer a un mismo clúster (López, 2013; Araujo, 2015).

Un dendrograma es una representación gráfica bidimensional en forma de árbol que resume el proceso de agrupación y el número de clústeres que mejor resume la estructura del conjunto de datos, teniendo en cuenta la forma en que se van anidando y la medida de similitud. Los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud o disimilitud entre las observaciones, que se representa en una de las coordenadas.

## **b. ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD)**

Comprende un número grande de técnicas para el análisis de datos multivariados que tienen en común el objetivo de evaluar si o no, un conjunto de variables distingue o discrimina entre dos (o más) grupos de individuos u observaciones. En el caso de dos grupos, el método comúnmente usado es la función lineal discriminante de Fisher, en la que se determina la función lineal que muestra la máxima separación entre grupos. Cuando más de dos grupos son involucrados (todos con la misma matriz de varianza-covarianza) entonces es posible determinar varias funciones lineales de variables que las separan. El número de tales funciones es derivado de  $g-1$ , donde  $g$  es el número de grupos con el menor número de  $p$  variables posibles. El conjunto de funciones lineales discriminantes son conocidas como funciones canónicas o simplemente variables canónicas (Everitt & Skrondal, 2010).

El AD es una técnica de clasificación supervisada que es usada en la investigación y clasificación de un conjunto de observaciones dentro de clases predefinidas. Ostensiblemente, el objetivo es clasificar cada observación dentro de uno de los grupos. A diferencia del ACP, este emplea un conocimiento *a priori* de las clases para encontrar una solución. Aquí la significancia está basada en términos de medias de las variables discriminantes y opera sobre la suposición de datos sin procesamiento. Evidentemente, es

un caso especial de correlación canónica usado para analizar dependencia (Uriel y Aldás, 2005; Hanrahan, 2008).

El AD se aplica con fines explicativos y predictivos. En el uso explicativo se trata de determinar la contribución de cada variable clasificadora a la clasificación correcta de cada uno de los individuos u observaciones. En una aplicación predictiva, se trata de determinar el grupo al que pertenece un individuo u observación (Uriel y Aldás, 2005).

El AD requiere del conocimiento de algunos conceptos y definiciones clave (Hanrahan, 2008):

- i) Las variables discriminantes son las variables independientes frecuentemente denominados predictores.
- ii) Las variables criterio son las variables dependientes.
- iii) La función discriminante o variable latente es creada como una combinación lineal de las variables discriminantes y calculada para cada par de grupos.
- iv) El coeficiente discriminante es usado para hacer la clasificación en el AD, tanto como los coeficientes son usados en la regresión para hacer predicciones. Estos se presentan en forma de coeficientes estandarizados y no estandarizados y son usados para clasificar la importancia de las variables independiente.
- v) El puntaje o *score* discriminante es el valor resultante de la aplicación de la fórmula de la función discriminante para la data para un caso de prueba. La función discriminante estandarizada para la  $i$ -ésima función es:

$$D_i = d_{i1}z_1 + d_{i2}z_2 + \dots + d_{ip}z_p.$$

Donde  $d_i$  es el coeficiente de la función discriminante y  $z$  es el puntaje o score en cada predictor.

- vi) Los centroides son el grupo de medias sobre la función discriminante estandarizada ( $D_i$ );

vii) El test de significancia, lambda de Wilks, es la prueba de significancia típicamente usada de la función discriminante como un todo. Lambda varia de cero a uno, con cero significa medias de grupo diferentes y uno significa que todos los grupos son iguales.

Desde una perspectiva ambiental, una función discriminante puede ser interpretada examinando las correlaciones entre las variables originales (predictoras) y la función discriminante. Se debe tener en consideración que el método utilizado para ingresar las variables predictoras es importante con las técnicas: estándar *standard*, escalonada o paso a paso adelante *forward stepwise* y paso a paso hacia atrás *backward stepwise*. El modo y modelo *standard* construye funciones discriminantes que contienen todas las variables predictoras. En el modelo *forward stepwise*, las variables predictoras se introducen paso a paso en orden de significancia hasta que no se logra ninguna ganancia adicional en la discriminación mediante la adición de más variables a la función discriminante. Finalmente, el modelo *backward stepwise* elimina las variables predictoras, paso a paso, empezando por las menos significativas, hasta que no se noten cambios importantes (Hanrahan, 2008).

### c. ANÁLISIS DE VARIANZA

- **NPMANOVA - Análisis multivariante de varianza no paramétrico**

El MANOVA no paramétrico, también conocido como PERMANOVA, es una prueba no paramétrica de diferencias significativas entre dos o más grupos, en función de cualquier medida de distancia o correlación (Anderson, 2001). La prueba normalmente se utiliza para datos ecológicos, donde grupos de muestras son comparados, pero también puede ser utilizado como un MANOVA general no paramétrico. El objetivo es calcular el valor F en analogía con el análisis de varianza, de hecho, para los conjuntos de datos univariados y la medida de distancia, NPMANOVA es equivalente a ANOVA y da el mismo valor de F. La significación se calcula por permutación de pertenencia al grupo. El NPMANOVA por pares, entre todos los pares de grupos se proporciona como una prueba *post-hoc*. Las comparaciones significativas muestran valor- $p < 0,05$  (Hammer *et al.*, 2001).

El Test de Bonferroni es una prueba de comparaciones múltiples que permite comparar, como los demás contrastes de este tipo, las medias de los  $t$  niveles de un factor después de

haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante una prueba de análisis de varianza, se aplica cuando se tiene interés en un conjunto concreto de comparaciones por parejas y contrastes, tanto si todos los tamaños muestrales son iguales como diferentes (Jiménez, 1995). La corrección de Bonferroni mostrada en el triángulo superior de la matriz, en la tabla de salida de PAST, multiplican a los valores- $p$  con el número de comparaciones, esta corrección es muy conservativa produce valores- $p$  muy grandes (Hammer *et al.*, 2001).

- **Prueba de Kruskal Wallis**

La prueba U o test de Mann Whitney es una prueba no paramétrica para decidir si dos muestras provienen o no de una misma población; o si las dos muestras son independientes o no relacionadas. La prueba paramétrica equivalente es el ANOVA de una sola vía. Una generalización de esta prueba para  $k$  muestras es la prueba H o prueba de Kruskal-Wallis, también conocida como KW one-way ANOVA, esta prueba es un procedimiento estadístico no paramétrico para comparar más de dos muestras o probar si las muestras provienen de una misma población o de poblaciones independientes respecto a sus medias. (Corder & Foreman, 2009; Murray & Larry, 2009; Israel, 2009).

- **El procedimiento Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF)**

Este procedimiento es otra forma popular de inferencia simultánea no paramétrica en diseños de una vía para todas las comparaciones en pares (Hollander and Wolfe, 1999).

#### **d. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)**

Esta técnica tiene por objetivo transformar un conjunto de variables, también denominadas variables originales en un nuevo conjunto de variables, generalmente a apenas dos, a las que se denomina componentes principales (CPs), caracterizadas estas últimas por estar no correlacionados entre sí. Los componentes principales son combinaciones lineales de variables aleatorias o estadísticas que tienen propiedades especiales en términos de varianza, una medida de cantidad de información incorporada en un componente. Cuanto mayor es la varianza mayor es la información que lleva incorporada un componente (Uriel y Aldás, 2005; Anderson, 2003).

El problema central en el análisis de datos multivariantes es la reducción de la dimensionalidad: si es posible describir con precisión los valores de  $p$  variables por un pequeño subconjunto  $r < p$  de ellas, se habrá reducido la dimensión del problema a costa de una pequeña pérdida de información. Dadas,  $n$  observaciones de  $p$  variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales. Por ejemplo, con variables con alta dependencia es frecuente que un pequeño número de nuevas variables (menos del 20 por ciento de las originales) expliquen la mayor parte (más del 80 por ciento) de la variabilidad original (Peña, 2002).

Los conceptos y términos clave para comprender la técnica que involucra análisis de componentes principales son (Hanrahan, 2008; Carmona, 2014):

- i) Las correlaciones entre las variables analizadas, deben ser lo suficientemente grandes como para justificar la factorización. La comprobación se puede hacer mediante: el test de Barlett o el Índice de Kaiser-Meyer-Olkin o medida de adecuación muestral KMO. Se sabe que las variables pueden estar más o menos correlacionadas, pero la correlación entre dos de ellas puede estar influenciada por las otras. Así pues, se utiliza la correlación parcial para medir la relación entre dos variables eliminando el efecto del resto. El índice KMO compara los valores de las correlaciones entre las variables y sus correlaciones parciales. Si el índice KMO está próximo a uno, el ACP se puede hacer. Si el índice es bajo (próximo a cero), el ACP no será relevante.
- ii) Los valores y vectores propios se obtienen de la matriz de covarianza o de la matriz de correlaciones que se obtienen de la matriz de datos. **La elección de una u otra matriz para realizar el ACP es una cuestión controvertida.** La varianza asociada a cada factor, el cuadrado de la desviación estándar, se expresa por su valor propio, conocido también como eigenvalor, o raíz característica de la matriz de coeficientes de correlación o de la matriz de covarianzas. Los otros elementos importantes son los factores o vectores propios asociados a cada valor propio.
- iii) Las cargas o *loadings* de los factores o componentes principales (CP), son los coeficientes de correlación entre las variables y los factores. Como los factores no son directamente observables, su denominación es, en cierto modo, subjetiva, aunque

se basa en las cargas de los factores con las variables originales. La carga del factor es la correlación existente entre una variable original y un factor, obtenido por combinación lineal de las variables originales. Estas correlaciones se pueden calcular como producto de los coeficientes o *loadings* y las desviaciones de cada componente.

- iv) Las puntuaciones o *scores* de los factores o CP son las combinaciones lineales de variables que son usadas para estimar las puntuaciones de caso sobre los factores o componentes. Para calcular la puntuación de un factor de un caso dado, se toma la puntuación de un caso estandarizado sobre cada variable, se multiplica por la correspondiente carga de factor de la variable por el factor dado y se suman los productos.
- v) La determinación del número de factores o CPs a retener es en parte arbitraria, y queda a juicio del investigador. Uno de los criterios es reteniendo los factores con valores propios mayores a uno. También se puede determinar elaborando un gráfico de sedimentación *scree plot* y trazando la curva de quiebre *broken stick*.
- vi) La rotación de factores es un proceso que transforma los valores de las cargas factoriales para cumplir con los requisitos especificados en la investigación. Se realiza con el fin de facilitar la interpretación del significado de los factores seleccionados se suele llevar a cabo una rotación de los ejes factoriales. Uno de los métodos más corrientes es el Varimax, que efectúa una rotación ortogonal de los ejes factoriales. El objetivo de la rotación Varimax es conseguir que la correlación de cada una de las variables sea lo más próxima a uno con sólo uno de los factores y próxima a cero con todos los demás.

Las técnicas analíticas de factores como el análisis factorial y el análisis de componentes principales son técnicas usadas en la reducción de variables para descubrir las dimensiones de un conjunto de variables. Estas dos técnicas poderosas, sin embargo, son confundidas frecuentemente como la misma técnica estadística, existiendo entre ellas muchas diferencias y en los tipos de análisis en la que cada una es más conveniente (Ouyang *et al.*, 2006; Hanrahan, 2012).

### 2.3. ESTUDIOS DE CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO RÍMAC

En un inicio, organismos estatales como la DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental) y en la actualidad el ANA (Autoridad Nacional del Agua) en colaboración con la empresa estatal de tratamiento de agua SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima) y otras empresas principalmente mineras, han establecido redes de puntos de seguimiento de la calidad de agua del río Rímac en sectores de su influencia ambiental como parte de programas de monitoreo. Las matrices de datos generadas han sido objeto de análisis específicos por variable o parámetro comparando su valor respecto al valor ECA o LMP (Anexo 1)<sup>3</sup>, siguiendo criterios meramente normativos o reglamentistas, dejando de lado enfoques estadísticos como los análisis univariados y multivariados.

Desde esta última perspectiva son pocos los estudios de calidad de agua que se han realizado, así tenemos que:

- Juárez (2006) realizó un estudio de contaminación por metales pesados en la cuenca baja del río Rímac para determinar el riesgo ambiental y el impacto sobre el suelo, el agua y vegetales en la localidad de Carapongo. El estudio muestra que la información histórica sobre la calidad de agua implementada sobre un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta útil para analizar la tendencia de la polución y evaluar áreas de riesgo por determinados pululantes, para mapear áreas adecuadas para algún tipo de explotación y comprender espacialmente el problema de polución de agua en la entrada de la cuenca. Encuentra que los contenidos de cadmio y cromo en los últimos ocho años [a la fecha del estudio] fueron menores al LMP, aceptable para el riego de vegetales. Sin embargo, tres de ocho años para el arsénico y siete de ocho años para el plomo han afectado la parte baja de la cuenca con metales pesados, lo cual no es permisible para el riego de vegetales. El arsénico y plomo son aportados por la explotación minera en la parte superior de la cuenca. Hay signos significativos de que el contenido de arsénico habría mejorado su nivel de calidad en los últimos dos años, sin embargo el contenido de plomo esta siempre por encima del LMP y no hay reducción significativa del plomo en la cuenca del Rímac (de acuerdo a las pruebas de

---

<sup>3</sup> El este estudio no se considera las comparaciones con los valores de los ECA para la calidad del agua; sin embargo, se adjunta la norma de los ECAs como un complemento para referenciar los valores de los parámetros indicados, de acuerdo a la normativa ambiental vigente.

análisis de varianza [univariados] de metales pesados). La concentración de niveles de plomo disponible en el suelo y plomo absorbido por las plantas no representan algún riesgo, aun cuando los niveles de plomo fueron muy altos en el río Rímac. La concentración de cromo disponible y absorbido por las plantas no representa algún riesgo.

- Rivera *et al.* (2007) realizaron un estudio geoquímico-estadístico involucrando catorce metales-metaloides pesados As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W y Zn en sedimentos activos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Estos metales potencialmente tóxicos a la salud humana y de la biota, fueron intensamente estudiados en su fracción soluble y en el material en suspensión en las aguas, mas no así en el comportamiento de la fracción detrítica. Se determinó en el río Rímac altos niveles de Zn, Pb, As, W, Sn, Fe, Sb, Mo, Cd; en el río Chillón de V, Cu, Ni, Hg y en el río Lurín de Cr. Comparando con los niveles establecidos en la tabla Holandesa, el río Rímac está contaminado con As, Cu, Hg, Zn, y Sb; el río Chillón con As, Sn y Hg; y el río Lurín, sólo con As y Sb. Con respecto a la dispersión secundaria de los metales se determinó que en el curso inferior y medio se concentran la mayoría de los metales pesados, en los ríos Chillón y Rímac, no así en el Lurín, en el que la mayoría de los metales pesados no tienen buena dispersión y se concentran en su curso superior. Asimismo, la evolución de la abundancia de estos metales con respecto a la litología y edad geológica, se tiene en el Río Chillón, el Grupo Casma (Cretáceo); en el río Rímac, las formaciones Paleógenas y, en el río Lurín, los volcánicos Quilmaná (Paleógeno-Neógeno) cuyos sedimentos aportan la mayoría de los metales pesados.
- Calla (2010) aborda los efectos que ha presentado la calidad del agua del río Rímac frente al desarrollo de la actividad minera en el distrito de San Mateo de Huanchor ubicado en la provincia de Huarochirí del departamento de Lima. El área de estudio es una zona donde la actividad minera polimetálica se ha desarrollado desde muchas décadas atrás, aproximadamente desde los años 30, que a la fecha del estudio eran fuentes aportantes de lixiviados a las aguas del río Rímac. La investigación en la calidad del agua fue desarrollada en una serie de tiempo de diez años tomando como patrones de análisis a los iones metálicos, los cuales tuvieron un análisis comparativo con las normativas legales ambientales tanto nacionales como internacionales y efectuó un análisis estadístico comparativo univariado mediante la prueba de *t* de Student,

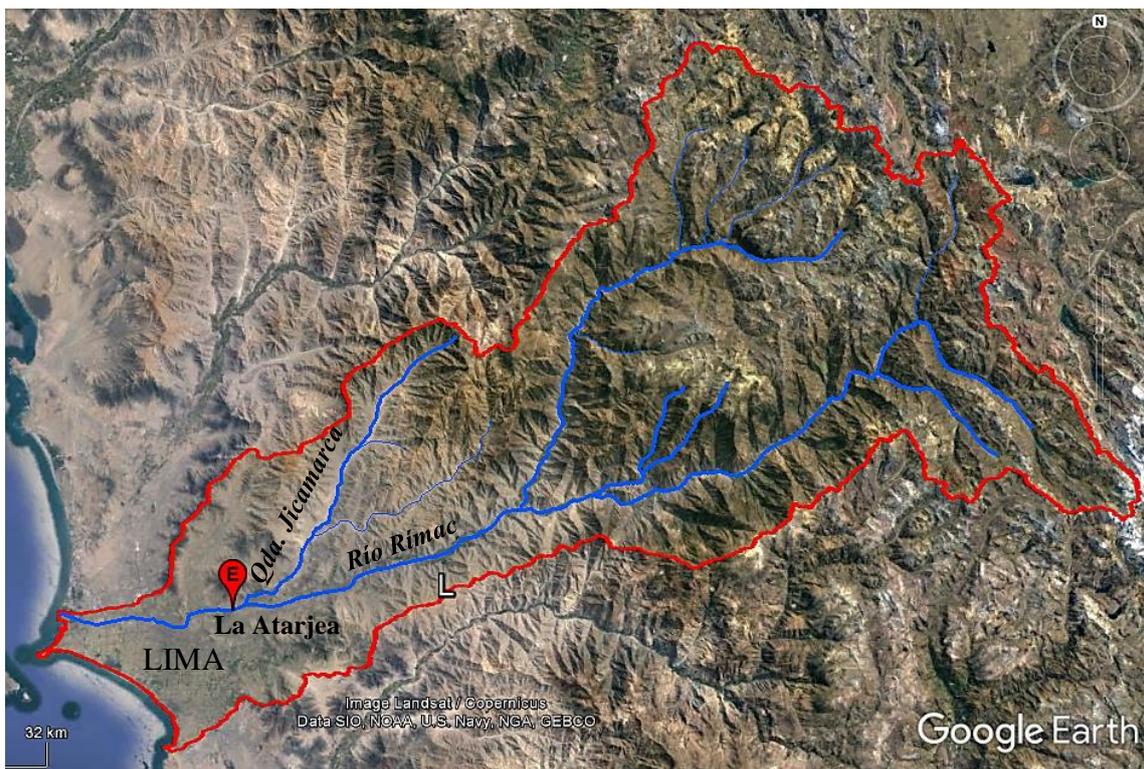
encontrando que el cadmio, plomo, manganeso, arsénico y hierro eran los elementos que tenían que recibir un tratamiento correctivo ya que sus concentraciones en las aguas del Rímac eran mayores a lo establecido en los estándares de calidad de agua.

- Espíritu (2010) estableció una red de monitoreo y toma muestras mensuales durante un año (julio 2008 a junio 2009), en siete puntos o estaciones de monitoreo, obteniendo un total de 252 muestras y 1680 datos que corresponden a la cuenca seca y parte a la cuenca húmeda, y al principal tributario del río Rímac, el río Santa Eulalia; aplicó técnicas estadísticas multivariadas para la evaluación espacial y temporal de la calidad del agua del río Rímac. Analizó 20 parámetros de calidad de agua, evaluando los parámetros ambientales del monitoreo y clasificó espacialmente (estaciones) mediante técnicas multivariadas como el análisis clúster (AC), análisis de componentes principales, análisis de factor (AF) y análisis discriminante (AD). Mediante el AC y ACP logró determinar solo una clase conformada por tres estaciones mientras que el resto no lograron agruparse. Se agruparon los parámetros ambientales en cuatro clases. Mediante el AF determinó las relaciones entre los 20 parámetros ambientales, mediante la matriz de correlaciones se identificó cuatro principales fuentes de agua, a saber: urbana, industrial, agrícola y geológica. Mediante el AD estimó en un 94 por ciento la confiabilidad de las características fisicoquímicas de las estaciones clasificadas por el AC y ACP.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Rímac se encuentra localizada en la región central y occidental del territorio peruano, hidrográficamente pertenece a la vertiente del Pacífico (Figura 1). El río Rímac nace en la Cordillera Central de los Andes y recorre perpendicularmente hasta desembocar en el Océano Pacífico. La cuenca del río Rímac posee una extensión de 3503,95 km<sup>2</sup>, con una longitud de 127,02 km. (ANA, 2010).



**Figura 1: Ubicación y delimitación de la Cuenca del Río Rímac.**

Fuente: Elaboración propia, adaptado sobre imagen Landsat/Copernicus, Google Earth (2017).

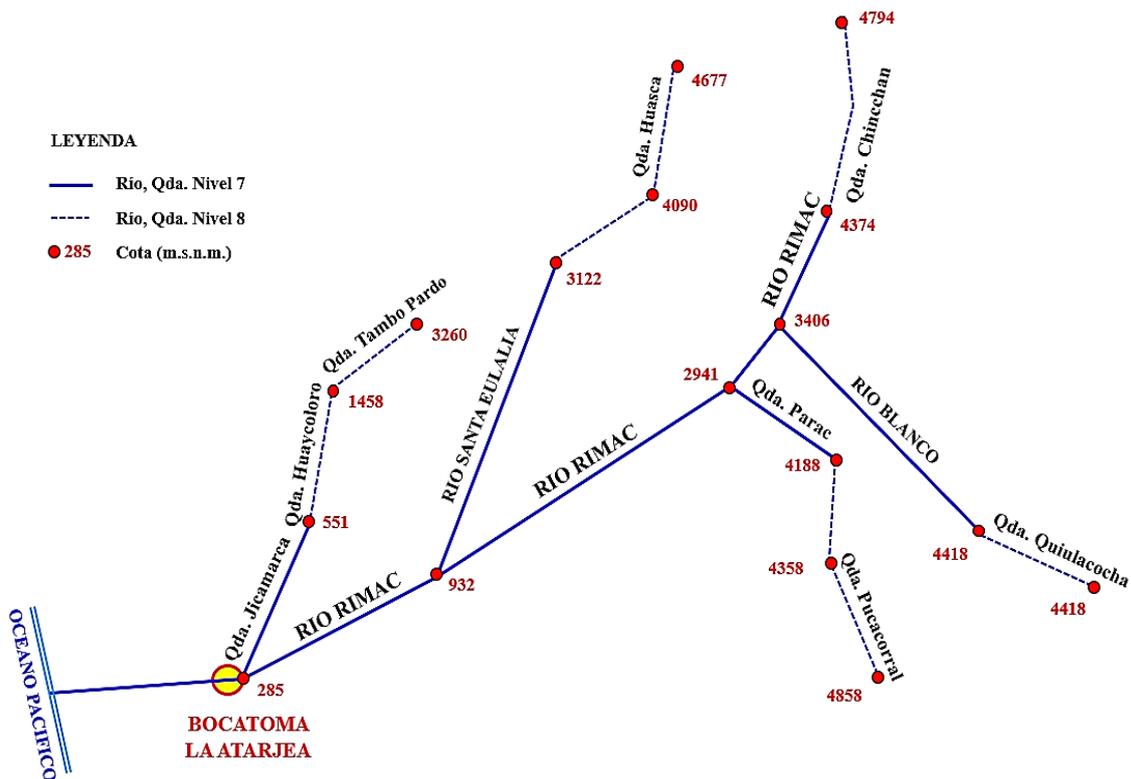
El escurrimiento natural del río se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en su cuenca alta. En época de estiaje, de junio a noviembre, el río Rímac baja notoriamente su caudal, de acuerdo a los registros de la estación Chosica. La severidad de su estiaje se debe a las características fisiográficas y de cobertura que

presenta; sin embargo, la presencia de nevados contribuye con sus deshielos a elevar el caudal de estiaje. En su parte alta, la cuenca del río Rímac cuenta con un número considerable de lagunas, donde se regulan parcialmente y en forma natural, las aguas de precipitación (ANA, 2010).

A nivel nacional la cuenca del río Rímac es una de las más explotadas, debido a las exigentes demandas de agua para uso múltiple, principalmente para consumo humano de la ciudad de Lima. El uso no consuntivo del agua es destinada a dos actividades: generación de energía con cinco centrales hidroeléctricas que se escalonan a lo largo de los ríos Rímac y Santa Eulalia, aprovechando los grandes desniveles existentes y la actividad piscícola que se desarrolla en el río Blanco, la laguna Chuchún, la quebrada Tapcin, algunos manantiales como Ocunal Chico, Cashahuacra y río Yaraguan y en la parte media del río Santa Eulalia. Los usos consuntivos como uso poblacional destinan 501,44 hm<sup>3</sup> de agua y representa el 78,97 por ciento de la demanda total de la cuenca Rímac, el uso agrícola alcanza los 105,15 hm<sup>3</sup>/año, que representa 16,56 por ciento de la demanda total de la cuenca, el uso industrial es de 0,95 hm<sup>3</sup>/año y representa el 0,15 por ciento de la demanda total de la cuenca Rímac donde operan 13 plantas industriales, y el uso minero se da fundamentalmente en la parte alta de la cuenca del río Rímac, actualmente siete minas en operación y 20 abandonadas, una refinería y nueve explotaciones no metálicas en general representa el 4,32 por ciento del total de agua para uso consuntivo, es decir consume 27,46 hm<sup>3</sup>/año. El agua del río Rímac es captada para su tratamiento en las bocatoma de la Atarjea por la empresa SEDAPAL (ANA, 2010; Espíritu, 2010).

El área específica de estudio corresponde al sector de la subcuenta baja del río Rímac donde se ubica la bocatoma “La Atarjea”, desde donde la empresa SEDAPAL capta el agua del río Rímac para el proceso de potabilización en dos puntos o bocatoma. Un esquema general de la cuenca y la ubicación de la bocatoma se muestra en la Figura 2.

Existen dos estaciones de muestreo de agua que se ubican aguas arriba de los puntos de captación de la planta de tratamiento de agua potable la Atarjea (Figura 3): la Bocatoma 1 que se ubica en las coordenadas geográficas: 76°57'56.42" O, 12° 1'35.17" S a 263,5 m.s.n.m. y la Bocatoma 2 en las coordenadas 76°57'57.30" O, 12° 1'33.11" S a 263 m.s.n.m.

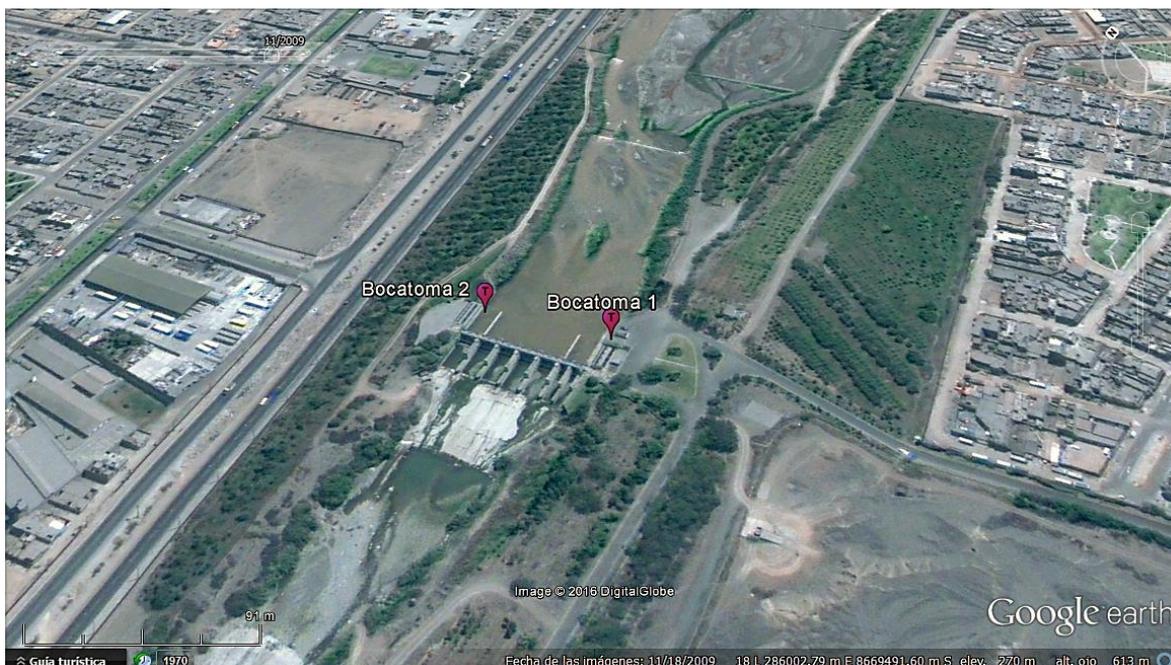


**Figura 2: Esquema fluvial de la cuenca del río Rímac.**

Fuente: ANA (2010).

Según la empresa SEDAPAL (2014) se capta el agua del río Rímac a una capacidad de 15 m<sup>3</sup>/s (Bocatoma 1) y 20 m<sup>3</sup>/s (Bocatoma 2). En el período de avenidas, que comprende de diciembre a abril, el río aumenta su caudal, característica típica en la temporada de lluvias en las partes altas de la cuenca, llegando a un caudal promedio de 59,7 m<sup>3</sup>/s en marzo. El caudal natural desciende en la época de estiaje, por lo que se requiere de “descargas reguladas” de las lagunas de almacenamiento de Santa Eulalia, Marcapomacocha y San Mateo para incrementar el caudal de estiaje, atenuando así los efectos de la estacionalidad.

El río Rímac presenta altos niveles de contaminación a lo largo de su cauce, debido al arrojado de basura, sustancias contaminantes, materia orgánica y otros elementos fisicoquímicos de origen industrial y doméstico; por estas razones, SEDAPAL monitorea permanentemente sus diferentes procesos en el tratamiento mediante muestras de control.



**Figura 3: Ubicación de las estaciones de muestreo en la bocatoma La Atarjea.**

Fuente: Elaboración propia, adaptado sobre imagen Digital Globe, Google Earth (2017).

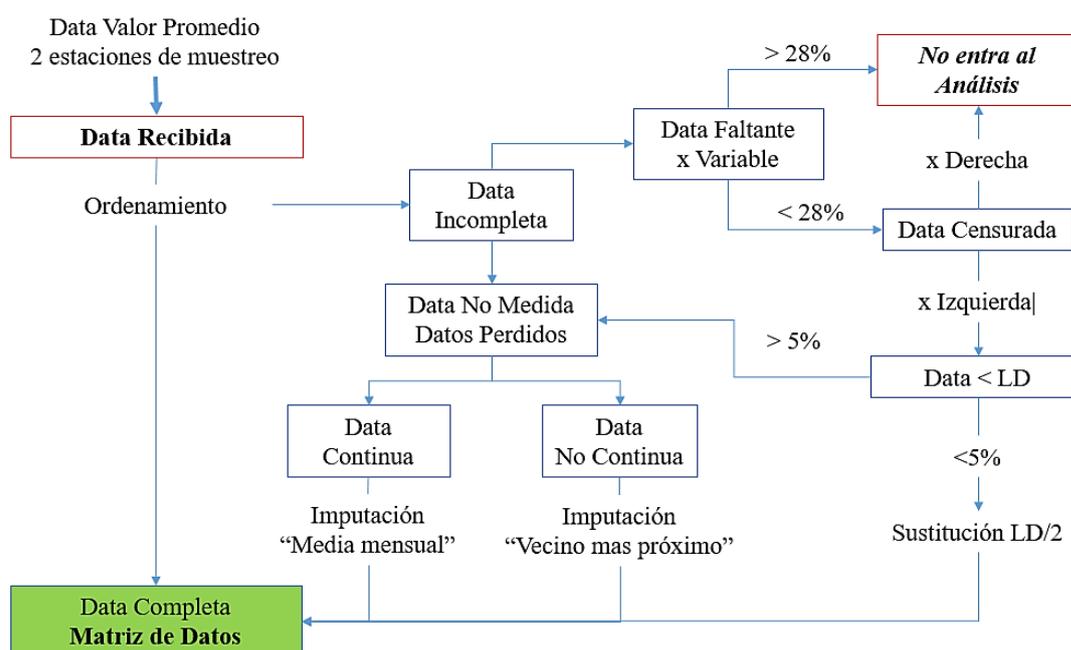
### 3.2. COLECCIÓN DE DATOS

Los datos de la medición de variables o parámetros de calidad ambiental de agua fueron proporcionados por la empresa SEDAPAL, en virtud al mecanismo de acceso a la información pública, ver Anexo 2. Los valores de las variables representan a las medias mensuales de las muestras de las dos bocatomas, razón por lo que en adelante toda referencia se hará a una sola muestra, que representa la calidad de agua de la bocatoma “La Atarjea” respecto a la variable referida. La data se ordenó en variables o parámetros ambientales alineados en columnas y las muestras periódicas mensuales u observaciones en filas, tanto filas como columnas conforman la matriz de datos.

Los datos recibidos de SEDAPAL tuvieron un proceso previo de selección y eliminación (Figura 4). Se recibió la data con un total de 61 variables monitoreadas, de estas se seleccionaron 29, el resto no fueron consideradas por presentar datos incompletos (mayores al 28 por ciento de la data). Las variables seleccionadas fueron sometidas a:

- i) Procesos de imputación de datos censurados por la izquierda, un dato de la variable plomo fue reemplazado con el valor medio del límite de detección, LD/2 (Helsel, 2011; Palarea & Martín, 2013).

- ii) Procesos de imputación de datos faltantes menores al 28 por ciento de la data, seis variables fueron imputadas mediante el método “vecino más próximo” y una con imputación de “medias mensuales”; de las siete variables solo dos fueron seleccionadas: la variable temperatura, cuyas dos series anuales finales faltantes fueron completadas con las medias mensuales de las series precedentes; y la variable fosfatos, con 24 datos faltantes, que fueron imputados con el método del “vecino más próximo”.



**Figura 4: Procedimiento de obtención de la matriz de datos.**

Fuente: Elaboración propia.

El pretratamiento de datos originó una matriz de datos para el proceso de análisis estadístico conformada por 24 variables o parámetros ambientales y 84 observaciones o muestras mensuales (Anexo 3). Los parámetros considerados para el análisis se presentan en el Cuadro 1.

De acuerdo al Equipo de Gestión Integral de Plantas de la empresa SEDAPAL, la toma de muestras es continua y se realiza periódicamente a mediados de cada mes. La data obtenida corresponde al periodo de monitoreo de enero del 2009 a diciembre del 2015, equivalente a siete series mensuales o 12 observaciones o muestras mensuales por año. Los métodos de análisis o de ensayo de laboratorio son referidos como *Standar Methods*.

**Cuadro 1: Parámetros ambientales, unidades, métodos y normas de referencia**

Parámetro	Abreviatura*	Unidades	Método	Norma de Referencia
Caudal**	Caudal	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Método del Correntómetro	---
Temperatura	Temp	°C	Temperature	SM 2550 B, 22nd Edition
Potencial de hidrógeno	pH	unidad de pH	pH Value. Electrometric Method.	SM Part 4500-H B, 22nd
Turbidez, turbiedad	Turb	UNT	Turbidity. Nephelometric Method	SM Part 2130 B, 22nd
Conductividad eléctrica	CE, EC***	μS cm <sup>-1</sup>	Conductivity. Laboratory Method.Laboratorio	SM Part 2510 B, 22nd
Oxígeno Disuelto	OD, DO***	mg l <sup>-1</sup>	Oxygen (Dissolved). Azide Modification.	SM Part 4500-O C, 22nd
Sólidos Disueltos	SD, DO***	mg l <sup>-1</sup>	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C	SM Part 2540 C, 22nd
Alcalinidad	Alcal	mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	Alkalinity. Titration Method.	SM Part 2320-B, 22nd
Dureza Total	DT, HT***	mg l <sup>-1</sup>	Hardness. EDTA Titrimetric Method.	SM Part 3500-Ca B, 22nd
Cloruros	Cls	mg l <sup>-1</sup>	Chloride. Argentometric Method.	SM Part 4500-Cl <sup>-</sup> B, 22nd
Sulfatos	SO4	mg l <sup>-1</sup>	Sulfatos E, 22nd Edition.	SM Part 4500-SO 2012 4 2
Nitratos	NO3	mg l <sup>-1</sup>	Nitrogen (Nitrate). Cadmium Reduction Method.	SM Part 4500-NO3 <sup>-</sup> B, 22nd
Nitritos	NO2	mg l <sup>-1</sup>	Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method.	SM Part 4500-NO2 <sup>-</sup> B,
Fosfatos	PO4	mg l <sup>-1</sup>	Ascorbic Acid Method.	SM Part 4500-P E, 22nd
Cobre	Cu	mg l <sup>-1</sup>	Determination of Metals and Trace Elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry	EPA-Method 200.7, Revision 4.4 EMMC.
Aluminio	Al	mg l <sup>-1</sup>		
Hierro	Fe	mg l <sup>-1</sup>		
Manganeso	Mn	mg l <sup>-1</sup>		
Plomo	Pb	mg l <sup>-1</sup>		
Cadmio	Cd	mg l <sup>-1</sup>		
Zinc	Zn	mg l <sup>-1</sup>		
Arsénico	As	mg l <sup>-1</sup>		
Coliformes totales	CoTo	NMP (100 ml) <sup>-1</sup>	Multiple-Tube Fermentation Standard Total Coliform Tech.	SM Part 9221 B, 22nd
Coliformes termotolerables	CoTe	NMP (100 ml) <sup>-1</sup>	Multiple-Tube Fermentation Thermotolerant Coliform Test.	SM Part 9221 B, 22nd

\* La abreviatura fue asignada *ad libitum*, como codificación de variables para los análisis estadísticos.

\*\* Las mediciones del caudal del río Rímac, corresponde a la estación Hidrométrica de Chosica.

\*\*\* Las segundas abreviaturas son referidas en el *abstract*, las que corresponden a sus acrónimos en inglés.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El tratamiento estadístico de datos fue llevado a cabo mediante los paquetes estadísticos: XLSTAT 2016.02 y PAST 3.x. (Hammer *et al.*, 2001), el último es señalado en cada caso que es usado, en caso contrario, se entiende que el procesamiento se realizó con el primero.

#### **3.3.1. ANÁLISIS PREVIO DE DATOS**

##### **a. ANÁLISIS EXPLORATORIO INICIAL**

La matriz de datos fue sometida a un análisis descriptivo inicial mediante los estadísticos descriptivos: número de datos, media, valores mínimo y máximo, varianza, coeficiente de variación, desviación estándar, asimetría y curtosis. Este primer análisis permitió examinar básicamente la existencia de variación en los datos, identificar las variables de mayor variación y explorar la primera aproximación a la distribución normal o Gaussiana.

Teóricamente, en las distribuciones normales el valor de la asimetría o sesgo es cero, las desviaciones de las curvas hacia la derecha tienen un sesgo mayor a cero y menor a cero cuando las desviaciones son a la izquierda, a medida que el valor del sesgo aumenta mayor es la desviación de la curva. Las distribuciones normales tienen una concentración o la mayor densidad de sus datos en los valores centrales (medias) cuando el valor de curtosis es cero, los valores positivos o negativos de la curtosis indican mayor o menor concentración de los datos alrededor de la media, respectivamente (Espíritu, 2010).

##### **b. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD**

La decisión de continuar el análisis con técnicas multivariantes desde un enfoque paramétrico o no paramétrico requirió de pruebas más confiables, llevándose a cabo pruebas inferenciales univariadas de distribución de probabilidad normal o Gaussiana como las pruebas de: Shapiro Wilk, Lilliefors (corrección de Kolmogorov-Smirnov) y Anderson-Darling. Para las contrastaciones, el nivel de confianza fue del 95 por ciento (valor  $\alpha = 0,05$ ) con la hipótesis nula,  $H_0$ : la variable sigue una distribución normal.

De manera complementaria al análisis univariado una segunda prueba de normalidad multivariante basadas en la Prueba de Mardia (Mardia, 1970), se llevó a cabo para contrastar

la hipótesis nula ( $H_0$ ) de normalidad. El software PAST calcula asimetría y curtosis multivariante, con pruebas basadas en las distribuciones: chi-cuadrado para curtosis y normal para asimetría. Una prueba omnibus *Omnibus Test* de más poder (Doornik & Hansen, 2008) complementa la salida del procesamiento de PAST. Si al menos una de estas pruebas muestra desviación de la normalidad (valor  $p$  bajo), se debe rechazar la hipótesis nula, confirmando que la distribución es significativamente no normal. Las variables ambientales de calidad de agua frecuentemente no siguen un tipo distribución definida, menos aún, una distribución Normal (Helsel, 1987; Yu *et al.*, 1993).

Si se verifican las contrastaciones de rechazo de la hipótesis de “normalidad”, no es recomendable seguir el procesamiento de datos bajo enfoque paramétrico, y por el contrario es conveniente tratar con técnicas no paramétricas.

### **c. CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES**

Algunas técnicas multivariantes, como el ACP, requieren la construcción de la matriz de correlaciones; las correlaciones altas entre pares de variables le dan sentido al análisis, esto se traduce en la existencia de información redundante, por lo tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total.

Las correlaciones entre variables fueron analizadas mediante el coeficiente  $\rho$  de Spearman, que tiene como ventajas en su estimación o cálculo, no requerir de la transformación ni estandarización de los datos, de tal manera que, se conservó el efecto de valores atípicos (Helsel & Hirsch, 2002) y no se forzó a la linealidad de los datos.

El coeficiente de correlación  $\rho$  de Spearman se puede obtener de manera similar que el coeficiente de correlación  $r$  Pearson, pero calculado sobre el rango de observaciones.

## **3.3.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE**

### **a. ANÁLISIS CLÚSTER**

Un primer análisis clúster fue llevado a cabo sobre la matriz de datos, para agrupar parámetros o variables de calidad ambiental del agua, mediante el ‘método promedio no

ponderado grupo-par' conocido también como UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean*) y teniendo como algoritmo de agrupamiento o medida de similitud al coeficiente de correlación  $\rho$  de Spearman.

Un segundo AC fue realizado sobre la matriz de medias mensuales, la que se obtuvo a partir de la matriz de datos, para establecer patrones temporales formados por grupos de meses contiguos que tengan un patrón o comportamiento parecido. Actualmente, la mayor parte de software estadísticos tienen aún el inconveniente de no poder priorizar agrupamientos de observaciones continuas o contiguas, esta opción se conoce como “restricción de contigüidad”, generando un problema en el agrupamiento, pues construyen grupos o clúster homogéneos o similares, lo que conlleva a separar o dispersar las observaciones alta similitud sin tener en cuenta la contigüidad de observaciones mensuales. PAST es uno de los paquetes estadísticos que tiene la opción de restricciones de contigüidad, con éste se llevaron a cabo dos agrupamientos:

- i) Un primer aglomeramiento jerárquico sin restricciones, basado en el ‘método promedio no ponderado grupo-par’ y teniendo como medida de similitud al coeficiente de correlación  $\rho$  de Spearman.
- ii) Un segundo aglomeramiento con todas las características del primero, pero con la opción de restricción.

Este último agrupamiento permitió formar clústeres de meses vecinos o contiguos, a los que se les asignó denominaciones teóricas, de acuerdo a las épocas hidrológicas o de regímenes de climáticos de precipitación que caracterizan a la cuenca del río Rímac, obteniéndose de esta forma: clústeres, agrupamientos, épocas o patrones de variación temporal de calidad de agua, originados a partir de la matriz de datos y no de supuestos teóricos *a priori* como la clásica asignación de estaciones anuales (primavera, verano, otoño e invierno) como agrupamientos o patrones de variación.

Para todos los casos, el AC permitió obtener dendrogramas que proporcionan un resumen visual del proceso de aglomeración, representando en un eje los clústeres *versus* sus similitudes en el otro eje, lográndose de esta forma la reducción de la dimensionalidad de la matriz de datos (Shrestha & Kazama, 2007; Lei, 2014).

## **b. ANÁLISIS DISCRIMINANTE**

Las aplicaciones del AD son: construir funciones o modelos discriminantes y determinar la correcta asignación de objetos u observaciones (muestras mensuales) a diferentes clases existentes (grupos categóricos o patrones determinados por el AC), mediante la matriz de clasificación o matriz de confusión, determinar las variables más predictivas o discriminantes de la clasificación conocida y calcular las funciones de clasificación que permiten clasificar los nuevos objetos en cierta clase o grupo (Rencher, 2003).

En este estudio el AD se usó para confirmar la correcta clasificación de las variables categóricas o agrupamientos, obtenidos en el análisis clúster, sobre la matriz datos sin estandarización ni tipificación, a pesar de que la técnica requiere el cumplimiento de los supuestos de linealidad y normalidad. El AD se llevó a cabo sobre las observaciones agrupadas, clústeres o patrones de calidad de agua (variables dependientes), como mejor expresión de la variabilidad temporal de la calidad del agua, en función de todos los parámetros ambientales (variables independientes).

Las funciones discriminantes (FDs) también denominadas funciones canónicas y las matrices de clasificación (MCs) fueron obtenidas según los modos estándar *standard* y paso a paso *stepwise*, mediante tres modelos: estándar, paso a paso hacia adelante *forward stepwise* y paso a paso hacia atrás *backward stepwise*. En el modelo hacia adelante, las variables se van incluyendo en cada paso, desde las más a las menos significativas, hasta que no haya cambios significativos en la función; en el modelo hacia atrás, las variables se eliminan paso a paso comenzando por las menos significativas.

Los gráficos de distribución o dispersión de datos u observaciones por grupos y sus centroides son el complemento visual del AD, éstos fueron elaborados para cada uno de los tres modelos propuestos.

## **c. ANÁLISIS DE VARIANZA**

Luego de someter los agrupamientos o patrones temporales de calidad de agua del AC a un proceso de validación de la clasificación mediante el AD, estos fueron sometidos en el software PAST a un análisis multivariante de varianza no paramétrica (NPMANOVA o

PERMANOVA) de una sola vía, con el coeficiente *rho* de Spearman como medida de correlación y un total de 9999 permutaciones, para probar la variación temporal de la calidad de agua por épocas, como expresión del conjunto de todas las variables, o la significancia y contrastación de las patrones o grupos temporales de variación. Las pruebas tuvieron como hipótesis nula,  $H_0$ : las medias multivariantes o centroides de los grupos son iguales o las muestras (épocas) provienen de una misma población. El estadístico F y los valores-*p* (secuencia de Bonferroni) determinaron la significancia de las contrastaciones a un nivel significativo ( $\alpha = 0,05$ ).

La contrastación de la clasificación de las épocas de variación de calidad de agua fue también realizada de manera individual para cada una de las variables ambientales, a fin de probar la variación o comportamiento por época, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, una prueba no paramétrica que contrasta si dos o más muestras son iguales o provienen de una misma población.

De manera complementaria se llevó a cabo el procedimiento *Dwass-Steel-Critchlow-Fligner* (DSCF) que es otra forma popular de inferencia simultánea no paramétrica en diseños de una vía para todas las comparaciones por pares (Hollander and Wolfe, 1999). Se hicieron todas las comparaciones por épocas para cada una de las variables, para buscar el nivel de significancia de las comparaciones (por defecto,  $\alpha = 0,05$ ). Todas las comparaciones se hicieron bajo el supuesto de probabilidad de “ninguna diferencia” existente.

#### **d. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

El ACP tiene por objeto transformar un conjunto de variables ambientales, en un nuevo conjunto de variables llamados componentes principales (CPs) y busca reducir la dimensión original de un conjunto de *p* variables observadas llamadas variables originales, correlacionadas entre sí, en un nuevo conjunto de *m* variables ortogonales (no correlacionadas) denominados componentes principales (Uriel y Aldás, 2005).

La técnica ACP permitió reducir las dimensiones de la matriz de datos, en un espacio de pocas dimensiones, este espacio reducido tiene como ejes principales a los componentes principales o factores, que son combinaciones lineales de las variables originales. Esto se

determinó mediante el cálculo de los eigenvalores o valores propios y eigenvectores a partir de la matriz de correlación de Spearman. El ACP forma parte de una de las técnicas factoriales, además de ser conocida como una técnica de patrones no supervisado.

Los nuevos ejes se encuentran en las direcciones de máxima varianza. El ACP es una manera objetiva de explicar de la forma más concisa posible la variación de los datos mediante índices, puntajes o *scores* y cargas o *loadings*, proporcionando información sobre los parámetros más significativos que describen a la mayor parte de la variación del conjunto o matriz de datos con una mínima pérdida de información original (Helena *et al.*, 2000; Lei, 2014;).

Los pesos, cargas o *loadings* son las proyecciones de las variables originales sobre los subespacios de los CPs y coinciden con los coeficientes de correlación entre CPs y variables (Vega *et al.*, 1998).

El componente principal (CP) puede ser expresado como:

$$Z_{ij} = a_{i1}x_{1n} + a_{i2}x_{2n} + a_{i3}x_{3n} + \dots + a_{ip}x_{pn}$$

Donde  $Z$  es el puntaje del componente,  $a$  es la carga o peso del componente,  $x$  es el valor medido de la variable,  $i$  es el número del componente,  $n$  es el número de muestra y  $p$  el número total de variables.

El gráfico de sedimentación o *scree plot* fue usado para identificar el número de CPs que fueron retenidos para comprender la estructura de la data. El *scree plot* generalmente muestra un cambio pronunciado de la pendiente y se sugieren considerar todos los CPs que están por encima e incluir el siguiente después del quiebre, otra de las alternativas es retener todos los factores cuyos valores propios sean mayores a uno; sin embargo, fue el criterio de *broken stick* la alternativa que se usó en este estudio, esta se fundamenta en la hipótesis nula donde la varianza total es asignada aleatoriamente sobre CPs o Factores. Los valores propios se distribuyen de acuerdo con la distribución de "*broken stick*" (Frontier, 1976).

Los valores propios o eigenvalores más altos que la unidad explican el mayor porcentaje de

la varianza o la información contenida en el conjunto de la data original. Las proyecciones de las variables originales sobre el sub-espacio de los CPs son llamados pesos o cargas (*loadings*) y coinciden con los coeficientes de correlación entre los CPs y las variables (Vega *et al.*, 2008).

El análisis de factor AF, sigue al ACP. El principal propósito del FA es reducir la contribución de las variables menos significativas para simplificar aún más la estructura de la data proveniente del ACP. Este propósito puede conseguir por rotación de los ejes definidos en el análisis de acuerdo a las bien establecidas reglas para construir nuevas variables, también denominadas varifactores.

Un componente principal es una combinación lineal de variables de calidad de agua observadas, no obstante un varifactor puede incluir variables no observables, hipotéticas y latentes (Vega *et al.*, 1998; Helena *et al.*, 2000).

El ACP fue realizado sobre la matriz de datos, con parámetros o variables de calidad de agua sin transformación ni estandarización, para obtener CPs significativos y retirar del análisis las variables con menor significancia, los componentes principales fueron sujetos a rotaciones ortogonales, “varimax” generando varifactores. Como resultado un pequeño número de variables podrían usualmente contener la misma cantidad de información como el conjunto más grande de variables originales.

Los mismos procedimientos de ACP fueron aplicados a cada uno de los agrupamientos de observaciones, es decir a cada uno de los patrones o épocas de variación de calidad de agua, a fin de determinar componentes principales por época y los parámetros ambientales que acumulan mayor variabilidad.

Para todos los casos se elaboraron gráficos bidimensionales de dispersión de cargas y puntuaciones de los CPs a fin de lograr una mejor lectura de los parámetros sobre los ejes de los componentes principales.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. ANÁLISIS PREVIO DE DATOS**

#### **4.1.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO**

Se analizaron 2016 datos o valores de parámetros ambientales de calidad de agua, que conforman la matriz de datos: 24 variables x 84 observaciones, mediante el análisis de estadísticos descriptivos. En el Cuadro 2 se muestran los resultados del análisis. En las 84 observaciones analizadas por cada parámetro ambiental, se encontró que hubieron diferencias entre el valor mínimo y valor máximo, ésta es una evidencia de que existe variación o variabilidad en los datos; todas las medias son diferentes entre sí, al igual que los valores de la varianza y la desviación estándar son diferentes de cero, ambas confirmatorias de variabilidad contenida en los datos, indicando además que existe heterogeneidad en los datos de cada parámetro de calidad de agua, ya que en caso de homogeneidad no tendría sentido hacer el análisis multivariante.

Los coeficientes de variación son la primera aproximación de que variables tienen mayor variabilidad, en ese orden, se encuentran las variables: aluminio, turbidez y hierro con valores de 2,46, 2,26 y 2,22 respectivamente, y las de menor variación: pH, oxígeno disuelto y temperatura con valores de 0,032, 0,045 y 0,11 respectivamente.

Los valores de los estadísticos de asimetría y curtosis o aplastamiento de la curva (ambos de Fisher) son los deslindes iniciales de proximidad de la distribución de los datos de las variables a una curva de distribución normal o Gaussiana. Los resultados muestran que las variables temperatura y sulfatos tienen los valores de asimetría más próximos a cero, -0,013 y -0,039, es decir sin desviación aparentes de sus curvas de distribución; el pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y dureza total, tiene una ligera desviación a la

izquierda; en tanto que el resto, la mayoría de parámetros, presentan desviaciones a la derecha, como en metales y metaloides: cobre, aluminio, hierro, manganeso, plomo, cadmio, zinc y arsénico.

En el caso de la curtosis, la variable fosfatos (0,094) tiene una distribución normal, mientras que la temperatura, conductividad, sólidos disueltos, dureza total, y sulfatos tienen concentrados sus datos alrededor de su valor central y por debajo de la curva normal, las variables caudal, pH, alcalinidad, cloruros, nitratos, nitritos y coliformes totales y termotolerables, ligeramente por encima de la curva, el resto de variables tienen distribuciones más alejadas y por encima de la curva o menos concentradas alrededor del valor central, de lo que se puede inferir que, la mayor parte de parámetros de calidad de agua no muestran una distribución normal.

**Cuadro 2: Estadísticos básicos de los 24 parámetros de calidad de agua**

Variable*	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	Desv. Típica	Coef. Var.	Asimetría	Curtosis
Caudal	84	16,200	92,400	34,563	294,9933	17,175	0,494	1,453	1,454
Temp	84	13,458	22,575	18,248	4,1072	2,027	0,110	-0,013	-0,657
pH	84	7,055	8,470	7,913	0,0641	0,253	0,032	-0,668	1,233
Turb	84	3,03	1172,8	82,7	35683,93	188,902	2,268	3,958	17,013
CE	84	342,7	728,5	541,7	8683,20	93,184	0,171	-0,317	-0,419
OD	84	7,44	10,47	8,70	0,1581	0,398	0,045	1,391	8,027
SD	84	182,00	531,50	377,10	6353,348	79,708	0,210	-0,355	-0,327
Alcal	84	69,87	159,25	105,14	310,981	17,635	0,167	0,373	0,537
DT	84	124,00	312,00	230,71	1889,934	43,473	0,187	-0,422	-0,598
Cls	84	7,60	37,79	17,20	36,040	6,003	0,347	1,379	2,613
SO4	84	79,00	204,50	141,96	864,055	29,395	0,206	-0,039	-0,759
NO3	84	1,453	6,375	3,214	0,9621	0,981	0,303	0,491	0,407
NO2	84	0,027	0,585	0,196	0,0134	0,116	0,585	1,025	1,034
PO4	84	0,016	0,624	0,258	0,0157	0,125	0,482	0,508	0,094
Cu	84	0,007	0,199	0,035	0,0010	0,032	0,905	3,297	13,862
Al	84	0,020	37,918	2,298	32,5822	5,708	2,469	4,638	23,498
Fe	84	0,087	36,390	2,536	32,2546	5,679	2,226	4,576	23,365
Mn	84	0,015	1,469	0,126	0,0357	0,189	1,487	5,335	33,815
Pb	84	0,003	0,379	0,030	0,0025	0,050	1,625	5,265	32,103
Cd	84	0,001	0,012	0,002	0,0000	0,002	0,758	4,026	20,556
Zn	84	0,077	1,685	0,342	0,0817	0,286	0,832	3,338	12,980
As	84	0,006	0,544	0,041	0,0045	0,067	1,623	5,703	39,042
CoTo	84	27745,2	576569,9	171929	15354738455	123914,2	0,716	1,232	0,971
CoTe	84	12323	243539,2	64905	2760932207	52544,6	0,805	1,503	1,854

\*Las unidades de las variables o parámetros ambientales están indicadas en el Cuadro 1.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. CONTRASTE DE NORMALIDAD

Las pruebas de contraste de normalidad se llevaron a cabo teniendo como hipótesis nula (Ho): las variables sigue una distribución normal y como hipótesis alternativa (Ha): las variables de la muestra no sigue una distribución normal.

Los resultados del contraste de normalidad univariante son presentados en el Cuadro 3. De acuerdo a la prueba de Shapiro Wilk: en 7 de las 24 variables (temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, alcalinidad, sulfatos, nitratos y fosfatos) no se puede rechazar la hipótesis nula y en las 17 restantes se acepta la hipótesis alternativa, los parámetros de calidad de agua no siguen una distribución normal.

**Cuadro 3: Resultados de las pruebas de significancia de normalidad univariante**

Variable	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors
Caudal	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Temp	0,388	0,331	0,560
pH	<b>0,036</b>	<b>0,033</b>	0,062
Turb	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CE	0,063	<b>0,035</b>	0,082
OD	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SD	0,193	0,216	0,520
Alcal	0,069	0,086	0,439
DT	<b>0,037</b>	<b>0,023</b>	<b>0,042</b>
CLs	< 0,0001	< 0,0001	<b>0,002</b>
SO4	0,288	0,154	<b>0,033</b>
NO3	0,126	0,593	0,867
NO2	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,011</b>
PO4	0,187	0,422	0,433
Cu	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Al	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Fe	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Mn	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Pb	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cd	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Zn	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
As	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CoTo	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
CoTe	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Fuente: Elaboración propia.

Para la prueba de Anderson-Darling: en 6 de las 7 variables anteriores (exceptuando la conductividad eléctrica) y para la prueba de Lilliefors en 7 variables (exceptuando los sulfatos y adicionando el pH a las primeras siete variables) no se puede rechazar la hipótesis nula, mientras que en las restantes, 17 y 18 variables de las últimas dos pruebas, respectivamente, se acepta la hipótesis alternativa, es decir las variables no siguen una distribución normal.

Los valores, del cuadro anterior, resaltados en negrita, indican que son menores al valor de significancia ( $\alpha = 0,05$ ) en los que se rechaza la hipótesis nula. Lo que se interpreta como: con una probabilidad del 95 por ciento, las variables no siguen una distribución normal.

Las pruebas de normalidad multivariada: Test de Mardia y el Test Omnibus de Doornik & Hansen, se llevaron a cabo en el *software* PAST, encontrándose valores-*p* muy bajos, Cuadro 4, por lo que de manera significativa la hipótesis nula de normalidad multivariante es rechazada, en otras palabras, el conjunto de datos no sigue una distribución normal.

**Cuadro 4: Resultados de prueba de significancia de normalidad multivariante**

Parámetro	Valor	Estadístico	df	p (normal)
<i>Test de Mardia</i>				
Asimetría	442,1	6189	2600	1,44E-292
Asimetría, muestra pequeña corregida		6429	2600	3,953E-323
Curtosis	800,4	22,88		0
<i>Test Omnibus de Doornik &amp; Hansen</i>				
$E_p$	1039			3,488E-186

Fuente: Elaboración propia

La normalidad multivariada, la cual implica relaciones lineales entre las variables, es una condición exigida por algunas técnicas multivariantes clásicas, como en el ACP y AD, pruebas paramétricas, a fin de reunir las condiciones necesarias para el uso del modelo lineal general. El uso como herramienta exploratoria de datos multivariados es un argumento a favor de estas técnicas, no obstante, algunas inferencias pueden ser obtenidas de la data “no normal” cuando se analizan desde un enfoque no paramétrico.

La transformación y estandarización de variables, las cuales son un remedio para los *outliers* y fallas de normalidad, linealidad y homocedasticidad, frecuentemente causan incremento en la dificultad de la interpretación de la transformación de variables. Adicionalmente, los *outliers* representan condiciones ecológicas extremas, su remoción o transformación no es deseable (Tran *et al.*, 2002). Bajo estas consideraciones, se decidió analizar la data sin ninguna transformación ni estandarización.

Si consideramos a los datos de calidad de agua desde una perspectiva ecológica, estos raramente se ajustan a una distribución normal, siendo esta una de las razones, cuando se trata de estudiar el grado de correlación en esta ciencia, optar por el uso de técnicas de correlación no-paramétrica, las cuales son libres de distribución, es decir, no existe la necesidad de que los datos tengan una distribución normal, ni la existencia de relaciones de linealidad entre los datos.

Existen varias investigaciones en los que se aplicó el enfoque no paramétrico para estudios de variación temporal de calidad del agua (Singh *et al.*, 2004; Shrestha & Kazama, 2007; Garizi *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2016), por lo que la adopción de este enfoque resulta ser una alternativa viable frente a los métodos tradicionales de análisis multivariante que requieren la transformación y estandarización de los datos.

#### **4.1.3. CORRELACIONES**

Las correlaciones *rho* de Spearman entre pares de variables, obtenidas a partir de los datos o matriz de datos sin transformación ni tipificación, se pueden ver en el Cuadro 5. Las correlaciones son una medida de proximidad que permite visualizar el grado de similitud entre variables, condición necesaria para llevar a cabo algunas técnicas de análisis multivariante, puesto que estas no son adecuadas si existen muy pocas correlaciones o si existen una gran semejanza entre ellas, lo que conllevaría a que no sea necesario realizar estos análisis (Espíritu, 2010).

Los coeficientes de correlación *rho* de Spearman de variables con valores absolutos de sus coeficientes mayores a 0,70 ( $rho > 0,70$ ) fueron considerados como correlaciones

“fuertes”, entre 0,5 y 0,7 ( $0,5 < rho < 0,7$ ) como correlaciones “moderadas” y menores a 0,5 ( $rho < 0,5$ ) como correlaciones “débiles”, para todos los casos con una significancia de 95% de confiabilidad (valor- $p < 0,05$ ), bajo estos criterios se encontró que:

- Existe una fuerte correlación positiva o similaridad de la conductividad eléctrica con: la dureza total, alcalinidad y cloruros con valores  $rho$ : 0,88, 0,764 y 0,765 respectivamente, lo que se puede interpretar como la contribución de los aniones  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  (iones alcalinotérreos que determinan la dureza y alcalinidad del agua) y  $Cl^{-}$ , (iones negativos) sobre la conductividad eléctrica del agua. En ese mismo sentido es fuerte la relación con sólidos disueltos que mide el contenido de sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular y en especial las formas ionizadas y el contenido de iones sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) con valores  $rho$  de 0,763 y 0,721 respectivamente.
- Existe una fuerte relación entre los sólidos disueltos con sulfatos ( $rho=0,76$ ), como lo refieren Manahan (2006) y Espíritu (2010), estos forman parte del contenido de los sedimentos cuyo principal constituyente es el yeso natural ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) y que origina el ion  $SO_4^{2-}$ , y correlación con la dureza total ( $rho=0,72$ ) por la presencia de iones  $Ca^{2+}$ , y  $Mg^{2+}$ , en donde el yeso contribuye con la concentración de iones calcio, adicionalmente es importante el aporte de minerales menos solubles como la calcita ( $CaCO_3$ ), la magnesita ( $MgCO_3$ ) y la dolomita ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) entre otros minerales que contienen  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Si^{2+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $Na^{1+}$  y  $K^{1+}$ .
- Existe una fuerte correlación entre metales, aluminio y hierro ( $rho=0,859$ ), cobre y zinc ( $rho=0,783$ ), manganeso y zinc ( $rho=0,77$ ), hierro y manganeso ( $rho=0,764$ ) y, cobre y manganeso ( $rho=0,741$ ). Si bien es cierto que, tanto metales como metaloides se encuentran en la corteza terrestre y su incorporación al agua se deba a un proceso hidro-geoquímico natural, también es cierto que el origen antropogénico de metales en el agua tenga como explicación, altamente probable, al desarrollo de actividades de la industria minera en la cabecera de cuenca, estos metales se encuentran en el agua en forma de materia suspendida y disuelta, debido a la interacción entre el sedimento y el agua (Espíritu, 2010). Las precipitaciones estacionales incrementan el caudal del río, por los aportes de las escorrentías que a su vez aumentan la concentración de metales en el río Rímac.

- La alcalinidad está fuertemente correlacionada con los iones cloruro ( $\rho=0,756$ ) y con la dureza total ( $\rho=0,715$ ), en este último caso como se había indicado compuestos carbonatados y sulfatados son fuente principal de cationes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . La relación con cloruros puede deberse principalmente a la presencia de sus aniones interactuantes como el  $\text{Na}^{1+}$  y  $\text{K}^{1+}$  en sales en disolución y la presencia de ácidos débiles.
- La turbidez tiene una fuerte correlación con el hierro ( $\rho=0,752$ ) y el aluminio ( $\rho=0,71$ ), estos metales de mayor concentración en la naturaleza, junto con el cobre y zinc, son esenciales para la vida acuática en concentraciones traza, y se encuentran en la naturaleza en diversas formas, en mayor parte de la corteza de la tierra (Hierro en 7,4 y aluminio 4,7 por ciento) y en altas concentraciones en los sedimentos de los ríos agrupados en sólidos suspendidos totales (Espíritu, 2010).
- La correlación más fuerte se da entre coliformes totales y coliformes termotolerables ( $\rho = 0,895$ ), ambas variables contemplan al grupo de bacterias entéricas humanas y de animales, y son indicadoras de contaminación fecal del agua. La alta similaridad se debe a que los coliformes totales comprenden a todo el grupo de bacterias de los géneros: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, mientras que las termotolerables comprende a bacterias no esporuladas que fermentan la lactosa a  $44,5 \text{ C} \pm 0,2 \text{ C}$  dentro de las  $24 \pm 2$  horas. La mayor especie en el grupo es el *Escherichia coli* (Restrepo *et al.*, 2007).
- Las correlaciones moderadas se presenta en dos grupos: las formas iónicas, cuyos coeficientes de correlación se concentran a la izquierda del triángulo superior de la matriz de proximidad, el otro grupo correlacionado está formada por metales y metaloides, coeficientes presentes en la parte inferior derecha. Entre ambos grupos de parámetros existe una correlación inversa, evidenciado por el valor negativo de los coeficientes  $\rho$ , en la parte superior derecha de la matriz.
- Las variables oxígeno disuelto, pH, coliformes totales y coliformes termotolerables, ubicados en la parte media de la matriz de proximidad, presentan los coeficientes  $\rho$  de Spearman más débiles con la mayoría de variables.

**Cuadro 5: Matriz de proximidad ordenada - Coeficientes de correlación de Spearman**

Variables	CE	SD	DT	PO4	SO4	Alcal	ClS	NO3	NO2	pH	OD	CoTo	CoTe	Cd	Temp	As	Zn	Pb	Cu	Turb	Mn	Al	Caud	Fe
CE	<b>1</b>	<b>0,76</b>	<b>0,88</b>	<b>0,63</b>	<b>0,72</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,56</b>	<b>0,62</b>	0,10	0,00	0,00	0,02	-0,15	<b>-0,45</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,65</b>
SD	<b>0,76</b>	<b>1</b>	<b>0,71</b>	<b>0,58</b>	<b>0,72</b>	<b>0,66</b>	<b>0,64</b>	<b>0,55</b>	<b>0,51</b>	0,09	-0,09	-0,01	-0,06	<b>-0,28</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,65</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,67</b>
DT	<b>0,88</b>	<b>0,71</b>	<b>1</b>	<b>0,51</b>	<b>0,66</b>	<b>0,71</b>	<b>0,69</b>	<b>0,48</b>	<b>0,55</b>	0,03	-0,05	0,02	-0,02	-0,16	<b>-0,50</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,59</b>
PO4	<b>0,63</b>	<b>0,58</b>	<b>0,51</b>	<b>1</b>	<b>0,59</b>	<b>0,59</b>	<b>0,54</b>	<b>0,62</b>	<b>0,50</b>	<b>0,23</b>	-0,09	-0,11	-0,10	<b>-0,37</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,53</b>
SO4	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,66</b>	<b>0,59</b>	<b>1</b>	<b>0,67</b>	<b>0,52</b>	<b>0,51</b>	<b>0,40</b>	0,18	-0,04	-0,17	-0,15	-0,21	<b>-0,35</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,54</b>
Alcal	<b>0,76</b>	<b>0,66</b>	<b>0,71</b>	<b>0,59</b>	<b>0,67</b>	<b>1</b>	<b>0,76</b>	<b>0,48</b>	<b>0,47</b>	0,18	-0,08	-0,09	-0,07	-0,09	<b>-0,34</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,56</b>
CLs	<b>0,77</b>	<b>0,64</b>	<b>0,69</b>	<b>0,54</b>	<b>0,52</b>	<b>0,76</b>	<b>1</b>	<b>0,54</b>	<b>0,49</b>	0,18	-0,03	-0,02	-0,01	-0,15	<b>-0,26</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,52</b>
NO3	<b>0,56</b>	<b>0,55</b>	<b>0,48</b>	<b>0,62</b>	<b>0,51</b>	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	<b>1</b>	<b>0,50</b>	<b>0,24</b>	0,06	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	-0,15	-0,07	-0,12	<b>-0,40</b>	-0,17	<b>-0,53</b>	-0,18	<b>-0,37</b>	-0,20	<b>-0,42</b>	<b>-0,30</b>
NO2	<b>0,62</b>	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>0,47</b>	<b>0,49</b>	<b>0,50</b>	<b>1</b>	-0,07	0,10	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	-0,15	-0,17	<b>-0,24</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,36</b>
pH	0,10	0,09	0,03	<b>0,23</b>	0,18	0,18	0,18	<b>0,24</b>	-0,07	<b>1</b>	-0,10	<b>-0,22</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,33</b>	-0,06	-0,06	-0,10	-0,05	<b>-0,22</b>	-0,17	-0,21	-0,15	-0,13	-0,17
OD	0,00	-0,09	-0,05	-0,09	-0,04	-0,08	-0,03	0,06	0,10	-0,10	<b>1</b>	-0,04	0,05	0,11	0,03	0,13	0,00	0,04	-0,09	0,09	0,06	0,12	0,17	0,06
CoTo	0,00	-0,01	0,02	-0,11	-0,17	-0,09	-0,02	<b>0,24</b>	<b>0,26</b>	<b>-0,22</b>	-0,04	<b>1</b>	<b>0,90</b>	0,04	<b>0,27</b>	0,10	-0,02	<b>0,29</b>	-0,05	<b>0,41</b>	0,18	0,20	0,11	0,20
CoTe	0,02	-0,06	-0,02	-0,10	-0,15	-0,07	-0,01	<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	<b>-0,31</b>	0,05	<b>0,90</b>	<b>1</b>	0,14	<b>0,36</b>	<b>0,22</b>	-0,03	<b>0,33</b>	-0,06	<b>0,43</b>	<b>0,24</b>	<b>0,28</b>	0,16	<b>0,26</b>
Cd	-0,15	<b>-0,28</b>	-0,16	<b>-0,37</b>	-0,21	-0,09	-0,15	-0,15	-0,15	<b>-0,33</b>	0,11	0,04	0,14	<b>1</b>	<b>0,29</b>	<b>0,38</b>	<b>0,54</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,24</b>	<b>0,53</b>	<b>0,32</b>	<b>0,27</b>	<b>0,38</b>
Temp	<b>-0,45</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,26</b>	-0,07	-0,17	-0,06	0,03	<b>0,27</b>	<b>0,36</b>	<b>0,29</b>	<b>1</b>	<b>0,32</b>	0,15	<b>0,36</b>	0,20	<b>0,51</b>	<b>0,40</b>	<b>0,45</b>	<b>0,63</b>	<b>0,43</b>
As	<b>-0,32</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,22</b>	-0,12	<b>-0,24</b>	-0,06	0,13	0,10	<b>0,22</b>	<b>0,38</b>	<b>0,32</b>	<b>1</b>	<b>0,31</b>	<b>0,59</b>	<b>0,37</b>	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>	<b>0,67</b>	<b>0,52</b>	<b>0,61</b>
Zn	<b>-0,47</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,31</b>	-0,10	0,00	-0,02	-0,03	<b>0,54</b>	0,15	<b>0,31</b>	<b>1</b>	<b>0,50</b>	<b>0,78</b>	<b>0,33</b>	<b>0,77</b>	<b>0,45</b>	<b>0,38</b>	<b>0,53</b>
Pb	<b>-0,46</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,34</b>	-0,17	<b>-0,31</b>	-0,05	0,04	<b>0,29</b>	<b>0,33</b>	<b>0,42</b>	<b>0,36</b>	<b>0,59</b>	<b>0,50</b>	<b>1</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,68</b>	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>	<b>0,67</b>
Cu	<b>-0,62</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,22</b>	-0,09	-0,05	-0,06	<b>0,41</b>	0,20	<b>0,37</b>	<b>0,78</b>	<b>0,55</b>	<b>1</b>	<b>0,43</b>	<b>0,74</b>	<b>0,53</b>	<b>0,46</b>	<b>0,59</b>
Turb	<b>-0,61</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,51</b>	-0,18	<b>-0,39</b>	-0,17	0,09	<b>0,41</b>	<b>0,43</b>	<b>0,24</b>	<b>0,51</b>	<b>0,46</b>	<b>0,33</b>	<b>0,55</b>	<b>0,43</b>	<b>1</b>	<b>0,56</b>	<b>0,71</b>	<b>0,64</b>	<b>0,75</b>
Mn	<b>-0,51</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,29</b>	-0,21	0,06	0,18	<b>0,24</b>	<b>0,53</b>	<b>0,40</b>	<b>0,46</b>	<b>0,77</b>	<b>0,68</b>	<b>0,74</b>	<b>0,56</b>	<b>1</b>	<b>0,68</b>	<b>0,50</b>	<b>0,76</b>
Al	<b>-0,61</b>	<b>-0,65</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,44</b>	-0,20	<b>-0,29</b>	-0,15	0,12	0,20	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,45</b>	<b>0,67</b>	<b>0,45</b>	<b>0,62</b>	<b>0,53</b>	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>	<b>1</b>	<b>0,65</b>	<b>0,86</b>
Caudal	<b>-0,72</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,33</b>	-0,13	0,17	0,11	0,16	<b>0,27</b>	<b>0,63</b>	<b>0,52</b>	<b>0,38</b>	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>	<b>0,64</b>	<b>0,50</b>	<b>0,65</b>	<b>1</b>	<b>0,62</b>
Fe	<b>-0,65</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,59</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,36</b>	-0,17	0,06	0,20	<b>0,26</b>	<b>0,38</b>	<b>0,43</b>	<b>0,61</b>	<b>0,53</b>	<b>0,67</b>	<b>0,59</b>	<b>0,75</b>	<b>0,76</b>	<b>0,86</b>	<b>0,62</b>	<b>1</b>

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación  $\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE

### 4.2.1. ANÁLISIS CLÚSTER (AC)

El AC fue llevado a cabo para agrupar meses que tienen similitud u homogeneidad entre ellos y heterogeneidad entre los grupos o clústeres formados, a fin de poder establecer la primera aproximación a patrones temporales de calidad de agua, originados a partir del análisis de datos y no de agrupaciones teóricas *a priori*, basadas en estaciones del año, como se estila en estudios de variación temporal de calidad de agua (Razmkhah *et al.*, 2010; Garizi *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012; Ruždjak & Ruždjak, 2015).

En el Cuadro 6, se presenta la matriz de medias mensuales, esta matriz permitió reducir y representar la variabilidad de los datos, por mes y por parámetro, en valores de tendencia central. De esta forma se agruparon las medias de los meses más parecidos o más regulares en la dinámica temporal de los parámetros de calidad de agua, fueron estas regularidades las que permitieron determinar los patrones en la variación temporal.

Algunas de estas regularidades se pueden apreciar respecto a las medias mensuales: los metales, microorganismos biológicos y parámetros físicos (caudal, temperatura y turbidez) muestran sus medias más altas en febrero y/o marzo, en contraposición las variables o parámetros de formas iónicas como la conductividad eléctrica, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos y fosfatos tienen sus medias mensuales más bajas entre febrero y abril. Las variables pH y OD no muestran regularidades de medias altas o bajas, sus valores parecen tener poca variabilidad y están próximas a los valores de las medias, es decir, presenta una homogeneidad temporal.

Los valores de desviación estándar, Cuadro 7, son una medida de variabilidad o dispersión de las observaciones. Una exploración rápida, muestra que en el mes de febrero se presenta los valores más altos para la mayoría de parámetros, exceptuando a: oxígeno disuelto, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos y fosfatos. Los metales presentan sus desviaciones estándares más marcadas respecto a las épocas de variación de caudal del río Rímac. No se observan regularidades en meses de menor variabilidad, este varía por parámetro, sin embargo en el mes de octubre se registra en 14 de 24 variables, los menores valores de desviación estándar.

**Cuadro 6: Matriz de medias mensuales de los 24 parámetros de calidad de agua**

	Caud	Temp	pH	Turb	CE	OD	SD	Alcal	DT	Cl	SO4	NO3	NO2	PO4	Cu	Al	Fe	Mn	Pb	Cd	Zn	As	CoTo	CoTe
Ene	40,6	19,2	7,7	47,2	487,71	8,70	337,86	95,6	211,4	14,3	138,6	2,98	0,20	0,20	0,040	1,707	2,176	0,118	0,024	0,002	0,372	0,029	178600	74326
Feb	56,0	20,2	7,8	301,9	440,00	8,84	307,96	91,0	189,1	12,8	116,5	2,78	0,13	0,14	0,065	7,207	7,595	0,324	0,081	0,005	0,611	0,126	247014	95332
Mar	71,9	20,2	7,9	391,7	401,96	8,94	278,04	81,6	164,6	12,8	97,5	2,54	0,08	0,09	0,077	10,89	11,37	0,342	0,079	0,003	0,641	0,088	208035	90325
Abr	47,6	20,1	7,9	100,4	426,39	8,51	284,46	91,3	176,0	11,9	114,6	2,41	0,10	0,18	0,038	3,644	4,471	0,173	0,056	0,002	0,343	0,074	174967	58096
May	26,3	18,5	8,0	12,5	595,00	8,55	379,64	120,4	254,8	21,8	146,7	3,38	0,21	0,23	0,030	0,408	0,434	0,111	0,015	0,003	0,468	0,024	160299	63802
Jun	23,1	17,2	7,9	11,1	652,68	8,64	468,32	120,5	284,2	24,8	160,9	3,64	0,30	0,28	0,027	0,531	0,744	0,089	0,020	0,002	0,323	0,023	172396	66132
Jul	23,5	16,6	7,8	11,1	624,14	9,00	436,21	121,1	273,4	18,8	164,6	3,83	0,23	0,32	0,022	0,499	0,580	0,074	0,013	0,002	0,273	0,022	109409	39528
Ago	21,7	15,7	7,9	13,0	605,14	8,76	432,36	113,3	260,1	19,3	161,8	3,58	0,28	0,38	0,025	0,546	0,757	0,064	0,015	0,002	0,280	0,019	146956	51147
Set	22,8	16,5	7,9	12,2	578,86	8,70	426,11	110,0	241,8	19,9	150,7	3,61	0,18	0,36	0,028	0,408	0,396	0,049	0,022	0,002	0,214	0,022	145296	47502
Oct	22,4	18,6	8,0	10,8	575,79	8,64	405,96	107,3	246,4	17,8	150,9	3,38	0,24	0,34	0,023	0,413	0,398	0,045	0,012	0,001	0,171	0,020	173663	49568
Nov	26,6	17,8	8,0	53,0	574,04	8,51	395,36	105,6	229,0	16,9	151,1	3,41	0,20	0,34	0,018	0,520	0,723	0,053	0,012	0,001	0,159	0,020	154525	57642
Dic	32,2	18,4	8,0	28,6	539,68	8,70	373,00	104,0	237,7	15,3	149,5	3,02	0,19	0,26	0,026	0,801	0,794	0,074	0,016	0,001	0,245	0,026	191987	85461

Las unidades de las variables o parámetros ambientales están indicadas en el Cuadro 1.

Fuente: Elaboración propia

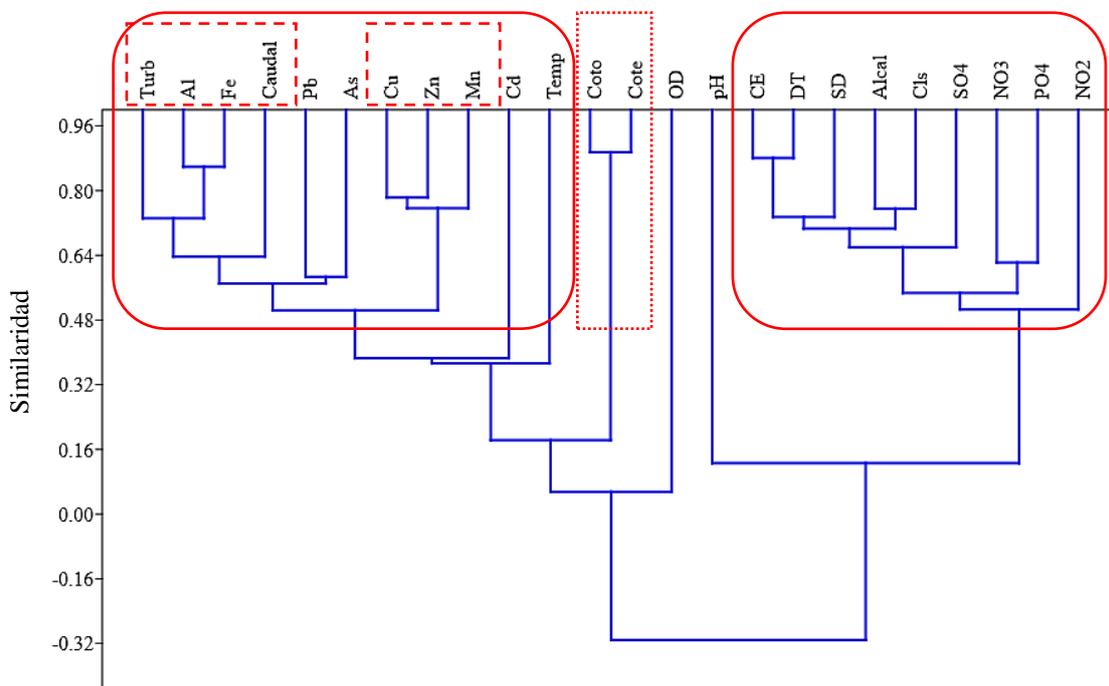
**Cuadro 7: Desviación estándar mensual de los 24 parametros de calidad de agua**

	Caud	Temp	pH	Turb	CE	OD	SD	Alcal	DT	ClS	SO4	NO3	NO2	PO4	Cu	Al	Fe	Mn	Pb	Cd	Zn	As	CoTo	CoTe
Ene	6,7	1,4	0,3	43,1	55,56	0,24	63,48	10,8	24,4	3,0	24,2	0,45	0,06	0,07	0,011	1,504	2,179	0,080	0,013	0,001	0,121	0,008	141850	62424
Feb	14,2	1,6	0,4	403,2	74,91	0,34	74,92	15,5	33,1	2,9	20,7	0,69	0,06	0,11	0,060	13,60	12,78	0,509	0,133	0,005	0,489	0,194	166146	84549
Mar	12,6	1,7	0,2	329,1	48,38	0,65	58,68	6,2	26,6	4,8	11,7	0,78	0,04	0,02	0,055	10,30	10,05	0,254	0,061	0,001	0,495	0,052	174112	79664
Abr	11,8	1,4	0,2	84,6	45,41	0,33	51,86	17,2	22,8	2,6	15,5	0,59	0,05	0,09	0,017	3,125	3,803	0,082	0,060	0,001	0,113	0,076	127260	45890
May	5,8	1,3	0,4	4,0	57,98	0,31	73,59	20,5	22,0	7,7	26,4	1,23	0,14	0,08	0,014	0,103	0,148	0,116	0,006	0,001	0,456	0,004	136196	49084
Jun	3,7	1,6	0,2	4,7	48,68	0,22	41,16	7,6	13,6	4,6	17,1	1,10	0,16	0,07	0,012	0,433	1,037	0,059	0,010	0,001	0,150	0,005	141130	58423
Jul	5,9	1,3	0,3	5,6	58,92	0,69	65,03	17,6	32,7	3,6	12,3	1,31	0,08	0,11	0,016	0,280	0,447	0,035	0,009	0,001	0,071	0,007	42475	18880
Ago	3,2	1,0	0,2	8,1	50,95	0,23	54,36	13,6	14,8	7,6	24,7	1,39	0,16	0,14	0,021	0,368	0,499	0,028	0,007	0,001	0,138	0,006	94803	32186
Set	1,4	1,3	0,1	4,8	34,68	0,44	47,57	14,6	17,7	7,7	15,1	0,80	0,09	0,13	0,032	0,098	0,157	0,025	0,008	0,000	0,127	0,004	84436	26686
Oct	3,0	2,1	0,3	2,7	27,83	0,17	40,64	4,7	17,5	3,5	31,3	0,85	0,12	0,07	0,021	0,135	0,163	0,021	0,004	0,000	0,092	0,004	138390	29522
Nov	5,2	1,8	0,2	66,4	62,83	0,48	44,97	5,0	33,9	3,2	33,9	0,83	0,11	0,11	0,007	0,422	0,461	0,021	0,006	0,001	0,053	0,007	97687	36100
Dic	4,4	1,4	0,2	16,8	32,17	0,19	38,88	14,4	28,7	4,0	25,8	0,75	0,07	0,09	0,011	0,768	0,484	0,039	0,008	0,000	0,123	0,014	133521	66666

Fuente: Elaboración propia

El primer AC fue llevado a cabo en el software PAST, sobre las variables o parámetros ambientales, este análisis fue del tipo jerárquico clásico basado en el método UPGMA como algoritmo de agrupamiento y la correlación de Spearman como índice de proximidad o similitud. El dendrograma de agrupamiento de los 24 parámetros de calidad de agua (Figura 5), en este de muestra y confirma los hallazgos de la matriz de proximidad o correlaciones:

- El clúster de variables biológicas, coliformes totales y termotolerables (Coto y Cote), es el de mayor similitud o correlación, los coliformes totales comprenden a los coliformes termotolerables, que son un grupo particular de estos microorganismos. El pH y el oxígeno disuelto, representan las variables que no han podido ser agrupados en un determinado clúster, por ser las menos correlacionadas con las otras variables.
- El clúster de más afinidad química y correlación estadística entre variables, es el conformado por parámetros que representan formas iónicas (derecha).



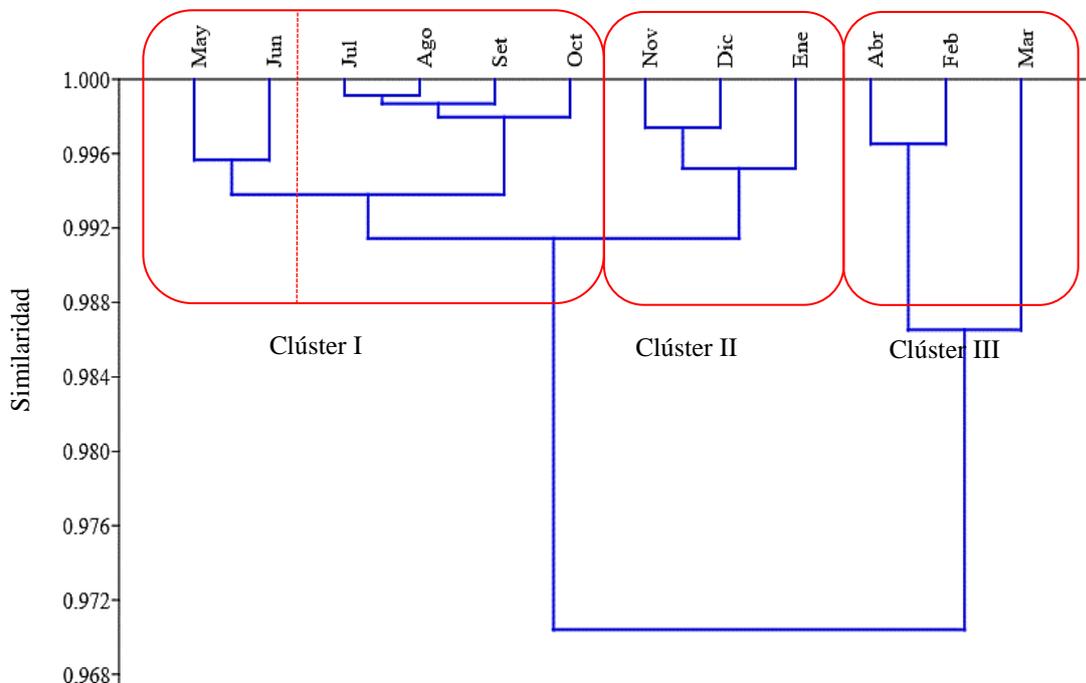
**Figura 5: Dendrograma exploratorio de las 24 variables de calidad de agua.**

Fuente: Elaboración propia

- El clúster antagónico (izquierda), está conformado por metales y medidas de parámetros físicos, con dos subgrupos conformados: el primero por aluminio, hierro, turbidez y caudal y el segundo por cobre, zinc y manganeso.

Los siguientes dos dendrogramas fueron obtenidos de los AC sobre la matriz de medias mensuales, que muestran la información contenida en valores centrales, formando agrupamientos o clústeres con una fuerte carga de variabilidad reducida y concentrada en las medias mensuales del total observaciones de siete años de monitoreo continuo de cada variable ambiental de calidad de agua. Considerando a las correlaciones de Spearman como medida de similitud se elaboraron los dendrogramas de medias mensuales (Figura 6 y Figura 7).

El AC jerárquico originó un segundo dendrograma (coeficiente  $\rho = 0,7534$ ), basado en el método UPGMA como algoritmo de agrupamiento y las correlaciones de Spearman como medida de similaridad, este muestra tres clústeres o agrupamientos:



**Figura 6: Dendrograma – Medias mensuales de calidad de agua**  
 Similitud:  $\rho$  de Spearman.

Fuente: Elaboración propia

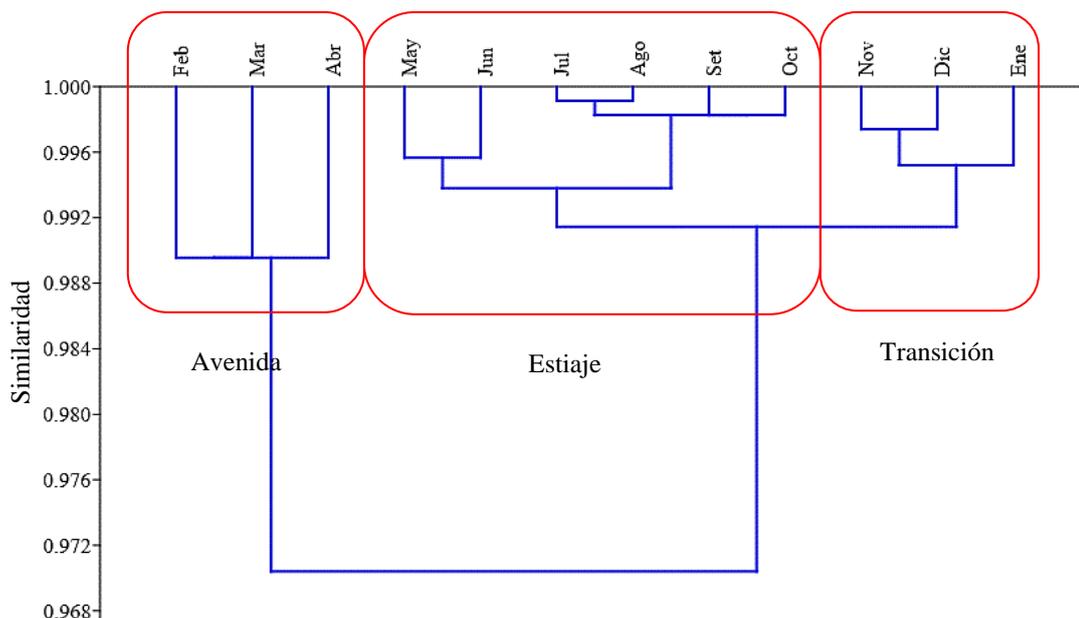
- El clúster I, un agrupamiento de meses relativamente similares, claramente definido, conformado por: julio, agosto, setiembre y octubre, desde la perspectiva clásica en este tipo estudios, corresponden a la estación de invierno los tres primeros meses y el último al primer mes de la primavera, al que se pueden agregar mayo y junio, correspondientes al otoño. Este primer clúster representa en términos de flujo o caudal de agua, en la cuenca baja del río Rímac, a la época de estiaje o de caudales bajos o mínimos.
  
- El Clúster II está conformado por los meses de noviembre, diciembre correspondiente a la primavera y enero al primer mes del verano, desde la perspectiva de precipitaciones en la cuenca alta, corresponden a los meses de inicio de las lluvias y el aumento paulatino del caudal del río Rímac, en la cuenca baja.
  
- Clúster III, mucho más heterogéneo conformado por febrero, marzo y abril, dos meses de verano y uno de otoño. El mes de marzo es el más variable y muestra poca similitud frente a los otros meses.

El grupo formado por: julio, agosto y setiembre, inclusive octubre forman el clúster mejor agrupado y con índices de similitud más altos y conforman el patrón más regular y homogéneo en la variación temporal de la calidad de agua de los años evaluados. Los meses de julio y agosto son los meses más homogéneos o similares. Mayo y junio forman un subgrupo en el primer clúster, no muy homogéneos con los otros meses del grupo, pero similares entre ambos y con una medida de similaridad parecida al del clúster II, esto puede interpretarse como un subgrupo o patrón intermedio entre ambos clústeres.

El clúster III es el más heterogéneo de todos, formado por los meses que no han logrado ser agrupados en los otros clústeres más homogéneos, esto puede explicarse en términos de variabilidad o valores de desviación estándar, que se muestra en el Cuadro 7, nótese que existen parámetros de calidad de agua que tienen los valores más altos de desviación estándar, es decir con la variabilidad más alta en febrero y marzo, como el caudal con valores de 14,2 y 12,6, la conductividad eléctrica con 74,91 y 48,1 y la turbidez con 403,2 y 329,1, por mencionar a algunos.

El tercer dendrograma, Figura 7, originado por el AC con el mismo método de análisis, UPGMA, el mismo algoritmo de agrupamiento y la misma medida de similitud, forma grupos o clústeres de meses parecidos al análisis anterior, pero con la diferencia de que se presenta mayor homogeneidad en los clústeres, éste procedimiento a diferencia del anterior utiliza la opción de restricción de contigüidad, es decir que fuerza y prioriza el agrupamiento de meses u observaciones contiguas, permitiendo de esta forma tener mayor claridad sobre patrones temporales de variación, aunque el coeficiente de correlación disminuye a un  $\rho = 0,7505$ .

El clúster I se muestra como más homogéneo y mejor agrupado, el subgrupo julio, agosto, setiembre y octubre esta mejor clasificado que el subgrupo de mayo junio, este clúster se presenta como el patrón de calidad de agua mejor clasificado, el clúster II se presenta ahora como un patrón transicional o intermedio, entre el cluster I y el cluster III, este último con mayor variabilidad de calidad de agua como se había indicado.



**Figura 7: Dendrograma - Medias mensuales con restricción de contigüidad**

Similitud:  $\rho$  de Spearman.

Fuente: Elaboración propia

En este último dendrograma, los clústeres de calidad de agua se ajustan mejor a criterios de épocas de precipitación en la cabecera de cuenca y/o variación de caudales del río en la cuenca baja, los cuales en la propia literatura muestran una variabilidad debido a que algunos meses de los patrones clásicos muestran comportamientos muy variable de un año

a otro. Así, la ANA (2010) en el estudio de hidrológico de la cuenca del Rímac, indica que “los meses de junio a noviembre corresponden a la época de estiaje”, en ese mismo estudio se señala que “los meses de abril a diciembre corresponden a la época de estiaje y de enero a marzo a la época de avenidas”, una aparente incongruencia que puede ser explicada por la estocasticidad ambiental. SEDAPAL (2014) en su informe anual indica que el periodo de avenidas comprende los meses de diciembre a abril, de lo que se infiere que los meses de estiaje corresponden de mayo a noviembre.

En razón a lo señalado, al clúster I se le denominó época de “**estiaje**” o mengua del caudal en la cuenca baja que corresponde a la época seca o de ausencia de lluvias en la cuenca alta; al clúster II, época de “**transición**”, que se caracteriza por el incremento de caudal del río como una consecuencia del inicio de lluvias en la cabecera de cuenca y, al clúster III como época de “**avenida**” que corresponde a los meses con mayor flujo o caudal del río, con una relación causal con las precipitaciones altas de la cuenca media y alta.

Desde esta perspectiva de medias mensuales en el AC, el comportamiento o variación temporal de la calidad del agua estaría estrechamente ligado a la variación del caudal en la cuenca baja del río Rímac, que su vez depende de las precipitaciones en la cabecera de cuenca. No obstante, se debe tener en consideración que la cuenca del río Rímac tiene un régimen regulado de caudales y pueden tener una influencia en el caudal y por ende en la variación temporal de la calidad del agua.

#### **4.2.2. ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD)**

El análisis discriminante es una técnica esencialmente clasificatoria, a diferencia de AC que es estrictamente exploratoria y en la que no se conocen los grupos *a priori*, en el AD se conocen los grupos de pertenencia y se debe identificar cuestiones específicas de cada uno en la asignación de observaciones a cada grupo o época. En esta finalidad clasificatoria va implícita, pues, una finalidad descriptiva (identificar las variables que más y mejor discriminan y caracterizan a los grupos), a estas variables se les denomina variables canónicas o discriminantes (Jaume y Catalá, 2011).

Los agrupamientos o épocas que fueron establecidos en el AC, fueron validados en el AD mediante el nivel de significancia de las funciones discriminantes, los porcentajes de clasificación correcta de las observaciones o muestras mensuales de la matriz de datos fueron evaluadas en función de los agrupamientos mensuales. Si bien es cierto que la técnica requiere del cumplimiento de supuestos como la linealidad y normalidad de los datos, estos no fueron transformados ni estandarizados.

La matriz de datos fue sometidos al AD en los modos: estándar *standard* y escalonado o paso a paso *stepwise (forward y backward;* hacia adelante y hacia atrás). En los modelos *forward stepwise* y *backward stepwise* una variable que minimiza el valor del estadístico Lambda de Wilks era ingresada o retirada en cada paso. La variable época (grupos o clusteres) fue la variable dependiente o explicada mientras que las 24 variables seleccionadas fueron las variables independientes o explicativas.

El valor Lambda de Wilks, que teóricamente varía entre cero y uno, indica el poder discriminatorio de la función o del modelo hallado. Entre más cercano este a cero mayores diferencias o separación habrá entre los grupos y entre más se próximo este a uno, los grupos serán muy parecidos.

En el Cuadro 8, se muestran los estadísticos Lambda de Wilks, que variaron entre 0,122 y 0,226 denotando que existe diferencia entre los grupos y un poder discriminatorio aceptable de los tres modelos. Se muestra también que los valores del chi-cuadrado ( $X_i^2$ ) para los tres modelos: en el *standard* el chi-cuadrado tiene el valor más alto 146,071 el que asociado a su valor- $p < 0,0001$ , permite rechazar la hipótesis nula de que los grupos comparados tiene promedios iguales o los vectores medios de las tres clases son iguales y se acepta la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tres vectores medios de cada época es diferente. Lo que permitió inferir a partir de los valores- $p < 0,0001$  de los otros dos modelos del modo *stepwise* que: de manera confiable al menos dos de las tres épocas son diferentes, confirmando que la variación temporal de la calidad del agua al menos durante dos de las épocas determinadas es significativa, esta vez sobre la totalidad de variables y observaciones (matriz de datos) a diferencia del AC que fue llevado a cabo sobre la matriz de medias mensuales.

El valor de la correlación canónica R de las primeras funciones discriminantes en los tres modelos es alta, próxima a uno. En el modelo *Standard*, el valor R = 0,915 indica que las variables discriminantes permiten la diferenciación entre grupos o épocas, o que cada uno de los grupos está correctamente asociado; en el modo *stepwise* ambos valores de R son altos, 0,901 en el modelo *backward stepwise* y 0,877 en el modelo *forward stepwise*, no ocurriendo lo mismo con las segundas funciones de los tres modelos, de lo que se infiere: los modelos hallados con sus primeras funciones permiten una correcta diferenciación entre grupos o que los patrones de calidad de agua pueden ser diferenciados uno de otro.

**Cuadro 8: Resumen de estadísticos del AD.**

<b>Función Canónica o Discriminante</b>	<b>R Correlación Canónica</b>	<b>Valor propio</b>	<b>Discriminación %</b>	<b>Lambda de Willk</b>	<b>Xi<sup>2</sup></b>	<b>GL</b>	<b>Valor-p</b>
<i>Standard</i>							
1	0,915	5,173	94,084	0,122	146,071	48	0,000000
2	0,495	0,325	5,916		19,571	23	
<i>Forward stepwise</i>							
1	0,877	3,317	99,194	0,226	119,141	48	0,000000
2	0,162	0,027	0,806		2,129	23	
<i>Backward stepwise</i>							
1	0,901	4,337	97,511	0,169	138,810	48	0,000000
2	0,316	0,111	2,489		8,189	23	

Fuente: Elaboración propia

Los valores propios y el porcentaje de discriminación indican la participación de cada modelo o función en la diferenciación de las épocas de la calidad de agua. Para las primeras funciones canónicas o discriminantes: en el modo *standard* se encontró el valor propio más alto 5,173 con un poder discriminatorio del 94 por ciento, el modelo *forward stepwise* con un valor propio de 3,317 muestra la mayor fuerza discriminante 99,19 por ciento y el modelo *backward stepwise* con un valor propio 4,33 y un porcentaje de discriminación de 97,51. Los tres modelos encontrados en sus primeras funciones permiten una diferenciación o separación de patrones estacionales de calidad de agua.

La importancia de la discriminación de la variable época con cada una de las variables ambientales, por cada modo y modelo se muestran en el Cuadro 9, basados en un análisis unidimensional de medias de clase.

**Cuadro 9: Matriz discriminatoria con estadísticos Lambda de Wilks**

Modo Modelo	Standard Standard		Stepwise			
			Forward		Backward	
Variable	F1	Valor-p	F1	Valor-p	F1	Valor-p
Caudal	<b>0,298</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,298</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,298</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Temp	0,651	< 0,0001	0,651	< 0,0001		
pH	0,994	0,785				
Turb	0,683	< 0,0001				
CE	<b>0,370</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,370</b>	<b>&lt; 0,0001</b>		
OD	0,986	0,574			0,986	0,574
SD	0,513	< 0,0001				
Alcal	0,596	< 0,0001				
DT	<b>0,386</b>	<b>&lt; 0,0001</b>			<b>0,386</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
CLs	0,696	< 0,0001				
SO4	0,576	< 0,0001				
NO3	0,827	0,000				
NO2	0,766	< 0,0001				
PO4	0,652	< 0,0001				
Cu	0,789	< 0,0001				
Al	0,745	< 0,0001				
Fe	0,707	< 0,0001			0,707	< 0,0001
Mn	0,779	< 0,0001				
Pb	0,766	< 0,0001				
Cd	0,869	0,003				
Zn	0,848	0,001				
As	0,776	< 0,0001			0,776	< 0,0001
Coto	0,963	0,217			0,963	0,217
Cote	0,946	0,107			0,946	0,107

Fuente: Elaboración propia

Las variables con valores de Lambda de Wilks más cercanos a cero son las más importantes o la que tienen mayor poder en la discriminación de grupos o épocas.

Así, en el modelo *standard* las variables caudal, conductividad eléctrica y dureza total, con valores del estadístico Lambda de Wilks: 0,298, 0,370 y 0,386 respectivamente, son las más importantes o con mayor participación en el modelo discriminante a un nivel significativo ( $\alpha=0,05$ ) con un valor-  $p<0,0001$ ); en el modelo *stepwise forward* el caudal y la conductividad eléctrica y en el modelo *backward stepwise* el caudal y la dureza total son las variables de discriminación más importantes, en los dos últimos casos los valores Lambda son los mismos del modo *standard*.

El valor  $-p$ , para cada uno de los valores indicados está por debajo del 0,0001, lo que permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de vectores medios y se acepta la hipótesis alternativa, **al menos uno de los vectores medios o una de las épocas es diferente a otra** o lo que es lo mismo que al menos una de las tres épocas o patrones de calidad de agua se diferencia de una de las otras épocas.

Según los hallazgos del AC, a lo referido en los párrafos anteriores y los gráficos de apoyo del Anexo 4. El caudal, la conductividad eléctrica y dureza total son las variables que muestran mejor separación o diferenciación entre la época de avenida y las otras dos épocas. De acuerdo a los tres modelos del AD se prueba estadísticamente que en la época de **avenida**, durante los meses más lluviosos (febrero, marzo y abril) en la cuenca alta y los de mayor caudal en la cuenca baja, la conductividad eléctrica y la dureza total muestran sus valores más bajos en esta época y claramente separado de los otras épocas, por un proceso de disolución de la concentración de sales como el NaCl y KCl por incremento del volumen de agua en el río, que normalmente originan iones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  y en el caso de la dureza total de la disminución de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , en los tres casos fuente de variación es de un origen natural y dependiente de la dinámica del ciclo hidrológico de la cuenca del río Rímac.

Existe una función discriminante (FD) o canónica para cada uno de los grupos o épocas. En el Cuadro 10 se muestra las funciones de clasificación por época, por cada modo de AD. En el modelo *standard* la FD es explicada por las 24 variables de la matriz de datos, en el modelo *forward stepwise* por solo tres variables (caudal, temperatura y conductividad eléctrica) y en el modelo *backward stepwise* por cinco variables (Caudal, oxígeno disuelto, dureza total, hierro y arsénico).

Por ejemplo, la función canónica o discriminante del modelo *standard* usado para el clúster o agrupamiento obtenido “avenida”, la variable dependiente o explicada “Época” y en función de los parámetros o variables ambientales, variables independientes del AD, es:

$$\text{FD}_{\text{standard}} = -1411,2173 - 0,23*\text{Caudal} + 19,32*\text{Temp} + 203,34*\text{pH} - 0,01*\text{Turb} + 0,11*\text{CE} + 64,24*\text{OD} + 0,50*\text{SD} + 0,79*\text{Alcal} + 0,50*\text{DT} - 1,79*\text{Cls} - 0,66*\text{SO4} - 26,44*\text{NO3} - 65,77*\text{NO2} + 61,13*\text{PO4} + 1458,94*\text{Cu} - 2,94*\text{Al} + 4,49*\text{Fe} - 64,01*\text{Mn} + 157,29*\text{Pb} + 14085,92*\text{Cd} - 88,46*\text{Zn} - 490,74*\text{As} - 0,00*\text{Coto} + 0,00*\text{Cote}$$

En este modelo la función discriminante o canónica es explicada por 22 variables, originadas de manera natural, o dependientes de factores naturales como el flujo o caudal del río Rímac, los metales y metaloides tienen una contribución antrópica por las actividades mineras en la cuenca alta, pero requieren de la escorrentía superficial como medio para su incorporación al agua. En el modelo se observa además que la contribución de parámetros de origen antropogénico (coliformes) no tiene contribución.

En el modelo *forward stepwise* la función discriminante para la época de “avenida”, es:

$$FD_{forward\ stepwise} = -126,25617 - 0,81 * Caudal + 6,41 * Temp + 0,17 * CE$$

Este modelo es definido por la participación de dos variables de origen natural y la tercera dependiente del caudal, la conductividad eléctrica

En el modelo *backward stepwise* la función discriminante para la época de “avenida”, es:

$$FD_{backward\ stepwise} = -306,20193 + 0,14 * Caudal + 60,12 * OD + 0,36 * DT + 1,04 * Fe - 47,46 * As$$

En este tercer modelo la función discriminante está determinada por la presencia de una variable dependiente del ciclo hidrológico, el caudal; las otras son dependientes del incremento del nivel de sedimentos que se origina por arrastre u erosión superficial de los suelos por las escorrentías. No obstante, es importante señalar que la contribución antropogénica por remoción de material superficial expone fuentes naturales de metales y material carbonatado de calcio y magnesio (Espíritu, 2010).

En el AD realizado sobre de la matriz de datos, la variabilidad reducida a las medias mensuales, retorna a sus valores de dispersión de datos de calidad de agua originales. Desde un enfoque ecológico las épocas o los patrones obtenidos a partir de las medias mensuales no son estables e invariables, sino más bien están caracterizados por su variabilidad en el tiempo, dentro y entre de cada grupo, clúster, época o patrón, la mayor parte de esa variabilidad es explicada por la variación del caudal del río Rímac, pero parte de la variación que es gobernada por la incertidumbre ambiental.

**Cuadro 10: Funciones de clasificación por modelo del AD**

Variable / Época	Modelo <i>Standard</i>			Modelo <i>forward stepwise</i>			Modelo <i>backward stepwise</i>		
	Estiaje	Transición	Avenida	Estiaje	Transición	Avenida	Estiaje	Transición	Avenida
Intercepción	-1425,0615	-1400,8925	-1411,2173	-119,05971	-118,95515	-126,25617	-334,37321	-313,34302	-306,20193
Caudal	-0,42	-0,23	0,23	0,53	0,58	0,81	-0,46	-0,31	0,14
Temp	18,69	18,83	19,32	5,66	6,06	6,45			
pH	203,70	203,59	203,34						
Turb	-0,01	-0,01	-0,01						
CE	0,09	0,10	0,11	0,21	0,19	0,17			
OD	68,09	65,87	64,24				64,35	62,40	60,12
SD	0,50	0,49	0,50						
Alcal	0,79	0,78	0,79						
DT	0,57	0,54	0,50				0,44	0,40	0,36
Cls	-1,68	-1,81	-1,79						
SO4	-0,66	-0,64	-0,66						
NO3	-26,43	-26,16	-26,44						
NO2	-50,84	-53,49	-65,77						
PO4	73,63	69,44	61,13						
Cu	1455,33	1448,90	1458,94						
Al	-2,70	-2,83	-2,94						
Fe	5,56	5,24	4,49				1,95	1,64	1,04
Mn	-68,60	-53,37	-64,01						
Pb	128,36	98,78	157,29						
Cd	14648,93	13946,81	14085,92						
Zn	-83,80	-89,37	-88,46						
As	-554,18	-520,09	-490,74				-102,55	-90,25	-47,46
Coto	0,000013	0,00	0,00						
Cote	0,000026	0,00	0,00						

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de confusión o clasificación, Cuadro 11, muestra la mejor aproximación de que parte de las observaciones, que permitieron separar o discriminar las épocas de variación, están correctamente clasificadas, o para el periodo de evaluación, muestran un patrón de regularidad en la calidad del agua.

**Cuadro 11: Matriz de confusión por época y modelo de las observaciones de estimación**

Época	Estiaje	Transición	Avenida	Total	Porcentaje Correcto
<i>Modelo Standard</i>					
Estiaje	40	3	0	43	93,02%
Transición	6	13	1	20	65,00%
Avenida	0	0	21	21	100,00%
Total	46	16	22	84	88,10%
<i>Modelo Forward stepwise</i>					
Estiaje	39	4	0	43	90,70%
Transición	9	9	2	20	45,00%
Avenida	0	3	18	21	85,71%
Total	48	16	20	84	78,57%
<i>Modelo Backward stepwise</i>					
Estiaje	41	2	0	43	95,35%
Transición	9	9	2	20	45,00%
Avenida	0	1	20	21	95,35%
Total	50	12	22	84	83,33%

Fuente: Elaboración propia.

En el modelo *standard* 88,1 por ciento, es decir 74 de 84 observaciones fueron clasificadas correctamente, al igual que, en el modelo *forward stepwise* el 78,57 por ciento, 66 observaciones y en el modelo *backward stepwise* el 83,33 por ciento, 70 observaciones.

Las épocas que mejor han sido clasificadas son: **estiaje** con 93,02; 90,70 y 95,35 por ciento por cada modelo y la época de **avenida** con 100, 85,71 y 95,35 por ciento por modelo de AD. La época con menor porcentaje de clasificación correcta o la que no muestra un patrón regular es la **transición**, intermedia entre las dos anteriores, con menor porcentaje de clasificación correcta (65,0, 45,0 y 45,0 por ciento), esto se debería a las demoras o adelantos en los meses de las precipitaciones en las cabeceras de cuenca, que a su vez incide en la variación del caudal del río y esta finalmente en la calidad del agua.

Los centroides, centros de gravedad (vectores medios) o medias de las funciones discriminantes son los estadísticos básicos que resumen la información sobre los grupos o épocas. El valor de la primera función representa la posición del centroide sobre el eje de las ordenadas y el de la segunda función sobre las abscisas. En el cuadro 12, se presentan los centroides de grupo por modo y modelo de AD.

**Cuadro 12: Centroides de grupo por modelo para las dos FD**

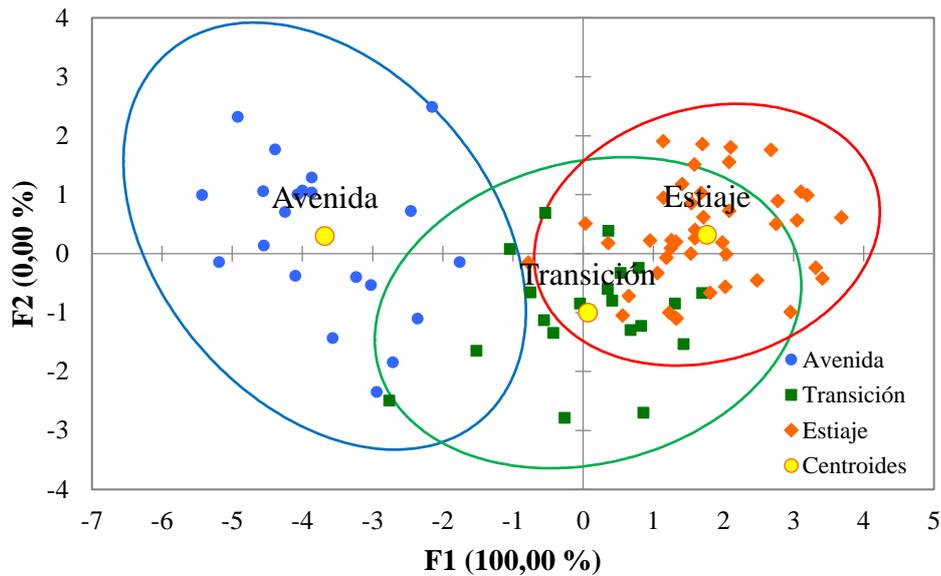
<b>Modo</b>	<i>Standard</i>		<i>Stepwise</i>			
<b>Modelo</b>			<i>Forward</i>		<i>Backward</i>	
<b>Grupo</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
Estiaje	1,766	0,321	-1,422	0,091	1,598	0,191
Transición	0,070	-1,002	-0,032	-0,288	0,124	-0,584
Avenida	-3,683	0,297	2,942	0,088	-3,389	0,164

Fuente: Elaboración propia.

La representación gráfica de los centroides del AD, se realiza sobre los diagramas de dispersión de las observaciones, en este se pueden ver la disposición de los grupos y la ubicación de sus respectivos centroides.

En el modelo *standard* (Figura 8) con un 88 por ciento de clasificación correcta de las observaciones, los centroides son explicados sobre la primera función (F<sub>1</sub>) o el eje de las ordenadas, y no se observa solapamiento de elipsoides entre las épocas de avenida y estiaje, lo que indica que en la variación temporal de la calidad de agua pasa por lo menos por dos épocas diferentes, correspondiendo a la tercera como una de tránsito o intermedia.

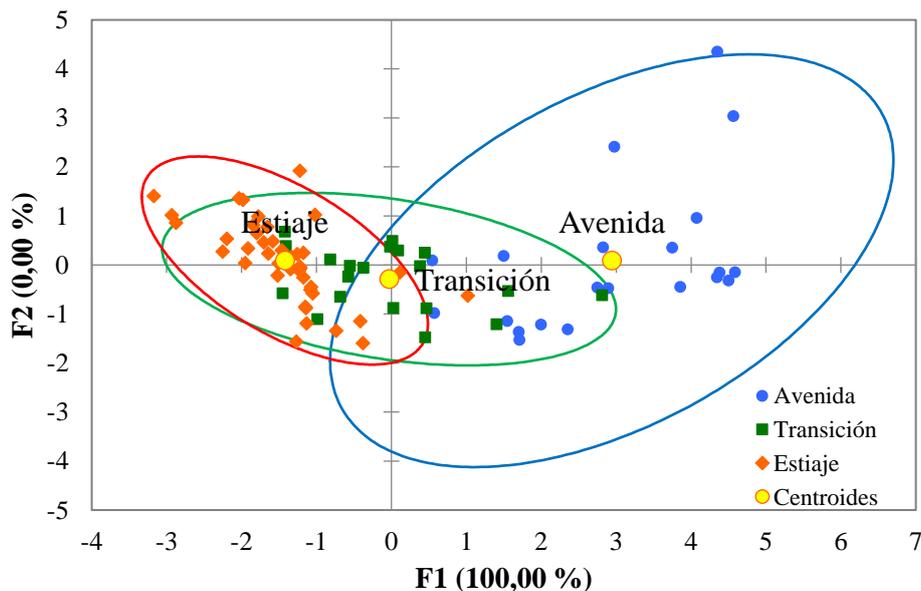
La disposición de las observaciones en estiaje (93,02 por ciento correctamente clasificado) muestra observaciones que deberían pertenecer a la época de transición (6,98 por ciento). La época de transición (65 por ciento de observaciones correctamente clasificadas), tiene 30 por ciento de observaciones de la época de estiaje y cinco por ciento de la época de avenida. La época de avenida tiene el 100 por ciento de sus observaciones clasificadas por el modelo. En este modelo se presenta la mejor diferenciación entre épocas, no obstante, el porcentaje de observaciones que no han sido clasificadas correctamente indican el porcentaje del modelo de observaciones irregulares o la parte no regular de los patrones de calidad de agua (11,9 por ciento).



**Figura 8: Dispersión de observaciones y centroides. Modelo *standard***

Fuente: Elaboración propia.

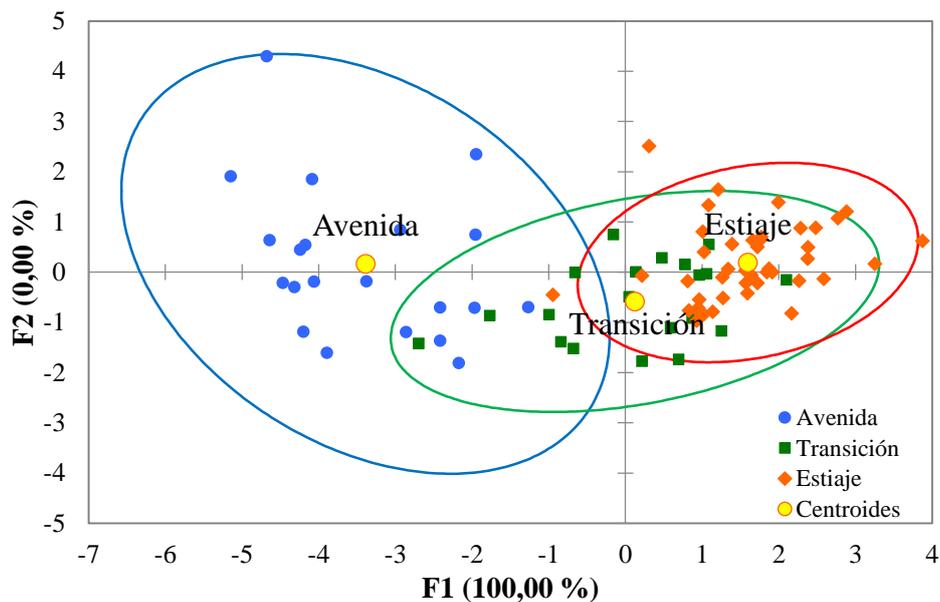
En el modelo *forward stepwise* (Figura 9) con un 78,5 por ciento de observaciones correctamente clasificados, regularidad de los patrones de calidad de agua. Se observa un solapamiento entre las épocas de avenida y estiaje, compartiendo ambas algunas observaciones de ambos grupos con la época de transición, la que no es fácil de discriminar según el modelo, y tiene el menor porcentaje de observaciones correctamente clasificados, 45 por ciento. El 21,43 por ciento del total de las observaciones corresponden a la parte irregular o de fluctuación del modelo.



**Figura 9: Dispersión de observaciones y centroides. Modelo *forward stepwise***

Fuente: Elaboración propia.

En el modelo *backward stepwise* (Figura 10) con un 88,33 por ciento de observaciones correctamente clasificados o el porcentaje regular de los patrones determinados, se observa un solapamiento menor entre los grupos o épocas de avenida y estiaje, según el modelo no tienen observaciones en común, sin embargo la época de transición contiene el mismo porcentaje de observaciones regulares e irregulares del modelo anterior, 16,67 por ciento de error u observaciones incorrectamente clasificadas. Este modelo hace una mejor discriminación entre épocas que el modelo *forward stepwise*.



**Figura 10: Dispersión de observaciones y centroides. Modelo *backward stepwise***

Fuente: Elaboración propia.

En términos prácticos de gestión del agua, el AD nos da una medida del porcentaje de regularidad e irregularidad de los patrones de calidad de agua que explicaría cada modelo, es decir, los porcentajes de acierto y desacierto, que se deben asumir al considerar los patrones o agrupamiento del análisis clúster en la duración de los meses en cada época, cuando se tome la decisión de elegir los meses ideales, del patrón regular de calidad de agua que mejor representa a una época, para las evaluaciones o las programaciones de monitoreo de calidad de agua, mientras que la parte irregular de los patrones, los meses contiguos entre épocas no serían los más adecuados por sus fluctuaciones, que serían la manifestación de la prolongación o acortamiento de las épocas de variación hidrológica.

### 4.2.3. ANÁLISIS DE VARIANZA

La contrastación de las clasificaciones o agrupamientos del AC obtenidas a partir de la matriz de medias mensuales, fue llevada a cabo sobre la matriz de datos u observaciones mensuales de calidad de agua mediante dos pruebas no paramétricas: Un análisis de varianza multivariante no paramétrico (NPMANOVA) y una prueba univariante el Test de Kruskal-Wallis, en ambos casos con una confiabilidad del 95 por ciento ( $\alpha = 0,05$ ).

El NPMANOVA fue llevado a cabo en el software PAST, los resultados se muestran en el Cuadro 13, en este se observa que el valor- $p$  es menor a 0,05 y 0,0001, lo que indica que existe diferencias estadísticamente significativas entre grupos o épocas, o al menos en dos de los grupos. Es decir hay suficiente evidencia que la clasificación de épocas es correcta, o en por lo menos dos de las épocas, lo que en términos de calidad agua significaría que por lo menos hay dos patrones o niveles de fluctuación temporal de la calidad del agua en el sector de la bocatoma de La Atarjea, en la cuenca baja del río Rímac.

**Cuadro 13: Análisis de varianza multivariante no paramétrico**

Permutaciones (N):	Suma de cuadrados Total	Sumas de cuadrados dentro de grupo	F	Valor-p
9999	0,04765	0,01487	89,28	0,0001

Fuente: Elaboración propia.

La contrastación de significancia por pares del Cuadro 14, muestra que se encontró evidencia significativa de la variación temporal en las tres épocas definidas los valores- $p$  según de la secuencia de significancia de Bonferroni.

**Cuadro 14: Contrastación de significancia por pares de épocas**

Época	Valores F			Valores-p (Test de Bonferroni)		
	Estiaje	Transición	Avenida	Estiaje	Transición	Avenida
Estiaje		15,77	162,8		<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>
Transición	15,77		42,38	<b>0,0001</b>		<b>0,0001</b>
Avenida	162,8	42,38		<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las pruebas univariadas del Cuadro 15, muestran el valor del estadístico K de la prueba de Kruskal Wallis y el valor-*p* de la significancia estadística de los agrupamientos o épocas de variación de calidad de agua. Veinte de 24 variables evaluadas con un p-valor menor a 0,0001, mostraron que al menos dos de las tres épocas son diferentes respecto a la calidad del agua. Solo en cuatro variables ambientales: pH, oxígeno disuelto, coliformes tolerables y coliformes termotolerables no se pudo evidenciar diferencias significativas de la calidad de agua en las tres épocas.

**Cuadro 15: Resultados de la prueba Kruskal Wallis de significancia univariada**

Variable	K	Valor-p
Caudal	55,967	< 0,0001
Temp	29,276	< 0,0001
pH	0,418	0,805
Turb	43,928	< 0,0001
CE	50,535	< 0,0001
OD	0,412	0,815
SD	41,979	< 0,0001
Alcal	32,549	< 0,0001
DT	47,584	< 0,0001
Cls	32,184	< 0,0001
SO4	36,074	< 0,0001
NO3	15,652	< 0,0001
NO2	23,328	< 0,0001
PO4	32,628	< 0,0001
Cu	20,438	< 0,0001
Al	33,423	< 0,0001
Fe	37,728	< 0,0001
Mn	27,720	< 0,0001
Pb	27,233	< 0,0001
Cd	8,511	0,019
Zn	17,780	< 0,0001
As	17,256	< 0,0001
Coto	2,476	0,283
Cote	1,766	0,417

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, para complementar las contrastaciones de las pruebas de Kruskal Wallis, se llevó a cabo la prueba de comparaciones múltiples por pares, también no paramétrica, mediante el procedimiento Steel-Dwass-Critchlow-Fligner, este muestra más detalles de contrastación entre parámetros o variables por cada una de las épocas determinadas, como se muestra en el Cuadro 16, véase también los gráficos de estadísticos básicos del Anexo 4, que muestra la variación temporal de cada parámetro en cada época.

- En 9 de los 24 parámetros de calidad de agua: caudal, temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, cloruros y hierro, hay evidencia estadísticamente significativa de que hay una variación temporal de la calidad de agua en las tres épocas.
- En 10 de los 24 parámetros de calidad de agua: sulfatos, nitratos, nitritos, fosfatos, cobre, aluminio, manganeso, plomo, zinc y arsénico, solo se encontraron diferencias significativas entre una y las otras dos épocas, es decir que en dos de las tres épocas la calidad del agua mantenía su calidad. Los sulfatos, por ejemplo, no presentaron diferencias significativas entre la época de estiaje y transición, por lo que se puede interpretar que su variación temporal se evidencia en solo dos épocas, estiaje y avenida. En una sola variable, cadmio, se evidencia la diferencia significativa entre la época transición y avenida.
- En los parámetros: pH, oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes termotolerables no se pudo evidenciar diferencias significativas entre épocas.

**Cuadro 16: Prueba de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner**

Variable	Época	Valores Wij			Valores-p			Grupos		
		Estiaje	Transición	Avenida	Estiaje	Transición	Avenida			
Caudal	Estiaje		-6,558	-9,029	<b>1</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	6,558		-6,843	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>1</b>	<b>&lt; 0,0001</b>		B	
	Avenida	9,029	6,843		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>1</b>			C
Temp	Estiaje		-3,581	-7,229	<b>1</b>	<b>0,030</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	3,581		-4,354	<b>0,030</b>	<b>1</b>	<b>0,006</b>		B	
	Avenida	7,229	4,354		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,006</b>	<b>1</b>			C
pH	Estiaje		0,846	0,617	<b>1</b>	0,821	0,900	A		
	Transición	-0,846		-0,129	0,821	<b>1</b>	0,995	A		
	Avenida	-0,617	0,129		0,900	0,995	<b>1</b>	A		
Turb	Estiaje		-4,991	-8,544	<b>1</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	4,991		-5,498	<b>0,001</b>	<b>1</b>	<b>0,000</b>		B	
	Avenida	8,544	5,498		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>			C
CE	Estiaje		5,461	8,928	<b>1</b>	<b>0,000</b>	<b>&lt; 0,0001</b>			C
	Transición	-5,461		6,529	<b>0,000</b>	<b>1</b>	<b>&lt; 0,0001</b>		B	
	Avenida	-8,928	-6,529		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>1</b>	A		
OD	Estiaje		-0,282	-0,789	<b>1</b>	0,978	0,842	A		
	Transición	0,282		-0,812	0,978	<b>1</b>	0,834	A		
	Avenida	0,789	0,812		0,842	0,834	<b>1</b>	A		
SD	Estiaje		5,472	8,038	<b>1</b>	<b>0,000</b>	<b>&lt; 0,0001</b>			C
	Transición	-5,472		5,497	<b>0,000</b>	<b>1</b>	<b>0,000</b>		B	
	Avenida	-8,038	-5,497		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>	A		
Alcal	Estiaje		4,573	7,260	<b>1</b>	<b>0,004</b>	<b>&lt; 0,0001</b>			C
	Transición	-4,573		4,611	<b>0,004</b>	<b>1</b>	<b>0,003</b>		B	
	Avenida	-7,260	-4,611		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,003</b>	<b>1</b>	A		
DT	Estiaje		5,148	8,827	<b>1</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>			C
	Transición	-5,148		6,012	<b>0,001</b>	<b>1</b>	<b>&lt; 0,0001</b>		B	
	Avenida	-8,827	-6,012		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>1</b>	A		

Continuación...

Cl3	Estiaje		4,343	7,472	<b>1</b>	<b>0,006</b>	<b>&lt; 0,0001</b>			C
	Transición	-4,343		4,021	<b>0,006</b>	<b>1</b>	<b>0,012</b>		B	
	Avenida	-7,472	-4,021		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,012</b>	<b>1</b>	A		
SO4	Estiaje		2,005	8,271	<b>1</b>	0,332	<b>&lt; 0,0001</b>		B	
	Transición	-2,005		5,847	0,332	<b>1</b>	<b>0,000</b>		B	
	Avenida	-8,271	-5,847		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>	A		
NO3	Estiaje		2,548	5,247	<b>1</b>	0,169	<b>0,001</b>		B	
	Transición	-2,548		3,393	0,169	<b>1</b>	<b>0,043</b>		B	
	Avenida	-5,247	-3,393		<b>0,001</b>	<b>0,043</b>	<b>1</b>	A		
NO2	Estiaje		1,336	6,380	<b>1</b>	0,612	<b>&lt; 0,0001</b>		B	
	Transición	-1,336		5,422	0,612	<b>1</b>	<b>0,000</b>		B	
	Avenida	-6,380	-5,422		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>	A		
PO4	Estiaje		2,464	7,714	<b>1</b>	0,190	<b>&lt; 0,0001</b>		B	
	Transición	-2,464		5,607	0,190	<b>1</b>	<b>0,000</b>		B	
	Avenida	-7,714	-5,607		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>	A		
Cu	Estiaje		-1,640	-6,037	<b>1</b>	0,478	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	1,640		-4,777	0,478	<b>1</b>	<b>0,002</b>	A		
	Avenida	6,037	4,777		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,002</b>	<b>1</b>		B	
Al	Estiaje		-2,610	-7,876	<b>1</b>	0,155	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	2,610		-5,422	0,155	<b>1</b>	<b>0,000</b>	A		
	Avenida	7,876	5,422		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>		B	
Fe	Estiaje		-3,581	-8,119	<b>1</b>	<b>0,030</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	3,581		-5,754	<b>0,030</b>	<b>1</b>	<b>0,000</b>		B	
	Avenida	8,119	5,754		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>			C
Mn	Estiaje		-0,846	-7,159	<b>1</b>	0,821	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	0,846		-5,644	0,821	<b>1</b>	<b>0,000</b>	A		
	Avenida	7,159	5,644		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>		B	
Pb	Estiaje		0,355	-7,088	<b>1</b>	0,966	<b>&lt; 0,0001</b>	A		
	Transición	-0,355		-5,699	0,966	<b>1</b>	<b>0,000</b>	A		
	Avenida	7,088	5,699		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>1</b>		B	
Cd	Estiaje		1,901	-3,105	<b>1</b>	0,371	0,072	A	B	
	Transición	-1,901		-3,762	0,371	<b>1</b>	<b>0,021</b>	A		
	Avenida	3,105	3,762		0,072	<b>0,021</b>	<b>1</b>		B	
Zn	Estiaje		1,044	-5,288	<b>1</b>	0,741	<b>0,001</b>	A		
	Transición	-1,044		-5,201	0,741	<b>1</b>	<b>0,001</b>	A		
	Avenida	5,288	5,201		<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>1</b>		B	
As	Estiaje		-0,794	-5,584	<b>1</b>	0,841	<b>0,000</b>	A		
	Transición	0,794		-4,556	0,841	<b>1</b>	<b>0,004</b>	A		
	Avenida	5,584	4,556		<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	<b>1</b>		B	
Coto	Estiaje		-0,710	-2,255	<b>1</b>	0,870	0,248	A		
	Transición	0,710		-1,180	0,870	<b>1</b>	0,681	A		
	Avenida	2,255	1,180		0,248	0,681	<b>1</b>	A		
Cote	Estiaje		-1,420	-1,608	<b>1</b>	0,574	0,491	A		
	Transición	1,420		-0,295	0,574	<b>1</b>	0,976	A		
	Avenida	1,608	0,295		0,491	0,976	<b>1</b>	A		

Fuente: Elaboración propia.

La estacionalidad de calidad de agua desde un enfoque de análisis de tendencia o series de tiempo, ha sido demostrada y es considerada como un fenómeno común (Hirsch *et al.*, 1982; Yu *et al.*, 1993). Estudios de análisis multivariante de variabilidad temporal de calidad de agua (Jung *et al.*, 2015; Phung *et al.*, 2015; Ruždjak & Ruždjak, 2015; Razmkhah *et al.*, 2010; Pejman *et al.*, 2009; Ouyang *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2004), incluido este estudio, muestran una variación temporal dependiente de la variación del caudal del río.

No obstante, la regulación ambiental de calidad de agua se rige por niveles o estándares fijos o constantes en el tiempo, cuyos medidas físicas y niveles de concentración de componentes químicos, biológicos no deben ser trasgredidos, lo que podría interpretarse como un escenario de un sistema estable en el tiempo, con dos patrones temporales o épocas: seca y húmeda, aceptadas por una suerte de convención, ahora institucionalizadas. Sin embargo, los hallazgos de este estudio indican que existiría tres épocas de variación temporal de calidad de agua en la cuenca baja del río Rímac, que deberían tenerse en consideración en la formulación de planes de monitoreo de calidad de agua.

De manera natural hay una variación de la calidad del agua dependiente de las escorrentías producto de las precipitaciones en la cuenca alta y media del río Rímac a los que se suma los aportes antropogénicos de efluentes de las diferentes actividades que se realizan a lo largo del cauce principal incluidos descargas municipales, cuyos efectos o niveles de concentración de los diferentes contaminantes pueden ser medidos en la cuenca baja, como en la bocatoma La Atarjea.

Los aportes naturales y antropogénicos, tienen una dinámica propia, con niveles de parámetros que fluctúan en el tiempo: con incrementos en **avenida** y disminuciones en **estiaje** y viceversa, y niveles intermedios en **transición** o los que simplemente no muestran variación significativa en el tiempo. Si cada parámetro o grupo de parámetros relacionados tiene su propia dinámica temporal con tres patrones de variación ¿Por qué los entes reguladores han “institucionalizado” las evaluaciones en época seca y época húmeda? ¿Qué meses del año corresponden a cada periodo o época?

En este punto, tal vez, sea necesario reflexionar sobre el paradigma que gobierna ese enfoque: “salud del ecosistema”, pues es aceptado que, la medida de determinado parámetro ambiental indica el estado de salud del sistema acuático en estudio, respecto a ese parámetro. Sin embargo, medidas como los índices de calidad de agua (ICA) y enfoques multivariantes nos muestran una forma de ver el estado del ecosistema a través de las medidas de los parámetros de manera conjunta, una visión más integral, entonces, ¿Son todos los parámetros importantes como para establecer medidas de gestión para cada uno de ellos? ¿Cómo se puede identificar al o los parámetros más importantes, sobre el cual giren las medidas de gestión necesarios?

#### 4.2.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó sobre la matriz de datos sin transformación ni tipificación, se consideró como medida de similitud a la correlación de Spearman, organizadas en la matriz de correlaciones (Cuadro 5).

La relevancia del análisis se evaluó mediante el índice KMO (Cuadro 17) que alcanzó el valor de 0,85 para el conjunto de las 24 variables de calidad de agua, este valor indica que las variables tienen fuertes correlaciones entre ellas y sus correlaciones parciales, de este valor además se deduce que el ACP será relevante y puede llevarse a cabo. Las variables que presentan las medidas de adecuación más bajas son el oxígeno disuelto y el pH con índices de 0,26 y 0,42 respectivamente, por lo que su contribución fue poco relevante en el análisis.

**Cuadro 17: Índices de medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin**

Variable	Abreviatura	Índice KMO
Caudal	Caudal	0,900
Temperatura	Temp	0,820
pH	pH	0,423
Turbidez	Turb	0,881
Conductividad eléctrica	CE	0,871
Oxígeno disuelto	OD	0,267
Sólidos disueltos	SD	0,875
Alcalinidad	Alcal	0,892
Dureza total	DT	0,883
Cloruros	Cls	0,904
Sulfatos	SO4	0,897
Nitratos	NO3	0,835
Nitritos	NO2	0,824
Fosfatos	PO4	0,911
Cobre	Cu	0,855
Aluminio	Al	0,920
Hierro	Fe	0,882
Manganeso	Mn	0,819
Plomo	Pb	0,916
Cadmio	Cd	0,730
Zinc	Zn	0,828
Arsénico	As	0,808
Coliformes totales	Coto	0,625
Coliformes termotolerables	Cote	0,622
<b>KMO</b>		<b>0,850</b>

Fuente: Elaboración propia.

El ACP permitió extraer los dos primeros componentes principales (CPs) o los factores más importantes con valores propios mayores a uno,  $\lambda = 10,4$  y  $\lambda = 2,92$  respectivamente, (la explicación como se determinó a los primeros CPs se hace más adelante) ambos explican el 55,82% de la varianza del conjunto de datos. Mientras más alto es el valor propio, mayor es el grado de varianza explicada, en el caso del CP<sub>1</sub>,  $\lambda = 10,46$  explica el 43,61 por ciento de la variabilidad del conjunto de datos. Los valores propios explican de manera individual la varianza de cada CP, con una contribución porcentual individual y a medida que se van sumando cada CP se va explicando un porcentaje mayor de la varianza acumulada hasta lograr el 100 por ciento con la participación de todas los CPs, que generalmente es igual al número de variables, es decir 24 CPs o factores, tal como se muestra en el Cuadro 18.

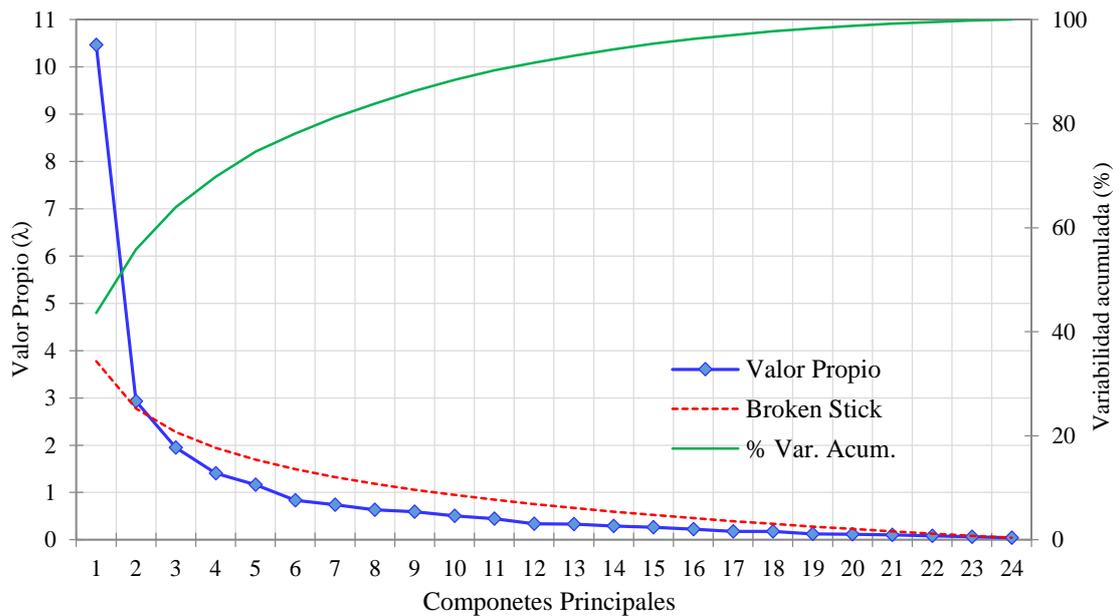
**Cuadro 18: Componentes principales obtenidos de las correlaciones de Spearman**

CP o Factor	Valor propio ( $\lambda$ )	% Varianza explicada	% Varianza acumulada	Broken stick
1	10,468	43,616	43,616	3,776
2	<u>2,929</u>	12,203	55,819	<u>2,776</u>
3	1,947	8,112	63,931	2,276
4	1,406	5,858	69,789	1,943
5	1,167	4,861	74,651	1,693
6	0,833	3,472	78,122	1,493
7	0,739	3,078	81,201	1,326
8	0,633	2,635	83,836	1,183
9	0,594	2,476	86,312	1,058
10	0,507	2,114	88,426	0,947
11	0,446	1,857	90,283	0,847
12	0,340	1,417	91,700	0,756
13	0,328	1,368	93,067	0,673
14	0,290	1,209	94,276	0,596
15	0,261	1,088	95,364	0,524
16	0,223	0,930	96,294	0,458
17	0,178	0,744	97,038	0,395
18	0,175	0,731	97,769	0,336
19	0,125	0,522	98,290	0,281
20	0,118	0,491	98,781	0,228
21	0,104	0,434	99,216	0,178
22	0,083	0,347	99,562	0,131
23	0,061	0,254	99,817	0,085
24	0,044	0,183	100,000	0,042

Fuente: Elaboración propia.

Los CPs que presentan valores propios más bajos tienen información redundante a veces innecesaria entre las variables y presentan a su vez bajo porcentaje de varianza o variabilidad explicada, como el CP<sub>24</sub> cuyo valor propio ( $\lambda = 0,04$ ) que explica solo el 0,18% de la varianza total del conjunto de datos de calidad de agua.

El número de componentes principales (CP) fue determinado mediante el gráfico de sedimentación, de acuerdo al modelo *broken stick*. Este modelo se basa en la idea de que: en la hipótesis nula donde la varianza total se asigna aleatoriamente sobre CPs o Factores, los valores propios se distribuyen de acuerdo con la distribución de *broken stick* (Frontier, 1976). Como se muestra en la Figura 11, los dos primeros CPs o Factores son los óptimos, presentan valores propios mayores al respectivo valor del *broken stick* o se encuentran por encima del punto de intersección entre la curva del valor propio y la curva del *broken stick*.



**Figura 11: Gráfico de sedimentación de valores propios**

Fuente: Elaboración propia.

La carga o peso de un factor o CP es la correlación existente entre una variable original y un factor. Lei (2014) usa una clasificación de las cargas o pesos de los CPs, refiriéndolas como: “fuerte”, “moderado” y “débil”, correspondiendo al valor absoluto de las cargas o normas de los vectores que representan: mayor a 0,75; de 0,75 a 0,50 y de 0,50 a 0,30 respectivamente, para expresar el aporte o contribución de las variables de calidad de agua sobre cada CP.

Así, en la el Cuadro 19, el CP<sub>1</sub> o F<sub>1</sub> (43,62 por ciento de varianza) es el que explica la mayor variabilidad del conjunto de datos de calidad de agua. Las cargas de las variables ambientales con la contribución más “fuerte” son: La conductividad eléctrica (0,86), fierro (-0,84), sólidos disueltos (0,82), caudal (-0,80), dureza total (0,79), aluminio (-0,79), manganeso (-0,77), fosfatos (0,77), sulfatos (0,75) y turbidez (-0,75). En el CP<sub>2</sub> o F<sub>2</sub> (12,20 por ciento de varianza) de manera contraría al CP<sub>1</sub>, las variables coliformes termotolerables y coliformes totales (0,86 y 0,79, respectivamente) son las que presenta la carga “fuerte” de contribución sobre la variabilidad del conjunto de datos. En ambos CPs o factores las variables con el peso o carga más “débil” sobre los CPs son el oxígeno disuelto y el pH, con valores de -0,075 y 0,220 en CP<sub>1</sub> y 0,127 y -0,229 en el CP<sub>2</sub>.

**Cuadro 19: Cargas de las variables de calidad de agua sobre los CP**

Variables	Componentes principales		Componentes rotados	
	F1	F2	VF1	VF2
Caudal	<b>-0,805</b>	0,037	<b>-0,761</b>	0,265
Temp	-0,538	0,312	-0,427	0,453
pH	0,220	-0,229	0,145	-0,282
Turb	<b>-0,757</b>	0,325	-0,633	0,527
CE	<b>0,867</b>	0,280	<b>0,911</b>	0,022
OD	-0,075	0,127	-0,036	0,143
SD	<b>0,829</b>	0,149	<b>0,837</b>	-0,094
Alcal	0,748	0,207	<b>0,776</b>	-0,015
DT	<b>0,794</b>	0,234	<b>0,828</b>	-0,002
Cls	0,723	0,282	<b>0,773</b>	0,064
SO4	<b>0,757</b>	0,087	<b>0,751</b>	-0,133
NO3	0,558	0,548	0,691	0,366
NO2	0,557	0,500	0,677	0,321
PO4	<b>0,772</b>	0,120	<b>0,774</b>	-0,105
Cu	-0,745	-0,165	<b>-0,761</b>	0,054
Al	<b>-0,792</b>	0,269	-0,683	0,483
Fe	<b>-0,847</b>	0,213	<b>-0,751</b>	0,446
Mn	<b>-0,774</b>	0,199	-0,686	0,412
Pb	-0,694	0,315	-0,576	0,500
Cd	-0,432	0,223	-0,351	0,337
Zn	-0,634	-0,069	-0,628	0,114
As	-0,573	0,288	-0,468	0,439
Coto	-0,154	<b>0,794</b>	0,079	<b>0,805</b>
Cote	-0,191	<b>0,868</b>	0,064	<b>0,887</b>
Var. Total (%)	43,62	12,20	41,07	14,75
Var. Acumulada (%)	43,62	55,81	41,07	55,82

Fuente: Elaboración propia.

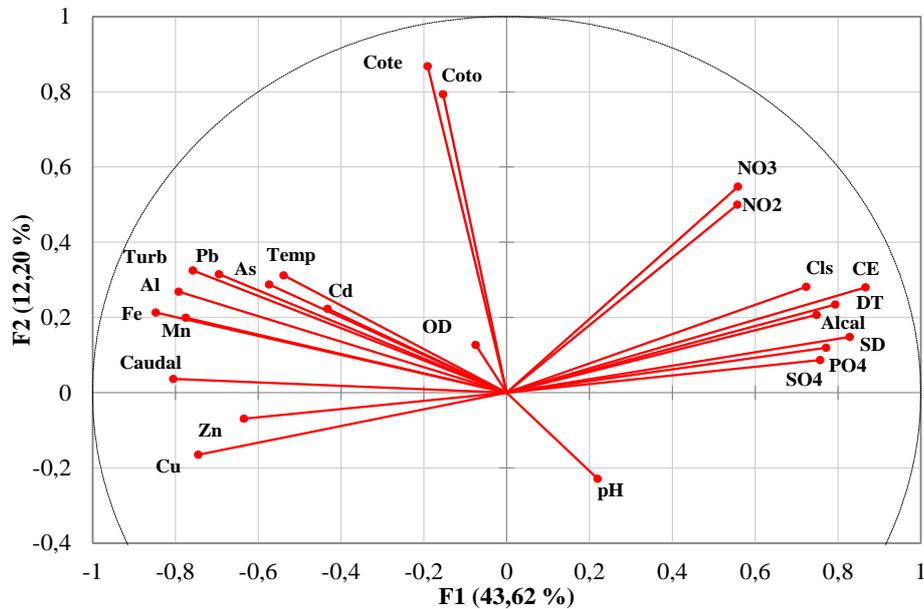
En el cuadro se muestra también las cargas de los factores rotados o varifactores (VFs) determinados mediante el método de rotación varimax. En el VF1 (41,07 por ciento de la varianza) las variables que contribuyen con la carga “fuerte” son: conductividad eléctrica (0,91), sólidos disueltos (0,83), dureza total (0,82), fosfatos (0,77), alcalinidad (0,77), cloruros (0,77), cobre (-0,76), caudal (-0,76) sulfatos (0,75) y hierro (0,75). En el VF2 (14,75 por ciento de la varianza), las variables de carga “fuerte” que contribuyen en la varianza total son las mismas del CP<sub>2</sub>, coliformes termotolerantes (0,88) y coliformes totales (0,80).

Desde una perspectiva integral del ecosistema, la calidad del agua del río Rímac en el sector en estudio, a lo largo de los siete años de evaluación se ha estado moviéndose en relación a las variables de calidad de agua de peso o carga más “fuerte”, que acumulan mayor variabilidad: conductividad eléctrica, hierro, sólidos disueltos, caudal, dureza total, aluminio, manganeso, fosfatos, sulfatos y turbidez, además de ser las variables más importantes. El caudal de agua no expresa un nivel o concentración de elementos químicos o biológicos, pero es una variable asociada cuya variación es importante en la dinámica de la calidad del agua.

Desde el punto de vista de gestión de la calidad del agua, las variables de carga “más fuerte” son las que requieren mayor atención e interés, sin descuidar a las de peso o carga más “débil”, cuya variación en el tiempo no debería tener implicancias en la calidad del agua de todos los parámetros como conjunto, pero desde el análisis individual y comparativo, con los niveles aceptables de los ECAs pueden tener efectos negativos, como los niveles de Coliformes totales y termotolerables que superan los niveles permitidos, ver Anexo 1.

Las relaciones entre variables y CPs o factores, cargas y puntuaciones se muestran en el diagrama de dispersión, Figura 12. Para la interpretación, los valores o normas de los vectores varían entre -1 y 1, radio de la circunferencia es igual a uno, las variables que se encuentran más alejados del centro son las que aportan mayor variabilidad. La gradualidad de las correlaciones entre variables se mide por el ángulo que forman sus vectores, las variables más relacionadas son las que sus vectores forman ángulos agudos, ángulos rectos denotan falta de correlación y ángulos llanos indican relación inversa.

Sobre el F1 o CP<sub>1</sub> la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos tiene mayor carga factorial positiva mientras que el hierro y el caudal tienen la mayor carga negativa. Sobre el F2 los coliformes termotolerables y totales son las que aportan mayor variabilidad. Sobre el CP<sub>1</sub> o F1 de la Figura 12, se pueden ver tres grupos:



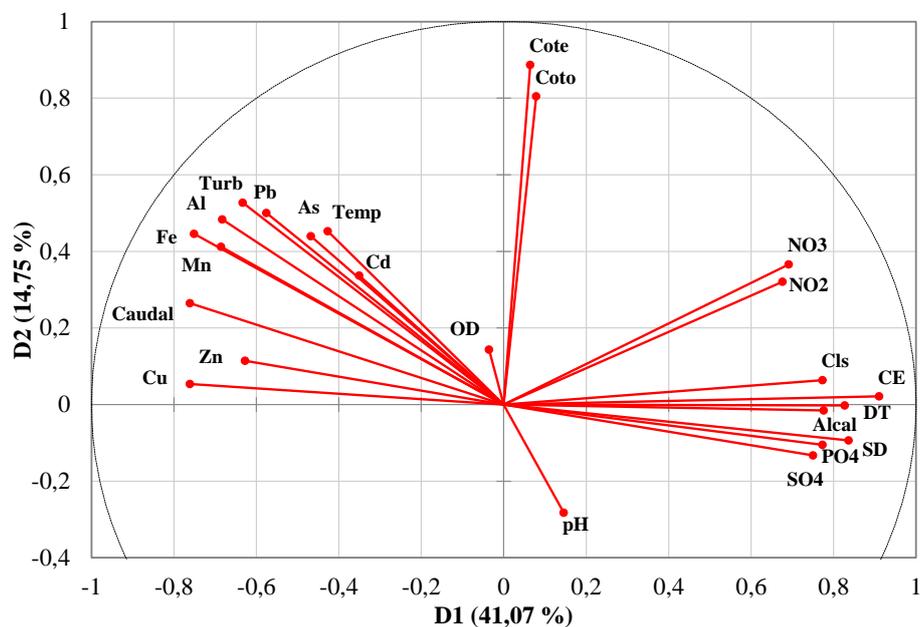
**Figura 12: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones de CPs**

Fuente: Elaboración propia.

- Un grupo conformado por sustancias en sus formas iónicas, se observa a la derecha del eje horizontal, sobre el factor F<sub>1</sub>, este está compuesto por dos subgrupos: un subgrupo formado por nitratos y nitritos, fuertemente relacionados, con una relación causal-dependiente implícita; el otro conformado por variables de carga iónica negativa como cloruros, fosfatos y sulfatos y los que expresan la medida de compuesto en forma iónica como la conductividad, sólidos disueltos, alcalinidad, y la dureza total, estos dos últimos indicativos de la presencia de iones Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>1+</sup> y K<sup>1+</sup>, como vimos en el punto de correlaciones.
- El otro grupo está conformado por metales, correlacionados de manera inversa al grupo de las formas iónica, está conformado por: el hierro, aluminio, cobre, zinc, manganeso, plomo, arsénico y cadmio; turbidez y dos variables físicas que no aportan directamente en los niveles o concentraciones de la calidad de agua, la temperatura y caudal.

- El tercer grupo, de coliformes totales y termotolerables no tienen correlación con las otras variables de los grupos anteriores pero si una aparente relación inversa con el pH, no obstante, sobre el eje vertical o factor F2 o contrario, ambas variables son las que contribuyen con la mayor variabilidad de los datos.

La rotación de los factores mediante el método varimax (Figura 13), permite obtener varifactores (D1 y D2), que muestra un comportamiento muy parecido al de los CPs, con la diferencia de que hay una variación en las cargas de los varifactores y los ángulos y las normas de los vectores de las variables.



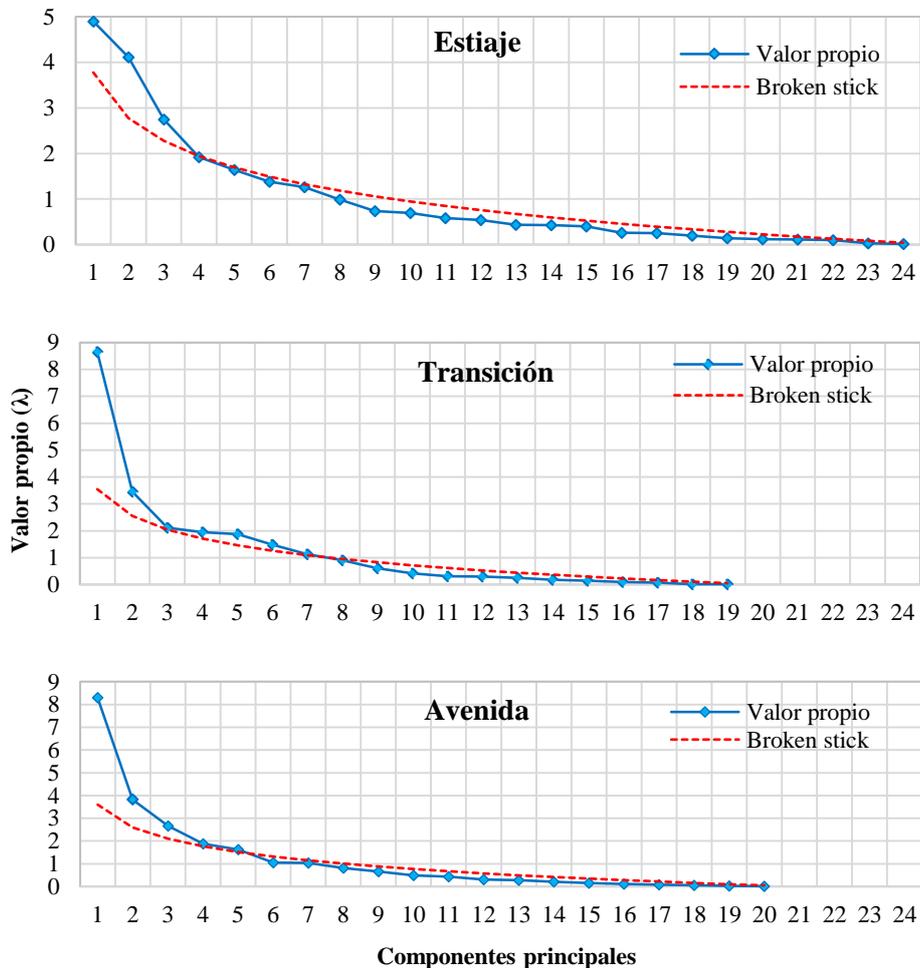
**Figura 13: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones. Rotación varimax.**

Fuente: Elaboración propia.

El ACP por épocas se realizó sobre los agrupamientos obtenidos mediante el AC, la variable categórica “Época”, sin la reclasificación de datos mostradas en la matriz de confusión del AD, para obtener los CPs o factores principales e identificar las variables más importantes por cada época; el método de obtención de los CPs fue mediante las correlaciones de Spearman.

Según los gráficos de sedimentación (Figura 14) y el criterio *broken stick* del Cuadro 20: en la época **estiaje** los tres primeros CP son los más importantes o los que contribuyen más en la variabilidad de la época con una varianza acumulada de 48,97 por ciento; siete en la

época de **transición** y un 86,16 por ciento y cinco en la época de **avenida** con un 76,24 por ciento de la variabilidad. El ACP por época, evidencia además que: en la época de estiaje los 24 CPs o factores acumulan toda la variabilidad del conjunto de datos, 19 de 24 CPs en la época de Transición y 20 de 24 en la época de avenida.



**Figura 14: Gráficos de sedimentación de valores propios por época.**

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, considerando el mismo número de CPs por cada época, se observa que la época de transición acumula mayor variabilidad en todos los casos a comparar, exceptuando a: CP<sub>2</sub>, CP<sub>3</sub> y CP<sub>4</sub>, le sigue la época de avenida y luego la época de estiaje, por ejemplo para el CP<sub>1</sub> las varianzas acumuladas correspondientes son: 36,08, 30,59 y 20,47 por ciento. Entre las tres épocas, la de estiaje es la que menos variabilidad acumula por CP, continua la época de avenida y le sigue la época de transición, dejando ver cierta una correspondencia con la variación de caudal o flujo de agua en el punto de monitoreo.

**Cuadro 20: Componentes principales por épocas**

CP o Factor	Estiaje				Transición				Avenida			
	Valor propio	% Var.	% Var. acum.	Broken stick	Valor propio	% Var.	% Var. acum.	Broken stick	Valor propio	Variab. (%)	% Var. acum.	Broken stick
1	4,896	20,401	20,40	3,776	8,659	36,078	36,08	3,55	8,302	34,590	34,59	3,598
2	4,113	17,136	37,54	2,776	3,459	14,411	50,49	2,55	3,821	15,922	50,51	2,598
3	2,744	11,435	48,97	2,276	2,115	8,814	59,30	2,05	2,659	11,081	61,59	2,098
4	1,917	7,985	56,96	1,943	1,952	8,135	67,44	1,71	1,885	7,854	69,45	1,764
5	1,641	6,838	63,80	1,693	1,878	7,827	75,26	1,46	1,629	6,788	76,24	1,514
6	1,382	5,757	69,55	1,493	1,481	6,173	81,44	1,26	1,058	4,406	80,64	1,314
7	1,264	5,267	74,82	1,326	1,134	4,724	86,16	1,10	1,030	4,294	84,94	1,148
8	0,986	4,106	78,93	1,183	0,910	3,790	89,95	0,95	0,807	3,362	88,30	1,005
9	0,736	3,065	81,99	1,058	0,610	2,542	92,49	0,83	0,658	2,740	91,04	0,880
10	0,698	2,908	84,90	0,947	0,415	1,727	94,22	0,72	0,486	2,027	93,06	0,769
11	0,580	2,415	87,31	0,847	0,314	1,310	95,53	0,62	0,440	1,833	94,90	0,669
12	0,538	2,241	89,56	0,756	0,298	1,244	96,77	0,53	0,305	1,271	96,17	0,578
13	0,437	1,821	91,38	0,673	0,252	1,050	97,82	0,44	0,282	1,175	97,34	0,495
14	0,427	1,777	93,15	0,596	0,183	0,762	98,59	0,37	0,207	0,861	98,20	0,418
15	0,399	1,661	94,82	0,524	0,146	0,607	99,19	0,30	0,153	0,639	98,84	0,346
16	0,263	1,097	95,91	0,458	0,096	0,401	99,59	0,23	0,114	0,476	99,32	0,280
17	0,254	1,060	96,97	0,395	0,070	0,291	99,88	0,17	0,078	0,324	99,64	0,217
18	0,201	0,838	97,81	0,336	0,015	0,062	99,95	0,11	0,056	0,232	99,87	0,158
19	0,143	0,595	98,40	0,281	0,013	0,053	100,00	0,05	0,025	0,103	99,98	0,103
20	0,121	0,503	98,91	0,228					0,006	0,023	100,00	0,050
21	0,114	0,477	99,38	0,178								
22	0,100	0,415	99,80	0,131								
23	0,030	0,125	99,92	0,085								
24	0,018	0,076	100,00	0,04								

Fuente: Elaboración propia.

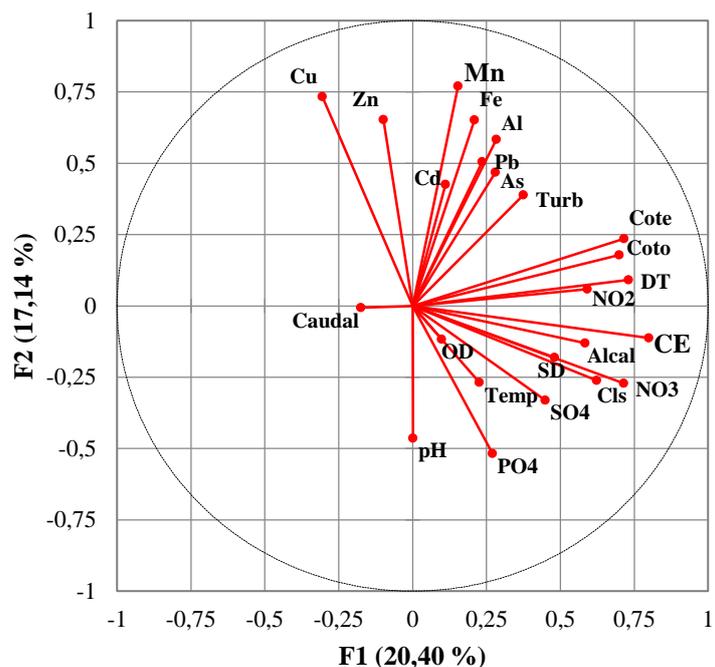
Los pesos o cargas de las variables sobre los CPs por época, es decir, la importancia o relevancia por la variabilidad acumulada por cada parámetro de calidad de agua sobre cada componente principal se puede ver en el Cuadro 21 y las Figuras: 15, 16 y 17.

**Cuadro 21: Cargas de las variables sobre los CPs por época**

Época Parámetro	Estiaje		Transición		Avenida	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Caudal	-0,175	-0,006	0,598	0,199	0,720	-0,098
Temp	0,226	-0,268	0,225	0,557	0,305	0,566
pH	0,002	-0,463	-0,298	-0,394	-0,076	0,018
Turb	0,374	0,389	0,473	0,501	0,714	0,362
CE	<b>0,799</b>	-0,113	<b>-0,801</b>	0,065	-0,667	0,386
OD	0,098	-0,117	-0,245	0,254	0,704	-0,241
SD	0,480	-0,181	<b>-0,832</b>	0,092	-0,554	0,152
Alcal	0,583	-0,130	-0,704	-0,112	-0,457	0,612
DT	0,731	0,092	-0,587	0,054	-0,730	-0,118
Cls	0,623	-0,262	-0,575	0,140	-0,421	0,531
SO4	0,449	-0,330	-0,372	-0,230	-0,615	0,219
NO3	0,714	-0,271	-0,409	0,484	0,030	0,646
NO2	0,592	0,059	-0,440	0,528	-0,270	0,682
PO4	0,270	-0,518	<b>-0,785</b>	0,065	-0,422	0,324
Cu	-0,306	0,733	<b>0,858</b>	-0,116	0,592	-0,263
Al	0,283	0,583	0,638	-0,220	<b>0,842</b>	0,249
Fe	0,210	0,652	<b>0,818</b>	-0,174	<b>0,835</b>	0,341
Mn	0,154	<b>0,770</b>	<b>0,833</b>	0,072	<b>0,816</b>	0,202
Pb	0,236	0,506	0,657	0,194	0,718	0,316
Cd	0,111	0,426	0,642	0,051	0,712	0,066
Zn	-0,099	0,653	<b>0,851</b>	-0,048	0,504	-0,503
As	0,280	0,469	0,306	-0,514	0,731	0,455
Coto	0,699	0,178	0,227	<b>0,910</b>	-0,093	0,539
Cote	0,716	0,235	0,197	<b>0,888</b>	0,371	0,532
% Var. Total	20,40	17,14	36,08	14,41	34,59	15,92
% Var. Acum.	20,40	37,54	36,08	50,49	34,59	50,51

Fuente: Elaboración propia.

En la época de estiaje (Figura 17), la conductividad eléctrica es el parámetro que mayor variabilidad acumula o es el más importante, con una carga de 0,79, sobre el CP<sub>1</sub> o F<sub>1</sub>, que explica 20,40 por ciento de varianza y el manganeso con una carga de 0,77 es el más importante sobre el CP<sub>2</sub> o F<sub>2</sub> que explica el 17,14 por ciento de la varianza y ambos CPs explican 37,54 por ciento de varianza acumulada en esta época.

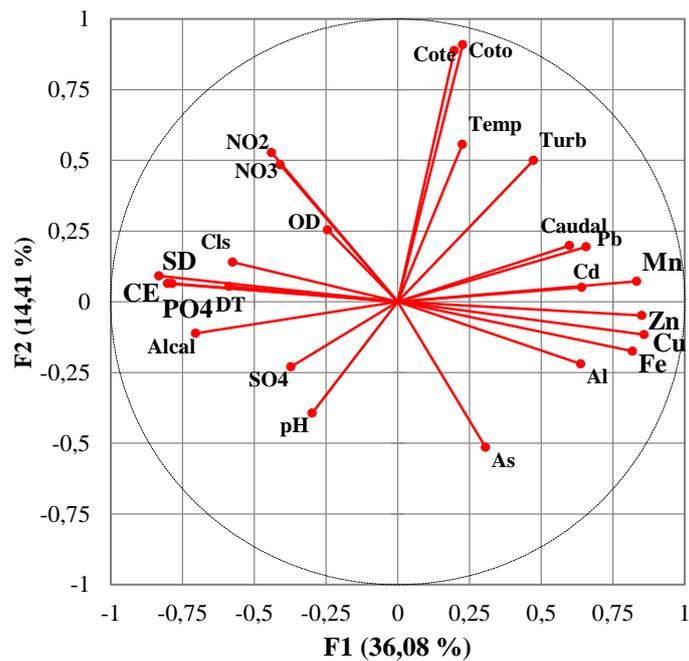


**Figura 15: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones en “Estiaje”.**

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la variación estacional del caudal del río y la consecuente variación de la calidad del agua y la lectura del gráfico anterior, se puede inferir que en estiaje, sobre el CP<sub>1</sub> (F<sub>1</sub>): existe una relación inversa entre la conductividad eléctrica (de mayor variabilidad e importancia) y el caudal, a menor caudal mayor conductividad y viceversa, en ese mismo sentido, se da la relación del caudal con parámetros de origen antropogénico como coliformes, nitratos y nitritos. Sobre el CP<sub>2</sub> (F<sub>2</sub>), el manganeso es el parámetro más importante, sin embargo, este no parece depender ni tener relación con el caudal del río. Las relaciones o asociaciones entre parámetros de formas iónicas, medidas de formas iónicas y parámetros relacionados con vertimientos urbanos se asocian y pueden ser explicados por su relación con el caudal (sobre el CP<sub>1</sub>), mientras que los metales y la turbidez lo hacen sobre el CP<sub>2</sub> pero sin ninguna relación aparente con el caudal, este último de acuerdo a su carga y puntuación es el menos variabilidad acumula.

En la época de Transición, las variables más importantes o de mayor contribución sobre el CP<sub>1</sub> con 36,08 por ciento de varianza acumulada en la calidad del agua, son: cobre, zinc, manganeso, sólidos disueltos, fierro, conductividad y fosfatos; sobre el CP<sub>2</sub>, con 14,41 por ciento de varianza, los coliformes totales y termotolerables son las más importantes; entre ambos explican el 50,49 por ciento de varianza acumulada



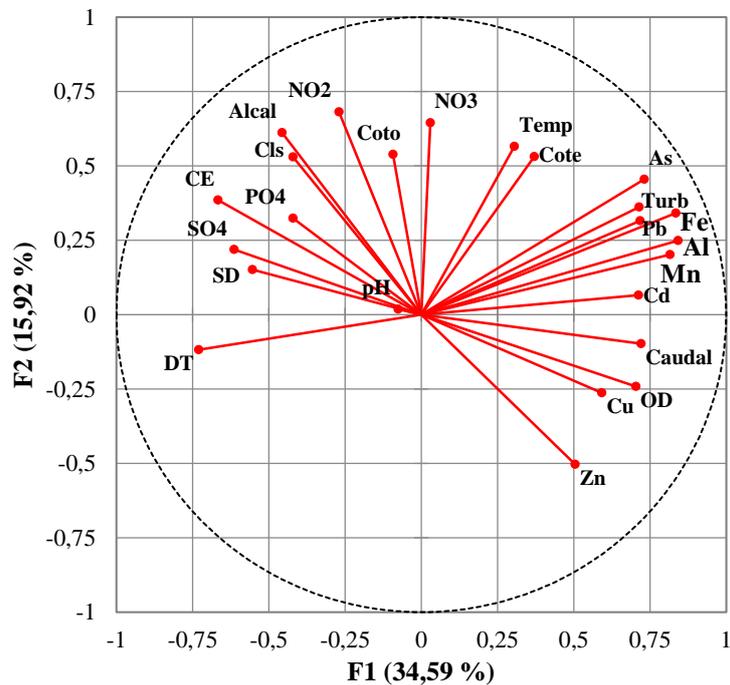
**Figura 16: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones en “Transición”**

Fuente: Elaboración propia.

En esta época, caudal está asociado o correlacionado de manera directa con el grupo de los metales, pero de manera inversa con las formas iónicas o medidas de formas iónicas como: conductividad eléctrica, dureza total y sólidos disueltos; este antagonismo se explica mejor sobre el CP<sub>1</sub>, en este mismo eje, los coliformes, nitrato y nitritos tienen una relación débil con el caudal. No obstante estos últimos parámetros son explicados mejor sobre el CP<sub>2</sub>. En un sentido literal, el ACP en la época de transición, prueba el incremento de la variabilidad de los metales y la turbidez con el incremento del caudal y de manera inversa con la mayor variabilidad del grupo de las formas iónicas; mientras que, los coliformes, nitratos y nitritos no parecen tener importancia en esta dinámica.

En la época de avenida, sobre el CP<sub>1</sub> con 34,59 por ciento de varianza, las variables del grupo de los metales: aluminio, hierro, manganeso, plomo incluyendo la turbidez y caudal acumulan la mayor variabilidad y mayor contribución sobre la varianza; la relación inversa con el grupo de formas iónicas se mantiene, pero a diferencia de las épocas anteriores estos muestran menos variabilidad; las variables antropogénicas, coliformes, nitratos y nitritos no muestran relación y son menos importantes que los grupos indicados. Sin embargo, sobre el CP<sub>2</sub> con 15,92 por ciento de la varianza, los coliformes, nitratos y nitritos son las

variables más importantes pero con menor variabilidad que en las dos épocas anteriores. En otras palabras, se prueba estadísticamente que, en la época de avenida: la mayor variabilidad del grupo de los metales está asociado o relacionado directamente con el caudal y la turbidez del agua del río, de la misma forma se mantiene la relación inversa con las formas iónicas que muestran menor carga y variabilidad y finalmente no hay una aparente relación con las variables de origen antrópico, las que muestran además la menor variabilidad que en las otras épocas.



**Figura 17: Gráfico de dispersión de cargas y puntuaciones en “Avenida”.**

Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva conjunta, la variabilidad del caudal marca mejor la dinámica temporal de calidad de agua, asociado con el grupo de los metales y la turbidez estos presenta mayor carga de variabilidad en avenida y menor en estiaje, e intermedia en transición, de la misma forma pero en sentido contrario se da la dinámica de las formas iónicas, menor variabilidad en avenida y mayor en estiaje. Los parámetros de origen antrópico como los coliformes totales y termotolerables, nitratos y nitritos, muestran correlaciones muy débiles, pero con mayor carga o variación en estiaje, menor en avenida e intermedia en transición.

## V. CONCLUSIONES

La variación temporal de calidad de agua muestra un patrón temporal de tres épocas relacionadas con el caudal del río Rímac: **estiaje**, de mayo a octubre; **transición**, de noviembre a enero y **avenida**, de febrero a abril; el análisis discriminante permitió validar al menos dos de los patrones de calidad de agua determinados. El análisis de varianza multivariante de contraste no paramétrico probó las diferencias significativas entre las tres épocas.

El análisis de varianza univariante encontró, que: cuatro variables no logran diferenciarse entre épocas (pH, oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes termotolerables); nueve variables (caudal, temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, cloruros y hierro) varían en las tres épocas; 10 variables varían solo en las épocas de **estiaje** y **avenida** (sulfatos, nitratos, nitritos, fosfatos, cobre, aluminio, manganeso, plomo, zinc y arsénico) y una sola variable, cadmio, varía entre **transición** y **avenida**.

El análisis de componentes principales (ACP), determinó los dos primeros componentes principales como los más importantes. En el CP1, las cargas de las primeras cinco variables con la contribución más “fuerte” o variables que acumulan mayor variabilidad son: conductividad eléctrica, hierro, sólidos disueltos, caudal y dureza total. Por épocas se muestra sobre el CP1, una relación de dependencia con el caudal, siendo las variables más importantes: conductividad eléctrica en **estiaje**; cobre, zinc, y manganeso en **transición** y, aluminio, hierro y manganeso en **avenida**.

El análisis de correlación, AC y ACP, muestran tres grupos de variables fuertemente correlacionadas: formas iónicas; metales y medidas de características físicas (ambos correlacionados de manera antagónica) y, microorganismos, con una correlación débil con los grupos anteriores. El pH y oxígeno disuelto no lograron ser agrupados.

## VI. RECOMENDACIONES

En el país, desde el punto de vista de la gestión ambiental, el monitoreo de calidad de agua suele ser una cuestión de manejo de tiempo y de recursos; a menor número de muestreos por año y menor el monto de los recursos financieros asignados y siempre que no se trasgreda los niveles aceptados, la gestión de los privados (mineros medianos, por ejemplo) es calificada como eficiente; lo que para funcionarios estatales podría ser deficiente en términos de que no se logra “representatividad” en los muestreos realizados. En ese escenario, las decisiones de qué número de muestreos y cuantos parámetros evaluar, siguen una lógica reglamentista, “no hacer más de lo que pida la norma”. Estudios como éste, podrían ayudar a dilucidar tales cuestiones, en este sentido se recomienda:

- Realizar más estudios en otras cuencas, donde exista disponibilidad de información de monitores de calidad de agua, para identificar patrones de variación y ajustar el número de muestreos por año y no limitarlas a las dos épocas “institucionalizadas”.
- Incluso, en la práctica aceptada de control y vigilancia en las épocas: seca y húmeda, las herramientas o técnicas multivariantes, podrían identificar los meses que mejor representan a cada época de variación de calidad de agua, lo que conllevaría a homogenizar la distancia de tiempo en que se realiza la toma de muestras, y evitar la dispersión de resultados al elegir cualquiera de los meses de la época en estudio.
- Se debe poner mayor énfasis en las tomas de muestras en las épocas de mayor variabilidad de los resultados, pues es en ésta, en la que se han encontrado el mayor número de valores atípicos. Lo que no necesariamente pueda deberse, en el caso de metales por ejemplo, a causas naturales.

Los siete años que comprende el periodo de monitoreo de la calidad de agua en la Bocatoma de la Atarjea pueden ser vistos como una muestra, en una escala de tiempo menor al de

décadas, en la que hay poca probabilidad de ocurrencia de los eventos El Niño (ENSO) caracterizados por lluvias o sequías extremas, además de la confirmación que para ese intervalo de tiempo, la calidad del agua depende del flujo o caudal del río Rímac (cuenca baja) y teniendo en consideración que SEDAPAL realiza muestreos mensuales continuos, se sugiere:

- Realizar más análisis multivariantes, ampliando la composición de la matriz de datos e incorporando más observaciones de muestreos, como los realizados antes del 2009 y posteriores al 2015, para darle mayor peso o confiabilidad a la conformación de los clústeres, agrupamientos o patrones de variación temporal de calidad de agua.
- Incorporar al análisis mayor número de parámetros o variables ambientales, en lo posible generar series de tiempo mensuales completas, producto de muestreos continuos, y evitar el “relleno” o “imputación” de datos, que generan desviaciones o sesgos en los análisis estadísticos.

Si bien es cierto que éste estudio se enfatiza la variación temporal de la calidad del agua, estudios de variación espacial son necesarias, como complemento ideal para entender mejor las dinámicas y el origen o fuente de los contaminantes ambientales del agua en las cuencas. En este sentido se recomienda:

- Establecer programas y redes de monitoreo estratégicos en coordinación con otras instituciones para generar datos longitudinales (en el tiempo) y transversales (en el espacio) para cubrir la cuenca del río Rímac.
- Realizar el monitoreo mensual a distancias homogéneas de tiempo, de acuerdo a la literatura existente, de “parámetros de campo”, metales y algunos parámetros orgánicos de origen antrópico, estos permiten generar información valiosa que sirven de soporte a las medidas de gestión en programas de control y vigilancia de la calidad de calidad de agua de una cuenca.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, T. & Abbasi, S. 2012. Water quality indices. Elsevier.
- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26:32-46.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>
- Anderson, T. 2003. *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*. 3rd ed. John Wiley & Sons Inc. Publication. New Jersey. USA.
- Andreasen, J. K., O'Neill, R. V., Noss, R., & Slosser, N. C. 2001. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological indicators*, 1(1), 21-35.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00007-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00007-3)
- Araujo, R. 2015. *A Semi-Supervised Approach for Kernel-Based Temporal Clustering*. (Doctoral PhD Dissertation). University of Waterloo. Ontario, Canada.  
<http://hdl.handle.net/10012/9265>
- ANA (Autoridad Nacional del Agua - PE). 2010. Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Área de Aguas Superficiales. Estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rímac, Volumen I. Lima.  
[http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1\\_estudio\\_hidrologico\\_cuenca\\_rimac\\_-\\_volumen\\_i\\_-\\_texto\\_-\\_final\\_2010\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf)
- Azhar, S. C., Aris, A. Z., Yusoff, M. K., Ramli, M. F., & Juahir, H. 2015. Classification of River Water Quality Using Multivariate Analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 79-84.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.014>.
- Boyacioglu, H. & Gunduz, O., 2005. Application of factor analysis in the assessment of surface water quality in Buyuk Menderes River Basin. EWRA. E.W. Publications.

European Water 9/10: 43-49, 2005.

[http://www.ewra.net/ew/pdf/EW\\_2005\\_9-10\\_05.pdf](http://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2005_9-10_05.pdf)

Boyd, C. E. 2015. Water quality: an introduction. Springer International Publishing, Switzerland.

Calla Llontop, H. J. 2010. Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras.

<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/797>

Carmona, F. 2014. Un ejemplo de ACP paso a paso. Apuntes. Departamento de estadística. Universidad de Barcelona.

<http://www.ub.edu/stat/docencia/Mates/ejemploACP.PDF>. [Consulta: 25/01/17].

Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N. & Smith, V.H., 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8 (3) 559–568.

[http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)

Collin P. H. 2004. Dictionary of Ecology and the Environment, Peter Collin Publishing: Plc 2004.

Corder, G. W., & Foreman, D. I. 2009. Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach. John Wiley & Sons.

Deng W. H., Wang G. Y. & Zhang X. R. 2015. A novel hybrid water quality time series prediction method based on cloud model and fuzzy forecasting. *Chemometr. Intell. Lab. Syst.* 149(15), 39–49.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.09.017>

Doornik, J. A., & Hansen, H. (2008). An omnibus test for univariate and multivariate normality. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70(s1), 927-939.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00537.x>

Espíritu, C. 2010. Evaluación de la calidad de agua del río Rímac mediante el análisis multivariado. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Química. Universidad Nacional de Ingeniería.

<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1794>

- Everitt, B. S., & Skrondal, A. 2010. *The Cambridge Dictionary of Statistics*. Fourth Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frontier, S. 1976. Étude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales: Comparaison avec le modèle du bâton brisé. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 25(1), 67-75.
- Garizi, A. Z., Sheikh, V., & Sadoddin, A. 2011. Assessment of seasonal variations of chemical characteristics in surface water using multivariate statistical methods. *International Journal of Environmental*.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF03326244>
- Hair, J., Anderson, R., Tathan, R., & Black, W. 1999. *Análisis Multivariante*. Quinta Edición. Prenticehall. Iberia, Madrid, España.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. & Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.  
<http://folk.uio.no/ohammer/past/>
- Hanrahan, G. 2008. *Environmental chemometrics: principles and modern applications*. CRC Press.
- Hanrahan, G. 2012. *Key concepts in environmental chemistry*. Amsterdam: Academic Press.
- He, J. 2013. Mixture model based multivariate statistical analysis of multiply censored environmental data. *Advances in Water Resources*, 59, 15-24.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.05.001>
- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernández, J. M. & Fernández, L. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Water Research* 34: 807-816.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00225-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00225-0)
- Helsel, D. R. 1987. Advantages of nonparametric procedures for analysis of water quality data. *Hydrological Sciences Journal*, 32(2), 179-190.  
<http://dx.doi.org/10.1080/02626668709491176>
- Helsel, D. R. 2011. *Statistics for censored environmental data using Minitab and R*. John Wiley & Sons.

<http://dx.doi.org/10.1007/BF03326086>

Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. 2002. *Statistical methods in water resources* (Vol. 323). Reston, VA: US Geological survey.

Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water resources research*, 18(1), 107-121.

Hollander, M., & Wolfe, D. A. 1999. *Nonparametric Statistical Methods: By Myles Hollander, Douglas A. Wolfe*. J. Wiley.

Israel, D. 2009. *Data analysis in business research: A step-by-step nonparametric approach*. Sage Publications.

Jaume, M. y Catalá, R. 2001. *Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS*. Servicio de Publicaciones.

<http://hdl.handle.net/10045/12080>

Jiménez, C. M. 1995. *Curso general sobre Statgraphics: procedimientos, métodos estadísticos, aplicaciones, ejercicios resueltos* (Vol. 2). Universidad Pontificia Comillas.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6th Edition, Pearson Prentice Hall. Printend in the United States of America.

Juárez, H. 2006. *Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima metropolitana*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.

Jung, K. Y., Lee, K. L., Im, T. H., Lee, I. J., Kim, S., Cheon, S. U. & Ahn, J. M. 2015. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. *Environmental Technology & Innovation*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2015.12.001>

Kim, J. Y., Bhatta, K., Rastogi, G., Muduli, P. R., Do, Y., Kim, D. K. & Joo, G. J. 2016. Application of multivariate analysis to determine spatial and temporal changes in water quality after new channel construction in the Chilika Lagoon. *Ecological Engineering*, 90, 314-319.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.053>.

- Lee, J. Y., Cheon, J. Y., Lee, K. K., Lee, S. Y. & Lee, M. H., 2001. Statistical evaluation of geochemical parameter distribution in a ground water system contaminated with petroleum hydrocarbons. *Journal of Environmental Quality* 30: 1548-1563.  
<http://dx.doi.org/10.2134/jeq2001.3051548x>
- Lei, L. 2014. Assessment of water quality using multivariate statistical techniques in the Ying river basin, China. Thesis of Master of Science. Natural Resource and Environment. In the University of Michigan. 2014-04-18T16:50:47Z.  
<http://hdl.handle.net/2027.42/106539>
- Liu, J., Zhang, X., Xia, J., Wu, S., She, D., & Zou, L. 2016. Characterizing and explaining spatio-temporal variation of water quality in a highly disturbed river by multi-statistical techniques. *Springer Plus*, 5(1), 1171.  
<http://doi.org/10.1186/s40064-016-2815-z>
- López, M. 2013. Análisis clúster para problemas con estructuras temporales. Aplicaciones al control de redes tráfico. Tesis Doctoral. Universidad Castilla La Mancha. España.  
<http://hdl.handle.net/10578/3482>
- Mardia, K. V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 519-530.  
<http://www.jstor.org/stable/2334770>
- Morvillo, M., Diblasi, A., Giménez, M., Guerra, E. y Ruiz, S. 2015. Predicción de variables regionalizadas con datos no detectados: dos casos de estudio. *Geoacta*, 40(1).  
<http://ref.scielo.org/gn2bzt>
- Murray, R., & Larry, J. 2009. Estadística. 4ta edición ed. México, DF, Mc Grawill.
- Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q. T., Shinde, D., & Huang, C. H. 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality,” *Water Research* 40 (2006) 3800-3810.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.030>.
- Palarea, J. & Martín, J. 2013. Values below detection limit in compositional chemical data. *Analytica Chimica Acta*, 764: 32-43.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2012.12.029>
- Pejman, A. H., Bidhendi, G. N., Karbassi, A. R., Mehrdadi, N., & Bidhendi, M. E. 2009.

Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(3), 467-476.

Peña, D. 2002. *Análisis de datos multivariantes (Vol. 24)*. Madrid: McGraw-Hill.

Phung, D., Huang, C., Rutherford, S., Dwirahmadi, F., Chu, C., Wang, X. & Dinh, T. A. 2015. Temporal and spatial assessment of river surface water quality using multivariate statistical techniques: a study in Can Tho City, a Mekong Delta area, Vietnam. *Environ Monit Assess* (2015) 187: 229.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4474-x>

Razmkhah, H., Abrishamchi, A., & Torkian, A. 2010. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: a case study on Jajrood River (Tehran, Iran). *Journal of Environmental Management*, 91(4), 852-860.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.11.001>

Recchia, A. 2010. Contiguity-constrained hierarchical agglomerative clustering using SAS. *J. Stat. Softw*, 33.  
<http://dx.doi.org/10.18637/jss.v033.c02>

Rencher, A. C. 2003. *Methods of multivariate analysis*. 2nd Edition. John Wiley & Sons.

Restrepo, I., Sánchez, L., Galvis, A., Rojas, J., & Sanabria, I. 2007. *Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio*. Universidad del Valle, Santiago de Cali.

Rivera, H., Chira, J., Zambrano, K., & Petersen, P. P. 2007. Dispersión secundaria de los metales pesados en sedimentos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Departamento de Lima. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 10(20), 19-25.

Rodríguez Campo, J. 2008. Estudio comparativo de técnicas estadística multivariada versus las redes neuronales artificiales en el análisis de datos de calidad de agua.  
<http://hdl.handle.net/10554/3826>

Ruždjak, A. M. & Ruždjak, D. 2015. Evaluation of river water quality variations using multivariate statistical techniques Sava River (Croatia): a case study. *Environ Monit Assess* (2015) 187: 215. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4393-x>

- Samboní, N., Carvajal, Y. y Escobar, J. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, 27(3), 172-181.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092007000300019&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019&lng=en&tlng=es).
- Samboní, N. 2009. Estimación del índice de escasez empleando los indicadores de calidad y contaminación del agua en la cuenca alta del Río Cauca, Tesis de Maestría, Programa Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle.
- SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima S.A.). 2014. Memoria Anual. <http://www.sedapal.com.pe>.
- Shrestha, S., & Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., & Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) a case study. *Water research*, 38(18), 3980-3992.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>
- Suter, G. W. 1993. A critique of ecosystem health concepts and indexes. *Environmental toxicology and chemistry*, 12(9), 1533-1539.
- Tran, L. T., Knight, C. G., O'Neill, R. V., Smith, E. R., Riitters, K. H., & Wickham, J. 2002. Fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the Mid-Atlantic region1. *Environmental Management*, 29(6), 845-859.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00267-001-2587-1>
- Uriel, E. y Aldás, J. 2005. Análisis multivariante aplicado. International Thomson Editores Spain. Madrid, España.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., & Debán, L. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water research*, 32(12), 3581-3592.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00138-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9)

- Voutsas, D., Manoli, E., Samara, C., Sofoniou, M. & Stratis, I. 2001. A study of surface water quality in Macedonia, Greece: speciation of nitrogen and phosphorus. *Water Air Soil Pollut.* 129: 13–32, 2001.  
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1010315608905>.
- Wang, X., Cai, Q., Ye, L., & Qu, X. 2012. Evaluation of spatial and temporal variation in stream water quality by multivariate statistical techniques: A case study of the Xiangxi River basin, China. *Quaternary International*, 282, 137-144.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2012.05.015>
- Wicklum, D., & Davies, R. W. 1995. Ecosystem health and integrity? *Canadian Journal of Botany*, 73(7), 997-1000.
- XLSTAT (Versión 2016.02.28451) [Software] 2016. Addinsoft. Obtenido de:  
<https://www.xlstat.com/es/>
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-80.
- Zhang, Z., Tao, F., Du, J., Shi, P., Yu, D., Meng, Y. & Sun, Y. 2010. Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts-a case study of the Xiangjiang River, China. *Environ Manage* 2010; 91(12):2483-2490.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.002>
- Zhao, J., Fu, G., Lei, K., Li, Y. W., Li, X. M. & Li, J. 2011. Assessment of spatial-temporal patterns of surface water quality in the Min River (China) and implications for management. 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring 1983-1989.  
<http://dx.doi.org/10.1109/CDCIEM.2011.499>.

## **VIII. ANEXOS**

# Anexo 1: Estándares de calidad ambiental para agua. D.S. 015-2015 MINAM

569076

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 /  El Peruano

## PODER EJECUTIVO

### AMBIENTE

#### Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación

DECRETO SUPREMO  
N° 015-2015-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

#### CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33 de la citada ley, dispone que en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, este Ministerio tiene como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiendo ser aprobados o modificados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y, mediante Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprobaron las disposiciones para la implementación de dichos estándares;

Que, las referencias nacionales e internacionales de toxicidad consideradas en la aprobación los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua han sido modificadas, tal como lo acreditan los estudios de investigación y guías internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, de la Comunidad Europea, entre otros;

Que, asimismo, el Ministerio del Ambiente ha recibido diversas propuestas de instituciones públicas y privadas, con la finalidad de que se revisen las subcategorías, valores y parámetros de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua vigentes, por lo que, resulta necesario modificar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N°

002-2008-MINAM y precisar determinadas disposiciones contenidas en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM;

Que, en el marco de lo dispuesto en el Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, la presente propuesta ha sido sometida a consulta y participación ciudadana, en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

#### DECRETA:

#### Artículo 1.- Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

Modifíquese los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, detallados en el Anexo de la presente norma.

#### Artículo 2.- ECA para Agua y políticas públicas

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, y en el diseño de normas legales y políticas públicas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

#### Artículo 3.- ECA para Agua e instrumentos de gestión ambiental.

3.1. Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental

3.2. Los titulares de la actividad extractiva, productiva y de servicios deben prevenir y/o controlar los impactos que sus operaciones pueden generar en los parámetros y concentraciones aplicables a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de sus operaciones, advirtiendo entre otras variables, las condiciones particulares de sus operaciones y los insumos empleados en el tratamiento de sus efluentes; dichas consideraciones deben ser incluidas como parte de los compromisos asumidos en su instrumento de gestión ambiental, siendo materia de fiscalización por parte de la autoridad competente

#### Artículo 4.- Excepción de aplicación de los ECA para Agua.

4.1. Las excepciones para la aplicación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua previstas en el Artículo 7° de las disposiciones para su implementación aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM se aplican de forma independiente.

4.2. El supuesto previsto en el literal b) del citado Artículo 7° constituye una excepción de carácter temporal que es aplicable para efectos del monitoreo de calidad ambiental y en el seguimiento de las obligaciones asumidas por el titular de la actividad.

#### Artículo 5.- Revisión de los ECA para Agua.

5.1. Conjuntamente con los límites máximos permisibles aplicables a una actividad, las entidades de fiscalización ambiental verifican la eficiencia del tratamiento de efluentes y las características ambientales particulares advertidas en los estudios de línea de base, o los niveles de fondo que caracterizan los cuerpos de agua dentro del área de influencia de la actividad sujeta a control.

5.2. Dicha información se sistematiza y remite al Ministerio del Ambiente, de conformidad con el artículo 9 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, para efectos de la revisión periódica del ECA para Agua.

#### Artículo 6.- Actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Actividades en Curso

Para la actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Actividades en Curso se observa los siguientes procedimientos:

6.1. El Titular de la actividad extractiva, productiva y de servicios en curso evalúa si las obligaciones ambientales contenidas en su instrumento de gestión ambiental vigente requieren ser modificadas en virtud a los ECA para Agua establecidos en la presente norma, de modo que su actividad no afecte los cuerpos de agua existentes en el área de influencia de sus operaciones.

6.2. El Titular tiene un plazo de seis (6) meses, contado a partir de la entrada en vigencia de la presente norma, para comunicar a la autoridad ambiental competente si los valores de los ECA para Agua ameritan la modificación de su instrumento de gestión ambiental vigente.

A partir de la fecha de la comunicación formulada a la Autoridad Ambiental Competente, el Titular tiene un plazo de doce (12) meses adicionales para presentar la modificación del mencionado instrumento de gestión ambiental.

6.3. La Autoridad Ambiental Competente tiene un plazo máximo de noventa (90) días calendario para evaluar y aprobar el Plan de Manejo Ambiental presentado. En el marco del plazo descrito, la Autoridad Ambiental Competente tiene un plazo máximo de cuarenta y cinco (45) días calendario para revisar y remitir las observaciones al Titular respecto al Plan de Manejo Ambiental presentado, en caso corresponda. El Titular tiene un plazo máximo de treinta (30) días calendario para la presentación del levantamiento de las observaciones que haya efectuado la Autoridad Ambiental Competente al Plan de Manejo Ambiental presentado.

6.4. El plazo máximo para la implementación de las medidas de adecuación, contenidas en la modificación del instrumento de gestión ambiental, es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

6.5. Si el titular no formula comunicación ni presenta la modificación de su instrumento de gestión ambiental dentro de los plazos descritos en el presente artículo, son de referencia automática los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 del presente decreto supremo.

La solicitud de modificación no suspende la ejecución de las obligaciones ambientales establecidas en instrumentos de gestión ambiental previamente aprobados por la Autoridad Ambiental Competente, ni el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, según corresponda.

#### Artículo 7.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Agricultura y Riego, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud y el Ministro del Ambiente.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

**Primera.-** Para efectuar los monitoreos en aplicación de la presente norma, la autoridad ambiental competente debe considerar los parámetros asociados prioritariamente a la actividad extractiva, productiva o de servicios y a aquellos que permitan caracterizar las condiciones naturales de la zona de estudio o el efecto de otras descargas en la zona.

**Segunda.-** La entidad de fiscalización ambiental supervisa, una vez concluido el plazo para la implementación del instrumento de gestión ambiental correspondiente, que las actividades extractivas, productivas y de servicios realicen sus operaciones considerando los valores y parámetros establecidos en la presente norma.

**Tercera.-** El Titular de la actividad minera que se encuentre implementando su instrumento de gestión ambiental de acuerdo al Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM o el Plan Integral, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2011-MINAM, tiene un plazo de sesenta (60) días calendario para evaluar e informar a dicha autoridad si el plan aprobado requiere ser modificado, a fin de guardar relación con los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 de la presente norma.

A partir de la fecha de la comunicación a la Autoridad Ambiental Competente, el Titular tiene un plazo de doce (12) meses adicionales para presentar la modificación de su Plan Integral o el instrumento de gestión ambiental que corresponda.

El proceso de evaluación y aprobación del Plan Integral presentado por parte de la Autoridad Ambiental Competente, se rige por lo dispuesto en el artículo 6° de la presente norma.

El plazo máximo para el cumplimiento del proceso de adecuación es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación de la modificación del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

La solicitud de modificación no suspende la obligación de cumplir, como mínima exigencia, con los valores de Límites Máximos Permisibles (LMP) anteriormente aprobados contenidos en su instrumento de gestión ambiental vigente, hasta la conclusión del proceso de adecuación.

En caso el Titular minero no cumpla con informar a la Autoridad Ambiental Competente la necesidad de la modificación o no presente la modificación de su Plan Integral o el instrumento de gestión ambiental correspondiente en los plazos establecidos en la presente disposición, se le aplican los compromisos asumidos y el cronograma de ejecución consignado en el Plan Integral aprobado.

**Cuarta.-** El Titular de la actividad minera que haya cumplido con presentar un Plan Integral, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2011-MINAM; pero que a la fecha de la publicación de la presente norma no cuente con la aprobación por parte del Ministerio de Energía y Minas, tiene un plazo de sesenta (60) días calendario para evaluar e informar a dicha Autoridad Ambiental si el Plan Integral presentado requiere una actualización a los valores de los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 de la presente norma.

Efectuada dicha comunicación, la Autoridad Ambiental Competente devuelve el expediente respectivo al Titular minero en el plazo máximo de diez (10) días calendario. A partir de la fecha de la referida devolución el Titular minero tiene un plazo de doce (12) meses para presentar una actualización del Plan Integral inicialmente presentado.

El proceso de evaluación y aprobación de la actualización del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente, se rige por lo dispuesto en el artículo 6° de la presente norma.

El plazo máximo para el cumplimiento del proceso de adecuación es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

Si el Titular minero no comunica al Ministerio de Energía y Minas la necesidad de actualizar el Plan Integral que fuera presentado, se entiende que no requiere modificar dicho proyecto de instrumento de gestión ambiental, reanudándose su evaluación.

En caso que el Titular minero, habiendo notificado a la DGAAM del Ministerio de Energía y Minas su disposición a actualizar el Plan Integral presentado no presente dicha actualización en los plazos señalados, puede ser pasible de las sanciones que correspondan por la afectación de la eficacia de la fiscalización ambiental.

**Quinta.-** En un plazo no mayor a seis (6) meses mediante Resolución Ministerial el Ministerio del Ambiente establece las condiciones sobre los métodos de ensayo aplicables a la medición de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua aprobados por la presente norma.

#### DISPOSICION COMPLEMENTARIA MODIFICATORIA

**Única.-** Modificación del artículo 2 de las Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Modifíquese el artículo 2 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, de acuerdo a lo siguiente:

**“Artículo 2.-** Precisiones de las Categorías de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Para la implementación del Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y de la presente norma, se tiene en consideración las siguientes precisiones de las Categorías de los ECA para Agua:

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional****Sub Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable****A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.**

Entiéndase como aquellas aguas, que por sus características de calidad reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

(...)

**Sub Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación**

Son las aguas superficiales destinadas al uso recreativo, que en la zona costera marina comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea y que en las aguas continentales su amplitud es definida por la autoridad competente

(...)

**Categoría 2: Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales****Sub Categoría C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeras**

(...)

**Sub Categoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

(...)

**Sub Categoría C3. Otras Actividades en aguas marino costeras**

Entiéndase a las aguas destinadas para actividades diferentes a las precisadas en las subcategorías C1 y C2, tales como infraestructura marina portuaria, de actividades industriales y de servicios de saneamiento.

**Sub Categoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase a los cuerpos de agua destinadas a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales****Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto.**

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallo bajo), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallo alto), tales como árboles forestales, frutales, entre otros.

**Sub Categoría D2: Bebida de Animales.**

(...)

**Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**  
Están referidos a aquellos cuerpos de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento y que cuyas características requieren ser protegidas.

(...).

**Sub Categoría E1: Lagunas y Lagos**

Comprenden todas las aguas que no presentan corriente continua, de origen y estado natural y léntico incluyendo humedales.

**Sub Categoría E2: Ríos**

(...).

**Sub Categoría E3: Ecosistemas Marino Costeros**

(...)

**Marino.-** Entiéndase como zona del mar comprendida desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional."

(...)

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los diecinueve días del mes de diciembre del año dos mil quince.

OLLANTA HUMALA TASSO  
Presidente de la República

JUAN MANUEL BENITES RAMOS  
Ministro de Agricultura y Riego

MANUEL PULGAR-VIDAL OTALORA  
Ministro del Ambiente

ROSA MARÍA ORTIZ RÍOS  
Ministra de Energía y Minas

ANÍBAL VELÁSQUEZ VALDIVIA  
Ministro de Salud

TABLA N° 01.- PARÁMETROS Y VALORES CONSOLIDADOS.

CATEGORÍA 1 - A

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado

FÍSICOS - QUÍMICOS

Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (p)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1500	1600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de origen antropogénico.		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de Material Flotante de origen antrópico	Ausencia de Material Flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
Hidrocarburos de petróleo emulsionado o disuelto (C10 - C28 y mayores a C28)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(c)	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados:</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
DDT	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	Retirado
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamatos:</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>Policloruros Bifenilos Totales</b>				
PCB's	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	50	5 000	50 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Microcistina-LR</i>	mg/L	0,001	0,001	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoos, copépodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (d)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

- (a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
- (b) Después de la filtración simple
- (c) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoforno, Cloroforno, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Cloroformo}}{\text{ECAcloroformo}} + \frac{\text{Cdbromoclorometano}}{\text{ECAdbromoclorometano}} + \frac{\text{Crbromodichlorometano}}{\text{EACrbromodichlorometano}} + \frac{\text{Cromoformo}}{\text{EACromoformo}} \leq 1$$

Dónde:

C = Concentración en mg/L y

ECA: Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano)

(d) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada

#### CATEGORÍA 1 - B

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>			
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas para recreación	
		B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1000	4 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	E coli /100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Nº Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	Nº Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella sp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

- UNT : Unidad Nefelométrica de Turbiedad
- NMP/100 ml : Número más probable en 100 ml
- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

#### CATEGORÍA 2

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2			
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)
		Extracción y Cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>					
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (a)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de Material Flotante	Ausencia de Material Flotante	Ausencia de Material Flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥4	≥3	≥2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	80	70	**

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2			
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)
		Extracción y Cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies hidrobiológicas
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoniaco	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Niquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>					
(PCB's)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	≤14 (área Aprobada) (c)	≤30	1 000	200
	NMP/100 mL	*≤88 (área restringida) (c)			

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

**Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

(1) Nitrógeno Amoniacal para Aguas Dulce :

**Estándar de calidad de concentración del nitrógeno amoniacal en diferente pH y temperatura para la protección de la vida acuática (mg/L de NH3)**

Temp (°C)	pH							
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	10.0
0	231	73.0	23.1	7.32	2.33	0.749	0.25	0.042
5	153	48.3	15.3	4.84	1.54	0.502	0.172	0.034
10	102	32.4	10.3	3.26	1.04	0.343	0.121	0.029
15	69.7	22.0	6.98	2.22	0.715	0.239	0.089	0.026
20	48.0	15.2	4.82	1.54	0.499	0.171	0.067	0.024
25	33.5	10.6	3.37	1.08	0.354	0.125	0.053	0.022
30	23.7	7.50	2.39	0.767	0.256	0.094	0.043	0.021

Nota: Las mediciones de amoniacal total en el medio ambiente acuático a menudo se expresan en mg / L de amoniacal total -N. Los actuales valores de referencia (mg / L de NH3) se pueden convertir a mg/L de amoniacal total -N multiplicando el valor de referencia correspondiente por 0.8224. No recomendado pauta para las aguas marinas

**CATEGORÍA 3**

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(uS/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,2	0,5
Fenoles	mg/l	0,002	0,01
Fluoruros	mg/l	1	**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	100	100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/l	0,2	0,5
Cobalto	mg/l	0,05	1
Cromo Total	mg/l	0,1	1
Hierro	mg/l	5	**
Litio	mg/l	2,5	2,5
Magnesio	mg/l	**	250
Manganeso	mg/l	0,2	0,2
Mercurio	mg/l	0,001	0,01
Niquel	mg/l	0,2	1
Plomo	mg/l	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,02	0,05

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
Zinc	mg/l	2	24
<b>PLAGUICIDAS</b>			
Parathión	ug/l	35	35
<b>Organoclorados</b>			
Aldrin	ug/l	0,004	0,7
Clordano	ug/l	0,006	7
DDT	ug/l	0,001	30
Dieldrin	ug/l	0,5	0,5
Endosulfan	ug/l	0,01	0,01
Endrin	ug/l	0,004	0,2
Heptacloro y heptacloro epóxido	ug/l	0,01	0,03
Lindano	ug/l	4	4
<b>CARBAMATO:</b>			
Aldicarb	ug/l	1	11
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>			
Policloruros Bifenilos Totales (PCB's)	ug/l	0,04	0,045
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1 000	5 000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	1 000	1 000
<i>Enterococos intestinales</i>	NMP/100 ml	20	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	100	100
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1

(a) para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)  
(b) Después de Filtración Simple.

- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.  
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.  
- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

## CATEGORIA 4

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
<b>FÍSICOS - QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasa (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Total	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(uS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo Total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco	mg/L	1,9	1,9	1,9	0,4	0,55
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	30

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,61	1,6	0,61	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>I. Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos						
totales de petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
HTTP						
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados:</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Parathión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>ORGANOCLORADOS</b>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDT y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfan	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Heptacloro epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>CARBAMATO:</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,00015	0,00015	0,00015
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>						
(PCB's)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 mL	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)  
(b) Después de la filtración simple

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.  
- \*\*: No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

## NOTA GENERAL:

- Todos los parámetros que se norman para las diferentes categorías se encuentran en concentraciones totales, salvo se indique lo contrario  
- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.  
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1325630-1

## Anexo 2: Cartas de "acceso a la información pública"

### SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA

**I Datos del solicitante:**

Si es persona jurídica:

Razón social	R.U.C.

Si es persona natural:

Nombres y Apellidos	Documento de Identidad: D.N.I. / C.E.
Roberto Valerio Flores Cruz	29605041

**Domicilio**

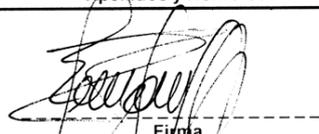
Av. / Calle / Jr. / Psj.	N° / Dpto / Int	Distrito	Urbanización
Jr. Cutervo	1818 / K-302	Cercado	Chacra Ríos Norte
Provincia	Departamento	Correo electrónico	Teléfono
Lima	Lima	rob_flores04@yahoo.com	4255326 / 958893685

**II Información solicitada:**

Resultados mensuales de Monitoreo Ambiental de Calidad Ambiental/Sanitaria de Agua del Río Rimac, de los últimos 7 años (2009-2015), que forma parte del Programa de Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos.

**III Forma de entrega de la información (marcar con una "X"):**

<input type="checkbox"/> Copia Simple	<input checked="" type="checkbox"/> CD
<input type="checkbox"/> Correo electrónico	<input type="checkbox"/> Otro (especifique):

<p style="text-align: center;"><b>FLORES CRUZ, ROBERTO</b> Apellidos y Nombres</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  Firma         </div>	<p>Fecha y hora de recepción: <b>03 JUN. 2016</b></p> <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>SEDAPAL</b> MESA DE PARTES - COP - LA ATARJEA</p> <p><b>RECIBIDO</b></p> <p>Hora: 10:49 Reg: 72296</p> </div>
---	--

Observaciones:

Para ser llenado por la Empresa:

**IV Formulario:**

Nro. de Registro	
------------------	--

**V Responsable de entregar la información:**

Maribel Cieza

**VI Dependencia de la cual se requiere la información:**

Eg. Gestión legal y Adm. (317-3000)

Anexo 3244 (#)  
# Maribel Cieza



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Carta N° 308 -2016-EGLA

Lima, **20 JUN. 2016**

Señor  
Roberto Valerio Flores Cruz  
Jr. Cutervo N° 1818 – Block K-302 – Urb. Chacra Ríos Norte  
Cercado de Lima.-

Asunto : Atención a Solicitud de Acceso a la Información Pública – Ley N° 27806  
Referencia : a. Carta N° 283-2016-EGLA de fecha 13.06.2016  
b. Solicitud de Acceso a la Información recibida el 03.06.2016 (Reg. 72296-16)

Es grato dirigirme a usted, con relación a su pedido de información efectuado con el documento de la referencia b., a través del cual, y en mérito a la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, solicita información referida a los resultados mensuales de Monitoreo Ambiental de la Calidad Ambiental / Sanitaria del Agua del Río Rímac de los últimos siete (07) años (2009 – 2015), que forma parte del Programa de Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos. Siendo que mediante Carta N° 283-2016-EGLA de fecha 13.06.2016 se comunicó la necesidad de hacer uso de la prórroga señalada en el artículo 11° de la citada Ley y en el artículo 14° de su Reglamento.

Al respecto, el Equipo Gestión Integral de Plantas de la Gerencia de Producción y Distribución Primaria, ha puesto a su disposición, la documentación solicitada en el párrafo anterior, por lo que conforme a lo establecido en el artículo 10° del TUO de la Ley N° 27806 y en el artículo 13° de su Reglamento, la documentación señalada en el párrafo anterior, podrá ser recabada en el horario de 09.00 a.m. a 12:30 p.m., en la Oficina del Equipo Gestión Legal y Administrativa de SEDAPAL, previo pago del costo de reproducción en CD, el cual asciende a la suma de S/1,42 (Uno con 42/100 Soles), correspondiente a un (01) CD (1 x S/1,42 = S/1,42).

Sin otro particular, me despido de usted,

Atentamente,

  
Maribel Cieza García  
Funcionaria Responsable de  
la Entrega de Información

ifgm

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEA:  
Autopista Ramiro Pristá 210- El Agustino- Central Telefónica 317-3000  
Consultas e Informes : **Aquafono** 317 8000

[www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

CENTROS DE SERVICIOS  
Comas: Av. Victor Andrés Belaunde Oeste Cuadra 5 - Urb. El Retablo  
Callao: Av. Guardia Chakaca N° 1131  
Brena: Av. Tingo María N° 600 - Cercado  
San Juan de Lurigancho: Av. Próceres de la Independencia N° 3185 - Campo Grande  
Ate Vitarte: Av. Nicolás Ayllón N° 2309  
Surquillo: Av. Angamos Este N° 1450  
Villa el Salvador: Av. Separadora Industrial N° 300 1er. Sector

**SOLICITUD DE ACCESO A LA  
INFORMACIÓN PÚBLICA**

**I Datos del solicitante:**

Si es persona jurídica:

Razón social	R.U.C.

Si es persona natural:

Nombres y Apellidos	Documento de Identidad: D.N.I. / C.E.
Roberto Valerio Flores Cruz	29605041

Domicilio			
Av. / Calle / Jr. / Psj.	N° / Dpto / Int	Distrito	Urbanización
Jr. Cutervo	1818 / K-302	Cercado	Chacra Ríos Norte
Provincia	Departamento	Correo electrónico	Teléfono
Lima	Lima	rob_flores04@yahoo.com	4255326 / 958893685

**II Información solicitada:**

Resultados mensuales de Monitoreo Ambiental de Calidad Ambiental/Sanitaria de Agua del Río Rímac (incluir mapa de ubicación de estaciones), de los últimos 10 años (incluyendo parte del 2016), que forma parte del Programa de Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos.

**III Forma de entrega de la información (marcar con una "X"):**

<input type="checkbox"/> Copia Simple	<input checked="" type="checkbox"/> CD
<input type="checkbox"/> Correo electrónico	<input type="checkbox"/> Otro (especifique):

<p><i>FLORES CRUZ, ROBERTO</i> Apellidos y Nombres</p> <hr/> <p><i>[Firma]</i> Firma</p>	<p>Fecha y hora de recepción:</p> <p align="center"><b>SEDAPAL</b> MESA DE PARTES. COP. LA ATARJEA</p> <p align="center">28 JUN. 2016</p> <p align="center"><b>RECIBIDO</b></p> <p>Hora: <i>11:20 am</i> Reg: <i>03140</i></p>
--	--

**Observaciones:**

La respuesta a la anterior solicitud, solo incluyo las estaciones de la Bocatoma " La Atarjea", no obstante se requiere información de las estaciones a cargo de SEDAPAL, pues como se puede ver en [www.sedpal.pe/depa/vigilancia\\_recursos\\_hidricos.asp](http://www.sedpal.pe/depa/vigilancia_recursos_hidricos.asp), existen 25 estaciones a lo largo del rio Rímac, que se monitorean junto a la DIGESA. Ver Anexo.

Para ser llenado por la Empresa:

**IV Formulario:**

Nro. de Registro	
------------------	--

**V Responsable de entregar la información:**

*Maribel Cieza*

**VI Dependencia de la cual se requiere la información:**

*Eg. Gestión Legal: y Adm. 317-3000*



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Carta N° 375 -2016-EGLA

Lima, **07 JUL. 2016**

Señor  
Roberto Valerio Flores Cruz  
Jr. Cutervo N° 1818 – Block K-302 – Urb. Chacra Ríos Norte  
Cercado de Lima

Asunto : Prórroga a Solicitud de Acceso a la Información Pública

Referencia : Solicitud de Acceso a la Información recibida el 28.06.2016 (Reg. 83170-16)

Es grato dirigirme a usted, con relación a su solicitud de información efectuada mediante el documento de la referencia, a fin de comunicarle que por motivos de naturaleza interna de la Empresa, será necesario hacer uso de la prórroga de plazo establecida en el literal b) del artículo 11° de la Ley N° 27806 – Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, así como en el artículo 14° de su Reglamento.

Sin otro particular, me despido de usted,

Atentamente,

Maribel Cieza García  
Funcionaria Responsable de  
la Entrega de Información

*lfgm*

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEJA:  
Autopista Ramiro Priale 210- El Agustino- Central Telefónica 317-3000  
Consultas e Informes : **AQUALFONO** 317 8000

[www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

CENTROS DE SERVICIOS  
Comas: Av. Victor Andrés Belaúnde Oeste Cuadro 5 - Urb. El Retablo  
Callao: Av. Guardia Chulaca N° 1331  
Brena: Av. Tingo María N° 600 - Cercado  
San Juan de Lurigancho: Av. Próceres de la Independencia N° 3105 - Canto Grande  
Ate Vitarte: Av. Nicolás Ayllón N° 2309  
Surquillo: Av. Angamos Este N° 1450  
Villa el Salvador: Av. Separadora Industrial N° 300 1er. Sector

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Carta N° 393 -2016-EGLA

Lima, **14 JUL. 2016**

Señor  
Roberto Valerio Flores Cruz  
Jr. Cutervo N° 1818 – Block K-302 – Urb. Chacra Ríos Norte  
Cercado de Lima

Asunto : Atención a Solicitud de Acceso a la Información Pública – Ley N° 27806

Referencia : a. Carta N° 375-2016-EGLA de fecha 07.07.2016  
b. Solicitud de Acceso a la Información recibida el 28.06.2016 (Reg. 83170-16)

Es grato dirigirme a usted, con relación a su pedido de información efectuado con el documento de la referencia b., a través del cual, y en mérito a la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, solicita información referida a los resultados mensuales de Monitoreo Ambiental de la Calidad Ambiental / Sanitaria del Agua del Río Rímac incluir mapa de ubicación de las estaciones) de los últimos diez (10) años (incluyendo parte del 2016), que forma parte del Programa de Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos. Siendo que mediante Carta N° 375-2016-EGLA de fecha 07.07.2016 se comunicó la necesidad de hacer uso de la prórroga señalada en el artículo 11° de la citada Ley y en el artículo 14° de su Reglamento.

Al respecto, debe tenerse en cuenta que, el artículo 10° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, establece que: "*Las entidades de la Administración Pública tienen la obligación de proveer la información requerida si se refiere a la contenida en documentos escritos (.....), o en cualquier otro formato, siempre que haya sido creada u obtenida por ella o que se encuentre en su posesión o bajo su control*"; asimismo, el párrafo tercero del artículo 13° de la referida norma, dispone que: "*La solicitud de información no implica la obligación de las entidades de la Administración Pública de crear o producir información con la que no cuente o no tenga obligación de contar al momento de efectuarse el pedido.. Esta Ley tampoco permite que los solicitantes exijan a las entidades que efectúen evaluaciones o análisis de la información que posean*" (el resaltado y subrayado es nuestro).

En tal sentido, el Equipo Gestión Integral de Plantas de la Gerencia de Producción y Distribución Primaria, área especializada en evaluar la atención de la información requerida, señala que no es responsabilidad de SEDAPAL llevar a cabo un Programa de Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos, toda vez que ello forma parte de las funciones de la Autoridad Nacional del Agua, y que hasta el año 2012 era parte de las funciones de la Dirección General de Salud (DIGESA), siendo ésta entidad la autorizada a publicarla en su portal institucional, para luego pasar a ser responsabilidad de la Autoridad Nacional del Agua, a quienes se deberá solicitar la información relacionada específicamente al Río Rímac, razón por la cual no es posible atender su solicitud.

Sin otro particular, me despido de usted,

Atentamente,

Maribel Cieza García  
Funcionaria Responsable de  
la Entrega de Información

lfgm

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEJA:  
Autopista Ramiro Pristá 210-El Agustino-Central Telefónica 317-3000  
Consultas e Informes : **Aquafono** 317-8000

[www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

CENTROS DE SERVICIOS  
Comas: Av. Víctor Andrés Belaúnde Oeste Cuadra 5 - Urb. El Retablo  
Callao: Av. Guardia Chulaca N° 1131  
Brena: Av. Tingo María N° 600 - Cercado  
San Juan de Lurigancho: Av. Próceres de la Independencia N° 3105 - Canto Grande  
Ate: Vicarte: Av. Nicolás Aylón N° 2309  
Santiago: Av. Angamos Este N° 1450  
Villa el Salvador: Av. Separadora Industrial N° 300 Ter. Sector

Rpta: a 7 días háb: les



**SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**

<b>I Datos del solicitante:</b>			
<b>Si es persona jurídica:</b>			
Razón social		R.U.C.	
<b>Si es persona natural:</b>			
Nombres y Apellidos		Documento de Identidad: D.N.I. / C.E.	
ROBERTO FLORES CRUZ		29605041	
Domicilio			
Av. / Calle / Jr. / Psj.	N° / Dpto / Int	Distrito	Urbanización
Cartero	1818 (K-302)	Cercado	Chacra R'os
Provincia	Departamento	Correo electrónico	Teléfono
Lima	Lima.	rob-floresoy@phoo.com	4255326
<b>II Información solicitada:</b>			
Información de tallada en carta - solicitud adjunta			
<b>III Forma de entrega de la Información (marcar con una "X"):</b>			
<input type="checkbox"/> Copia Simple		<input checked="" type="checkbox"/> CD	
<input type="checkbox"/> Correo electrónico		<input type="checkbox"/> Otro (especifique):	
FLORES CRUZ, ROBERTO Apellidos y Nombres		Fecha y hora de recepción:	
		SEDAPAL MESA DE PARTES - COP - LA ATARJEJA 16 NOV. 2016 EGI/A RECIBIDO Hora: 10:43 AM Reg: 53505	
Firma			
<b>Observaciones:</b>			
- Adjunto Documento Solicitud - Copia de DNI.			
Para ser llenado por la Empresa:			
<b>IV Formulario:</b>			
Nro. de Registro			
<b>V Responsable de entregar la información:</b>			
<b>VI Dependencia de la cual se requiere la información:</b>			

SOLICITUD DE ACCESO A LA  
INFORMACION PÚBLICA.

SEÑOR(A) FUNCIONARIO(A) RESPONSABLE DE ACCESO A LA  
INFORMACION PÚBLICA DE SEDAPAL

Yo **ROBERTO VALERIO FLORES CRUZ**, ciudadano peruano, identificado con DNI 29605041, teléfono 4255326, celular: 958893685, e-mail: *rob\_flores04@yahoo.com*; domiciliado en el Jr. Cutervo 1818 (K-302) de la Urbanización Chacra Ríos del distrito del Cercado, provincia y departamento de Lima. Ante usted me presento y digo:

En virtud a la Carta N° 308-2016-EGA recibida, pude recabar información solicitada en un CD. No obstante, requiero precisión y complemento de información de la data proporcionada en siguientes puntos y términos:

1. Los datos microbiológicos consignados corresponden a dos estaciones de monitoreo la Bocatoma 1 y la Bocatoma 2. Para los datos físico-químicos consignar Agua de la Fuente - Captación ¿En este último caso se trata de una estación de monitoreo diferente o corresponde a una de las Bocatomas?
2. Para cualquiera de los casos del punto anterior, agradeceré me puedan brindar las coordenadas geográficas o UTM y la altitud de ubicación de cada una de las estaciones de monitoreo.
3. Necesito puedan hacer referencia de los métodos de ensayo de laboratorio y las normas de referencia para cada uno de los parámetros evaluados, tanto microbiológicos como físicoquímicos. Además de las fechas aproximadas en que se tomaron las muestras.
4. Finalmente, solicito la data mensual de las mediciones de caudal en la bocatoma La Atarjea y/o de la estación hidrométrica más próxima a este punto, para el mismo periodo de tiempo: Enero del 2009 a Diciembre del 2015.

Agradeceré puedan proporcionarme la información solicitada en formato digital: **CD**.

Lima, 16 de Noviembre del 2016.



ROBERTO FLORES C.  
DNI. 29605041



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Carta N° 802 -2016-EGLA

Lima,

Señor  
Roberto Valerio Flores Cruz  
Jr. Cutervo N° 1818 – Block K-302 – Urb. Chacra Ríos Norte  
Cercado de Lima

Asunto : Atención a Solicitud de Acceso a la Información Pública – Ley N° 27806

Referencia : Solicitud de Acceso a la Información recibida el 16.11.2016 (Reg. 153505-16)

Es grato dirigirme a usted, con relación a su pedido de información efectuado con el documento de la referencia b., a través del cual, y en mérito a la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, solicita información relacionada a la Carta N° 308-2016-EGLA según el siguiente detalle:

1. Si los datos microbiológicos consignados corresponden a dos estaciones de monitoreo la Bocatoma 1 y la Bocatoma 2. Para los datos físico-químicos consignan Agua de la Fuente - Captación ¿En este último caso se trata de una estación de monitoreo diferente o corresponde a una de las Bocatomas?
2. Para cualquiera de los casos del punto anterior, solicita las coordenadas geográficas o UTM y la altitud de ubicación de cada una de las estaciones de monitoreo.
3. Necesita referencia de los métodos de ensayo de laboratorio y las normas de referencia para cada uno de los parámetros evaluados, tanto microbiológicos como fisicoquímicos. Además de las fechas aproximadas en que se tornaron las muestras.
4. Finalmente, solicita la data mensual de las mediciones de caudal en la bocatoma La Atarjea y/o de la estación hidrométrica más próxima a este punto, para el mismo periodo de tiempo: Enero del 2009 a Diciembre del 2015.

Al respecto, debe tenerse en cuenta que, el artículo 10° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, establece que: *"Las entidades de la Administración Pública tienen la obligación de proveer la información requerida si se refiere a la contenida en documentos escritos (.....), o en cualquier otro formato, siempre que haya sido creada u obtenida por ella o que se encuentre en su posesión o bajo su control";* asimismo, el párrafo tercero del artículo 13° de la referida norma, dispone que: *"La solicitud de información no implica la obligación de las entidades de la Administración Pública de crear o producir información con la que no cuente o no tenga obligación de contar al momento de efectuarse el pedido... Esta Ley tampoco permite que los solicitantes exijan a las entidades que efectúen evaluaciones o análisis de la información que posean"* (el resaltado y subrayado es nuestro).

En tal sentido, el Equipo Gestión Integral de Plantas de la Gerencia de Producción y Distribución Primaria, informa lo siguiente:

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEA:  
Autopista Ramiro Prialé 210 - El Agustino - Central Telefónica 317-3000  
Consultas e Informes : **Aguafono 317 8000**

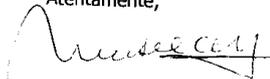
[www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

CENTROS DE SERVICIOS  
Comas: Av. Víctor Andrés Belaúnde Oeste Cuadra 5 - Urb. El Retablo  
Callao: Av. Guardia Chulaca N° 1131  
Breña: Av. Tingo María N° 600 - Cercado  
San Juan de Lurigancho: Av. Próceros de la Independencia N° 3105 - Cerro Grande  
Ate Vitarte: Av. Incales Ayllón N° 2309  
Surquillo: Av. Anagmas Este N° 1450  
Villa el Salvador: Av. Separadora Industrial N° 300 1er. Sector

Requerimiento del Solicitante	Información del Equipo Gestión Integral de Plantas.
1. Si los datos microbiológicos consignados corresponden a dos estaciones de monitoreo la Bocatoma 1 y la Bocatoma 2. Para los datos físico-químicos consignan Agua de la Fuente - Captación ¿En este último caso se trata de una estación de monitoreo diferente o corresponde a una de las Bocatomas?	1. Los datos consignados como captación (Río Rímac), para los análisis físicoquímicos realizados, se han tomado en consideración los valores promedios de la Bocatoma 1 y Bocatoma 2.
2. Para cualquiera de los casos del punto anterior, agradeceré me puedan brindar las coordenadas geográficas o UTM y la altitud de ubicación de cada una de las estaciones de monitoreo.	2. El mencionado Equipo, señala que no cuenta con lo solicitado.
3. Necesita referencia de los métodos de ensayo de laboratorio y las normas de referencia para cada uno de los parámetros evaluados, tanto microbiológicos como físicoquímicos. Además de las fechas aproximadas en que se tornaron las muestras.	3. Los métodos de ensayos se encuentran en el STANDARS METHODS, las fechas aproximadas son de quincena de mes.
4. Finalmente, solicita la data mensual de las mediciones de caudal en la bocatoma La Atarjea y/o de la estación hidrométrica más próxima a este punto, para el mismo periodo de tiempo: Enero del 2009 a Diciembre del 2015.	4. La mencionado Equipo, señala que dicha información debe ser solicitada a la Empresa EDEGEL, por ser los generadores de la misma.

Sin otro particular, me despido de usted,

Atentamente,



Maribel Cieza García  
Funcionaria Responsable de  
la Entrega de Información

fyns

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEA:  
Autopista Ramon Prnalé 210- El Agustino- Central Telefónica 317- 3000  
Consultas e Informes : Aquafono 317 8000

[www.sedapal.com.pe](http://www.sedapal.com.pe)

CENTROS DE SERVICIOS  
Comas: Av. Víctor Andrés Belaúnde Oeste Cuadria 5 - Urb. El Retablo  
Callao: Av. Guardia Chiblica N° 1131  
Barral: Av. Tingo María N° 500 - Cercado  
San Juan de Lurigancho: Av. Próceres de la Independencia N° 3105 - Cerro Grande  
Ate Vitarte: Av. Nicolás Ayllón N° 2309  
Surquillo: Av. Angamos Este N° 1450  
Villa el Salvador: Av. Separadoro Industrial N° 300 Ter. Sector

### Anexo 3: Matriz de datos

Fecha	Caudal m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Temp °C	pH unidad	Turb UNT	CE µS cm <sup>-1</sup>	OD mg l <sup>-1</sup>	SD mg l <sup>-1</sup>	Alcal mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	DT mg l <sup>-1</sup>	CLs mg l <sup>-1</sup>	SO4 mg l <sup>-1</sup>	NO3 mg l <sup>-1</sup>	NO2 mg l <sup>-1</sup>	PO4 mg l <sup>-1</sup>	Cu mg l <sup>-1</sup>	Al mg l <sup>-1</sup>	Fe mg l <sup>-1</sup>	Mn mg l <sup>-1</sup>	Pb mg l <sup>-1</sup>	Cd mg l <sup>-1</sup>	Zn mg l <sup>-1</sup>	As mg l <sup>-1</sup>	CoTo NME/100 ml	CoTe NME/100 ml
Ene'09	38,90	18,65	7,70	47,800	466,75	8,675	408,00	90,50	213,25	13,29	138,0	3,20	0,17	0,24	0,0360	1,7678	1,8370	0,1063	0,0263	0,0017	0,4460	0,0445	190298,1	76752,3
Feb'09	69,00	21,58	7,86	321,990	366,75	9,250	247,00	78,00	163,00	8,95	113,5	2,37	0,06	0,02	0,0255	2,2410	2,8825	0,0990	0,0363	0,0027	0,5618	0,0225	272891,9	151935,6
Mar'09	71,40	19,63	7,93	739,265	379,00	8,575	281,00	82,50	172,50	10,41	101,8	3,79	0,11	0,08	0,0400	1,4885	7,3303	0,2050	0,0358	0,0024	0,2683	0,0275	215381,2	87032,2
Abr'09	46,80	20,88	7,96	90,480	419,00	8,500	225,25	102,75	186,00	12,30	115,3	3,28	0,16	0,19	0,0220	0,7655	0,9923	0,0613	0,0263	0,0006	0,1610	0,0233	297966,8	125866,8
May'09	19,90	18,88	8,11	17,965	575,50	8,800	415,50	126,00	263,00	20,00	156,8	4,61	0,06	0,27	0,0123	0,2453	0,1463	0,0145	0,0113	0,0016	0,1818	0,0225	400187,8	152662,2
Jun'09	18,80	16,53	7,85	11,955	612,00	8,400	531,00	135,25	282,00	20,25	165,5	5,04	0,31	0,27	0,0480	1,1548	3,0760	0,1958	0,0353	0,0028	0,6408	0,0280	444971,9	181777,0
Jul'09	18,30	16,98	8,04	13,530	651,50	8,425	516,25	159,25	293,00	19,87	185,5	6,37	0,18	0,33	0,0110	0,3135	0,3268	0,0360	0,0218	0,0015	0,2028	0,0225	163442,5	45437,7
Ago'09	19,30	15,98	7,98	9,455	632,25	9,175	531,50	139,75	260,00	19,75	180,0	5,80	0,58	0,29	0,0108	0,2968	0,4175	0,0410	0,0063	0,0017	0,1900	0,0163	254793,1	65057,6
Set'09	20,60	16,55	7,89	15,090	576,75	7,950	480,00	141,00	253,00	20,75	152,3	3,65	0,29	0,42	0,0110	0,3318	0,3825	0,0340	0,0218	0,0022	0,1365	0,0205	258298,3	77434,3
Oct'09	20,80	17,95	7,66	11,845	564,25	8,875	395,50	109,25	259,25	18,13	126,5	3,36	0,26	0,31	0,0093	0,5750	0,3180	0,0320	0,0080	0,0012	0,1035	0,0143	330433,7	78771,8
Nov'09	29,50	17,30	7,77	149,965	548,25	8,775	384,00	99,25	239,75	18,85	124,3	4,21	0,23	0,26	0,0183	0,5458	0,7675	0,0578	0,0198	0,0011	0,1760	0,0063	317852,7	106873,5
Dic'09	38,80	17,68	7,95	46,245	510,50	8,725	341,75	96,25	205,00	13,28	107,8	3,56	0,20	0,32	0,0155	0,5533	0,7615	0,0718	0,0193	0,0016	0,2585	0,0193	264849,7	127273,8
Ene'10	53,60	20,23	7,74	132,975	403,75	8,260	216,50	84,00	176,00	9,01	101,8	2,64	0,18	0,14	0,0548	4,4093	6,4945	0,2778	0,0423	0,0026	0,4638	0,0245	423846,2	178453,4
Feb'10	49,70	21,75	7,86	321,990	554,25	8,325	278,50	110,75	223,50	13,41	149,5	2,87	0,12	0,21	0,0455	3,2465	3,3515	0,1108	0,0465	0,0022	0,2615	0,0420	305339,5	137078,2
Mar'10	64,30	22,58	7,93	739,265	412,00	8,425	335,00	82,92	152,25	22,00	79,0	3,12	0,11	0,09	0,0463	28,2815	10,6318	0,2685	0,0510	0,0020	0,2920	0,0905	538200,6	231802,4
Abr'10	42,50	21,75	7,96	90,475	496,50	8,675	309,50	86,00	192,50	11,06	111,8	2,50	0,19	0,17	0,0303	4,9310	3,7628	0,2173	0,0380	0,0021	0,3090	0,1165	379000,0	115451,8
May'10	23,30	19,45	8,11	17,965	700,00	8,000	377,50	132,50	283,50	37,79	125,5	4,89	0,23	0,38	0,0215	0,5305	0,6145	0,0873	0,0175	0,0032	0,3215	0,0290	299836,9	100393,9
Jun'10	17,60	17,18	8,03	19,793	727,25	8,700	474,00	117,25	310,50	29,27	179,5	4,60	0,53	0,38	0,0240	1,1185	0,4668	0,1113	0,0185	0,0022	0,3105	0,0240	278241,1	97686,6
Jul'10	17,10	16,08	7,46	13,530	728,50	8,925	323,00	123,75	312,00	21,75	152,0	3,62	0,25	0,22	0,0223	0,8350	1,3713	0,1328	0,0240	0,0039	0,2535	0,0308	117107,8	62336,4
Ago'10	16,20	16,05	7,98	9,455	687,50	8,900	404,75	106,03	281,60	18,54	151,3	3,38	0,29	0,25	0,0123	0,3248	0,5845	0,0710	0,0165	0,0011	0,1883	0,0240	125172,9	56422,7
Set'10	24,40	17,83	7,89	15,090	598,25	9,430	391,25	96,11	259,38	15,48	132,3	3,14	0,21	0,18	0,0110	0,4990	0,4670	0,0550	0,0380	0,0024	0,1530	0,0230	149061,4	69863,7
Oct'10	24,10	21,33	7,98	12,448	611,00	8,550	400,00	106,40	272,80	16,54	172,3	3,29	0,32	0,43	0,0148	0,4223	0,6178	0,0495	0,0148	0,0009	0,1063	0,0228	380612,3	76933,5
Nov'10	23,10	21,28	7,76	149,965	683,25	8,800	489,00	111,25	270,75	16,20	188,0	4,71	0,23	0,35	0,0068	0,0200	0,2820	0,0415	0,0078	0,0017	0,0770	0,0200	227293,8	100529,8
Dic'10	31,00	20,00	7,95	46,245	500,25	8,850	379,50	79,25	200,50	11,23	189,0	3,37	0,19	0,13	0,0308	0,4258	1,3193	0,1038	0,0195	0,0020	0,2313	0,0205	441081,1	197151,4
Ene'11	40,20	20,70	7,51	69,750	474,25	8,600	307,75	86,25	196,50	14,16	113,8	3,09	0,13	0,15	0,0535	3,0068	3,5398	0,1653	0,0385	0,0036	0,5535	0,0303	314370,7	141499,0
Feb'11	53,50	19,63	7,53	153,130	397,75	9,085	275,50	79,75	169,00	12,49	104,0	2,85	0,09	0,06	0,0503	3,8003	4,7168	0,2430	0,0423	0,0122	0,4395	0,1878	576569,9	243539,2
Mar'11	55,60	20,90	7,44	106,180	422,50	8,775	351,25	82,15	175,30	13,08	103,3	2,14	0,12	0,06	0,0648	3,9805	7,2998	0,2633	0,0680	0,0034	0,6165	0,1130	336620,3	168650,5
Abr'11	58,60	19,48	7,80	140,900	423,50	8,675	270,00	92,00	178,50	12,42	115,5	1,79	0,09	0,08	0,0423	5,8115	8,0025	0,2208	0,0265	0,0022	0,3618	0,0395	118970,9	62722,7
May'11	32,60	18,08	7,92	11,125	639,50	8,950	454,00	120,50	273,75	22,45	181,3	2,88	0,43	0,16	0,0285	0,3308	0,3855	0,1080	0,0203	0,0033	0,3240	0,0240	140449,4	75909,2

...continua Anexo 3.

Fecha	Caudal m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Temp °C	pH unidad	Turb UNT	CE µS cm <sup>-1</sup>	OD mg l <sup>-1</sup>	SD mg l <sup>-1</sup>	Alcal mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	DT mg l <sup>-1</sup>	CLs mg l <sup>-1</sup>	SO4 mg l <sup>-1</sup>	NO3 mg l <sup>-1</sup>	NO2 mg l <sup>-1</sup>	PO4 mg l <sup>-1</sup>	Cu mg l <sup>-1</sup>	Al mg l <sup>-1</sup>	Fe mg l <sup>-1</sup>	Mn mg l <sup>-1</sup>	Pb mg l <sup>-1</sup>	Cd mg l <sup>-1</sup>	Zn mg l <sup>-1</sup>	As mg l <sup>-1</sup>	CoTo NMP/100 ml	CoTe NMP/100 ml
Jun'11	27,40	18,30	7,74	13,085	714,75	9,075	473,00	122,75	291,50	26,53	154,3	3,74	0,47	0,34	0,0263	0,5503	0,5375	0,1210	0,0180	0,0021	0,3070	0,0208	130821,8	68857,8
Jul'11	34,80	16,43	7,71	11,150	644,75	9,125	422,75	108,48	290,00	23,00	154,0	3,88	0,36	0,26	0,0195	0,6175	0,3538	0,0540	0,0058	0,0019	0,1988	0,0260	167000,0	65400,0
Ago'11	24,90	15,83	7,91	28,030	622,75	8,675	421,25	104,00	247,25	15,14	158,0	3,81	0,30	0,39	0,0218	1,2158	1,7438	0,0538	0,0145	0,0016	0,2750	0,0270	303500,0	115500,0
Set'11	23,80	16,33	7,76	16,000	632,50	8,650	438,50	106,00	258,50	17,77	165,5	4,00	0,15	0,39	0,0133	0,5198	0,6083	0,0438	0,0148	0,0021	0,1385	0,0283	262000,0	76350,0
Oct'11	23,80	16,40	7,96	14,450	591,00	8,375	424,50	108,25	244,00	16,33	150,5	3,36	0,32	0,35	0,0135	0,3558	0,3493	0,0373	0,0198	0,0009	0,1238	0,0235	227000,0	85550,0
Nov'11	26,00	17,95	8,01	8,090	632,25	8,675	414,50	109,75	250,25	16,50	134,3	3,34	0,40	0,51	0,0125	0,2850	0,3268	0,0283	0,0110	0,0011	0,1170	0,0230	195000,0	71600,0
Dic'11	32,00	18,90	8,11	10,150	578,50	8,775	415,00	122,25	257,00	21,73	163,8	3,26	0,27	0,38	0,0138	0,3120	0,2463	0,0505	0,0150	0,0006	0,1683	0,0178	230000,0	130000,0
Ene'12	33,90	19,30	7,66	15,190	505,25	8,775	335,75	93,75	225,50	17,07	136,3	3,87	0,30	0,32	0,0285	0,4363	0,4008	0,0463	0,0155	0,0022	0,2095	0,0208	114250,0	48400,0
Feb'12	70,40	21,40	8,04	1172,80	350,25	9,125	234,75	75,30	147,75	9,08	83,0	3,13	0,15	0,12	0,1985	37,9180	36,3895	1,4688	0,3793	0,0108	1,6798	0,5438	137000,0	50950,0
Mar'12	68,70	21,25	7,99	236,00	344,25	8,895	237,50	81,00	144,00	9,94	116,5	3,04	0,07	0,13	0,1880	19,3215	15,0493	0,9113	0,2095	0,0035	1,6845	0,1675	84450,0	40549,5
Abr'12	67,50	20,75	7,97	263,850	342,75	8,825	214,50	83,00	150,00	7,60	93,0	2,09	0,06	0,16	0,0663	8,8375	9,9138	0,2618	0,0575	0,0032	0,5420	0,0763	102900,0	44500,0
May'12	35,80	19,78	7,22	8,260	569,50	8,625	381,50	116,00	253,50	17,99	116,5	2,99	0,36	0,23	0,0280	0,4195	0,4570	0,0700	0,0090	0,0027	0,2520	0,0210	92650,0	42750,0
Jun'12	26,60	19,80	8,10	9,853	653,25	8,575	437,75	119,50	278,00	25,33	165,3	4,15	0,35	0,32	0,0200	0,2330	0,2508	0,0508	0,0308	0,0022	0,2500	0,0200	135500,0	45750,0
Jul'12	26,60	18,43	7,87	7,660	629,25	8,723	473,50	111,00	281,00	21,66	176,5	3,98	0,32	0,40	0,0123	0,2858	0,3638	0,0640	0,0085	0,0015	0,2970	0,0245	91800,0	33550,0
Ago'12	24,90	16,20	8,08	6,160	616,50	8,845	435,50	110,75	272,00	15,61	180,5	4,02	0,33	0,50	0,0143	0,2730	0,2338	0,0383	0,0145	0,0017	0,1983	0,0175	117850,0	38150,0
Set'12	23,77	16,10	8,01	8,600	570,00	8,695	418,50	105,00	216,00	16,55	161,5	4,12	0,32	0,40	0,0158	0,3838	0,4233	0,0385	0,0188	0,0021	0,4841	0,0208	107050,0	36650,0
Oct'12	25,40	21,43	8,14	11,775	582,25	8,785	413,25	102,50	217,25	17,98	137,5	4,25	0,41	0,41	0,0138	0,5878	0,5115	0,0420	0,0095	0,0013	0,1150	0,0213	63400,0	23650,0
Nov'12	36,70	17,63	8,02	18,975	501,50	8,713	365,00	107,50	191,50	23,03	122,0	2,79	0,18	0,27	0,0223	0,8330	1,0075	0,0698	0,0093	0,0008	0,1968	0,0270	138000,0	50000,0
Dic'12	37,60	19,08	7,97	11,320	570,50	8,780	414,25	116,50	233,50	19,05	150,3	3,42	0,27	0,30	0,0135	2,4898	0,3128	0,0313	0,0050	0,0010	0,1248	0,0580	77800,0	34150,0
Ene'13	44,40	19,75	7,78	8,565	468,00	8,650	349,00	98,50	195,00	13,12	167,0	2,62	0,26	0,22	0,0315	0,6785	0,7000	0,0625	0,0085	0,0020	0,2710	0,0270	52700,0	24550,0
Feb'13	71,20	19,30	8,08	48,950	495,00	8,810	317,00	113,00	196,00	16,50	126,0	3,95	0,24	0,36	0,0540	1,9900	4,0310	0,1490	0,0405	0,0032	0,6380	0,0425	110150,0	38750,0
Mar'13	92,40	19,30	7,93	739,265	495,00	8,870	182,00	91,00	124,00	16,00	94,0	1,99	0,04	0,10	0,0320	15,2850	32,2350	0,2465	0,0905	0,0051	0,2985	0,1300	99200,0	36200,0
Abr'13	41,20	20,35	8,19	84,050	441,00	8,750	360,00	123,50	143,50	16,50	145,0	3,11	0,09	0,36	0,0170	3,7000	6,9100	0,2465	0,1885	0,0025	0,2985	0,2235	81750,0	24400,0
May'13	21,90	19,10	8,27	11,350	596,50	8,550	428,00	153,00	254,00	23,50	180,5	4,17	0,14	0,21	0,0570	0,4785	0,5405	0,3655	0,0250	0,0031	1,4905	0,0225	75650,0	27000,0
Jun'13	24,30	16,80	8,23	11,165	616,00	8,575	435,00	110,50	277,00	31,50	126,5	2,40	0,18	0,21	0,0115	0,2600	0,4550	0,0335	0,0090	0,0023	0,1585	0,0205	97200,0	30600,0
Jul'13	23,90	17,70	8,36	5,810	585,50	10,475	384,50	113,70	229,00	14,10	166,3	3,73	0,16	0,51	0,0100	0,4140	0,3225	0,0435	0,0050	0,0035	0,2480	0,0120	52850,0	16150,0
Ago'13	23,10	16,70	8,05	17,400	587,50	8,650	397,00	123,00	267,50	36,00	192,0	4,31	0,19	0,62	0,0200	0,9035	0,7690	0,0455	0,0090	0,0006	0,2260	0,0075	49000,0	25750,0
Set'13	23,30	17,85	8,04	3,035	573,50	8,900	428,00	101,00	243,00	36,50	142,5	4,53	0,05	0,58	0,0105	0,2405	0,3885	0,0205	0,0220	0,0014	0,1420	0,0245	48650,0	15950,0
Oct'13	23,90	18,80	8,47	5,915	594,00	8,700	376,00	114,00	251,00	25,00	204,5	2,88	0,08	0,37	0,0120	0,3940	0,2650	0,0285	0,0125	0,0011	0,1375	0,0245	53350,0	22250,0
Nov'13	25,20	17,55	7,91	22,100	536,00	7,445	365,00	98,35	253,00	13,34	203,3	3,55	0,06	0,47	0,0145	1,2850	1,5910	0,0285	0,0060	0,0023	0,1265	0,0250	48750,0	17900,0
Dic'13	30,30	18,90	8,10	17,650	521,00	8,560	395,00	97,80	256,00	13,89	155,3	3,59	0,13	0,27	0,0350	0,6560	0,9270	0,0500	0,0225	0,0014	0,1545	0,0240	75200,0	25800,0

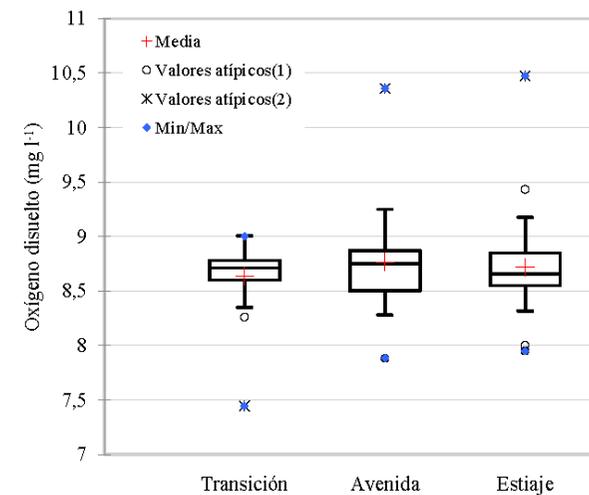
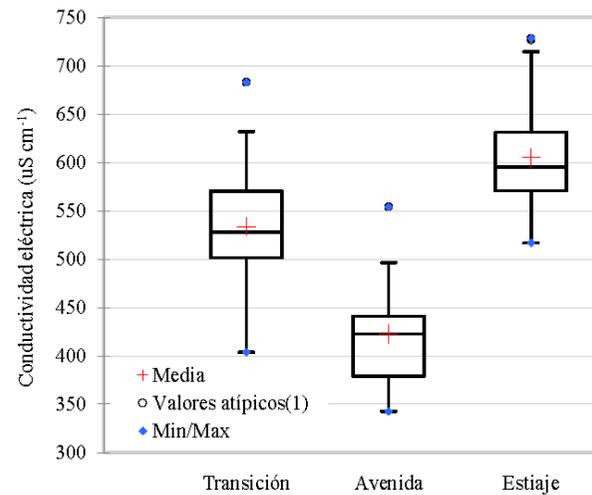
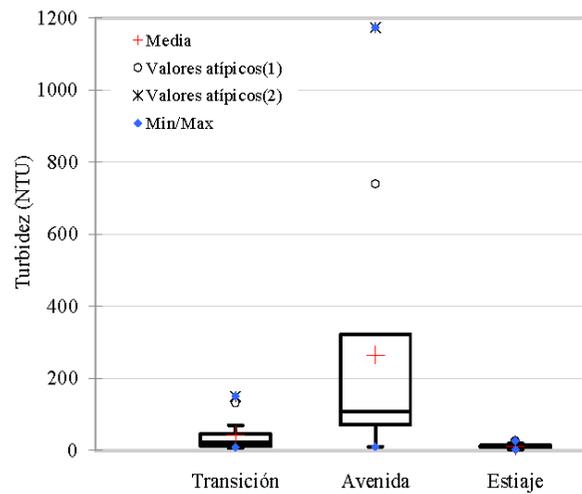
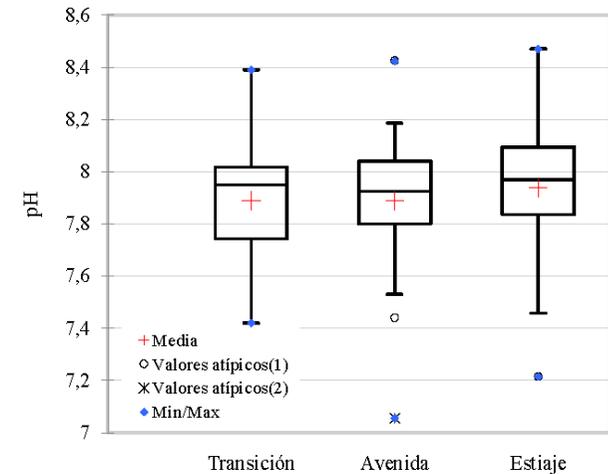
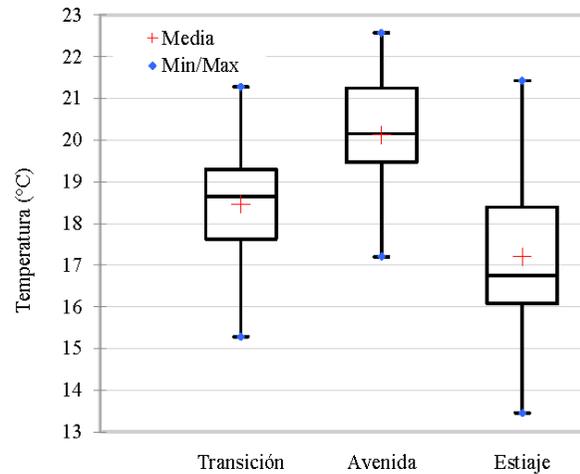
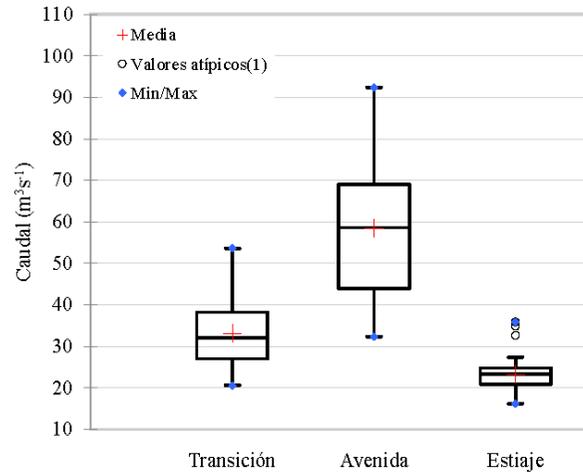
...continua Anexo 3.

Fecha	Caudal m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Temp °C	pH unidad	Turb UNT	CE µS cm <sup>-1</sup>	OD mg l <sup>-1</sup>	SD mg l <sup>-1</sup>	Alcal mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	DT mg l <sup>-1</sup>	CLs mg l <sup>-1</sup>	SO4 mg l <sup>-1</sup>	NO3 mg l <sup>-1</sup>	NO2 mg l <sup>-1</sup>	PO4 mg l <sup>-1</sup>	Cu mg l <sup>-1</sup>	Al mg l <sup>-1</sup>	Fe mg l <sup>-1</sup>	Mn mg l <sup>-1</sup>	Pb mg l <sup>-1</sup>	Cd mg l <sup>-1</sup>	Zn mg l <sup>-1</sup>	As mg l <sup>-1</sup>	CoTo NMP/100 ml	CoTe NMP/100 ml
Ene'14	35,00	<b>16,44</b>	8,39	30,700	510,00	9,005	353,00	100,50	224,00	14,76	151,5	2,78	0,16	<b>0,14</b>	0,0305	1,2350	1,5490	0,0860	0,0235	0,0011	0,3160	0,0360	49753,4	19571,9
Feb'14	38,30	<b>17,28</b>	8,43	51,700	487,50	8,475	452,00	93,99	239,36	15,02	126,5	2,57	0,14	<b>0,10</b>	0,0295	0,2635	0,3775	0,0425	<b>0,0025</b>	0,0012	0,3480	0,0205	227558,7	12323,3
Mar'14	84,82	<b>17,28</b>	8,19	108,800	374,00	10,360	255,50	69,87	178,65	9,14	90,5	2,06	0,03	<b>0,07</b>	0,0590	6,2540	3,9140	0,1940	0,0375	0,0009	0,6170	0,0425	60605,9	24821,1
Abr'14	32,30	<b>17,20</b>	8,18	10,650	439,50	7,880	294,50	80,14	207,53	11,75	113,3	2,24	0,06	<b>0,13</b>	0,0460	0,8245	0,8640	0,1000	0,0415	0,0007	0,3650	0,0145	216432,7	14517,1
May'14	25,20	<b>15,88</b>	8,11	8,435	558,00	8,315	374,00	87,02	238,50	14,83	130,4	2,66	0,13	<b>0,16</b>	0,0310	0,4965	0,4150	0,0600	0,0150	0,0017	0,3230	0,0310	74821,0	31004,0
Jun'14	24,20	<b>14,77</b>	7,97	6,530	625,00	8,660	418,50	117,39	282,02	19,57	162,8	3,50	0,11	<b>0,20</b>	0,0365	0,2570	0,1690	0,0315	0,0215	0,0035	0,2900	0,0310	61485,9	17462,3
Jul'14	21,10	<b>14,27</b>	7,86	21,100	555,00	8,850	462,50	119,44	282,00	15,52	159,8	3,25	0,21	<b>0,23</b>	0,0570	0,8695	1,0690	0,1055	0,0210	0,0019	0,4050	0,0235	86360,2	24318,9
Ago'14	20,80	<b>13,46</b>	7,61	4,585	547,00	8,650	366,50	101,00	253,27	16,18	119,0	1,61	0,22	<b>0,27</b>	0,0705	0,4710	0,9950	0,1140	0,0275	0,0034	0,5755	0,0225	99178,5	31748,6
Set'14	21,67	<b>14,11</b>	7,79	15,750	517,00	8,750	346,50	110,00	243,00	13,47	133,0	2,08	0,14	<b>0,27</b>	0,0975	0,4285	0,4170	0,0515	0,0240	0,0011	0,1790	0,0230	77160,5	18618,6
Oct'14	22,10	<b>15,98</b>	7,83	9,650	526,00	8,615	352,00	100,24	242,89	13,54	109,1	1,99	0,14	<b>0,25</b>	0,0693	0,1977	0,1761	0,0377	0,0089	0,0018	0,3074	0,0157	62545,8	21480,1
Nov'14	25,30	<b>15,28</b>	8,01	12,250	574,50	8,620	385,00	106,55	218,64	15,21	163,4	2,35	0,16	<b>0,24</b>	0,0285	0,4053	0,6503	0,0834	0,0202	0,0018	0,2173	0,0258	65423,3	27549,4
Dic'14	27,00	<b>15,76</b>	7,63	23,550	528,00	8,870	353,50	105,49	232,91	11,33	128,6	1,66	0,06	<b>0,18</b>	0,0286	0,3264	0,4954	0,0655	0,0065	0,0015	0,2889	0,0194	87690,4	26486,7
Ene'15	38,20	<b>19,18</b>	7,42	25,200	586,00	8,900	395,00	115,89	249,72	18,47	162,2	2,70	0,22	<b>0,17</b>	0,0430	0,4125	0,7130	0,0840	0,0126	0,0024	0,3475	0,0225	104983,5	31055,3
Feb'15	40,20	<b>20,15</b>	7,06	42,650	428,50	8,820	351,00	86,20	185,43	13,96	113,0	1,72	0,09	<b>0,13</b>	0,0510	0,9885	1,4180	0,1530	0,0180	0,0022	0,3470	0,0195	99585,4	32746,9
Mar'15	66,00	<b>20,15</b>	7,80	72,800	387,00	8,700	304,00	81,67	205,23	9,18	97,7	1,64	0,09	<b>0,09</b>	0,1090	1,6305	3,1300	0,3030	0,0576	0,0035	0,7085	0,0465	121787,2	43222,6
Abr'15	44,00	<b>20,07</b>	7,60	22,300	422,50	8,280	317,50	71,64	174,06	11,82	108,7	1,87	0,09	<b>0,15</b>	0,0410	0,6395	0,8495	0,1000	0,0123	0,0024	0,3645	0,0210	27745,2	19211,5
May'15	25,20	<b>18,53</b>	8,17	12,055	526,00	8,620	227,00	107,85	217,52	16,13	136,0	1,45	0,10	<b>0,19</b>	0,0330	0,3525	0,4790	0,0745	0,0082	0,0024	0,3810	0,0195	38495,0	16894,8
Jun'15	22,80	<b>17,23</b>	7,52	5,585	620,50	8,500	509,00	120,82	268,12	21,49	172,6	2,06	0,16	<b>0,23</b>	0,0235	0,1430	0,2530	0,0820	0,0103	0,0023	0,3050	0,0160	58553,7	20792,7
Jul'15	22,70	<b>16,64</b>	7,64	4,900	574,50	8,500	471,00	112,35	227,06	15,74	158,4	1,98	0,16	<b>0,26</b>	0,0235	0,1560	0,2535	0,0820	0,0068	0,0019	0,3030	0,0145	87300,0	29500,0
Ago'15	23,00	<b>15,70</b>	7,91	15,800	542,50	8,450	470,00	108,60	238,90	13,80	151,7	2,16	0,06	<b>0,31</b>	0,0285	0,3360	0,5525	0,0855	0,0143	0,0014	0,3085	0,0170	79200,0	25400,0
Set'15	22,00	<b>16,46</b>	8,04	11,700	584,00	8,550	480,00	111,13	219,40	18,63	168,1	3,72	0,13	<b>0,29</b>	0,0335	0,4540	0,0865	0,0990	0,0149	0,0017	0,2625	0,0165	114850,0	37650,0
Oct'15	16,60	<b>18,65</b>	8,15	9,780	562,00	8,550	480,50	110,50	237,59	16,85	156,2	4,54	0,16	<b>0,28</b>	0,0282	0,3585	0,5510	0,0895	0,0115	0,0014	0,3033	0,0185	98297,5	38342,3
Nov'15	20,60	<b>17,83</b>	8,19	9,635	542,50	8,570	365,00	106,26	179,03	15,15	122,6	2,90	0,17	<b>0,27</b>	0,0199	0,2660	0,4325	0,0629	0,0082	0,0012	0,2057	0,0145	89356,9	29040,5
Dic'15	29,00	<b>18,38</b>	8,13	45,350	569,00	8,350	312,00	110,71	279,27	16,93	151,8	2,28	0,20	<b>0,22</b>	0,0423	0,8460	1,4930	0,1446	0,0246	0,0019	0,4885	0,0215	167285,4	57364,5

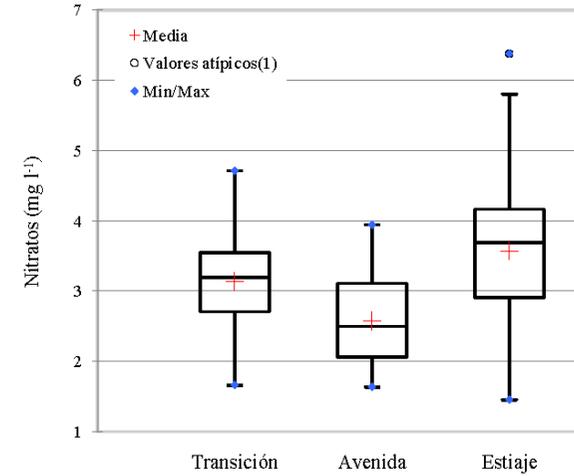
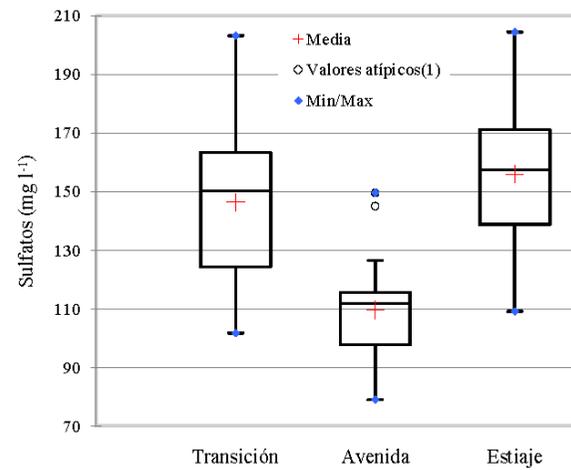
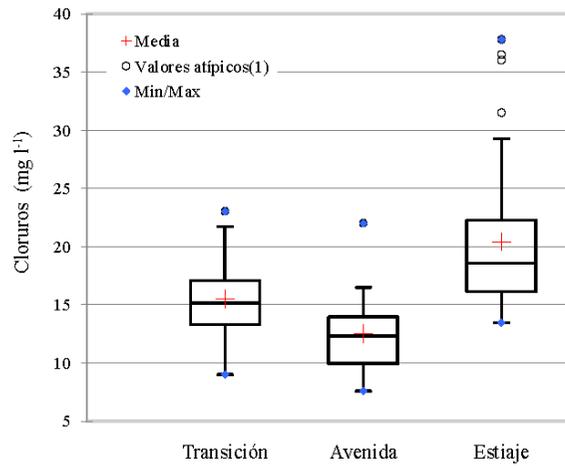
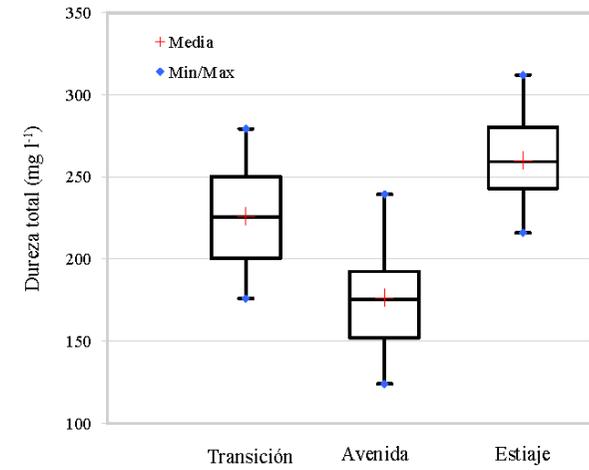
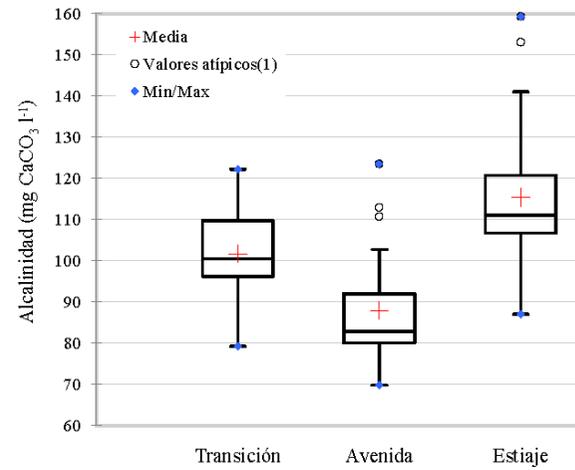
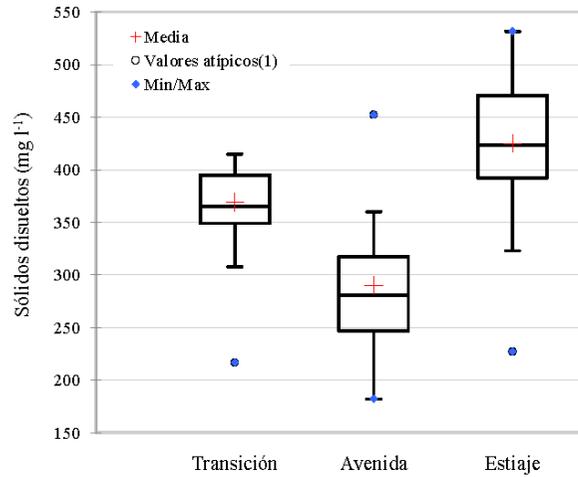
\*Los números o valores resaltados indican que son valores que ha sido completados:

- En el parámetro *temperatura* se completó las dos series finales faltantes con las medias mensuales de las series anteriores.
- En el parámetro *fosfatos*, los datos faltantes de las dos últimas series fueron imputados con el método del “vecino más próximo”.
- En el parámetro *plomo*, el valor “por debajo del límite de detección” (<LD), fue remplazado por su valor medio: LD/2.

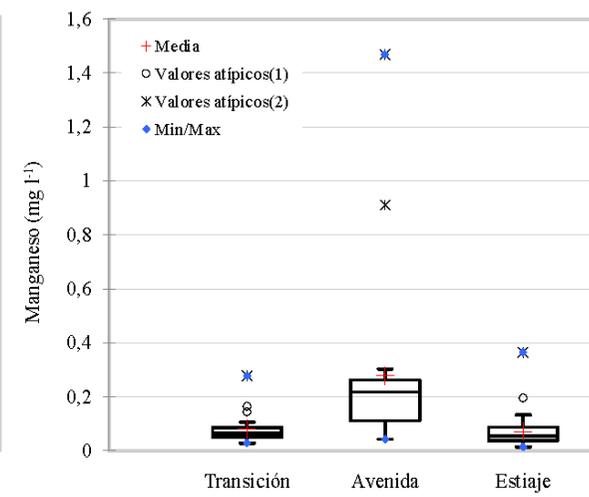
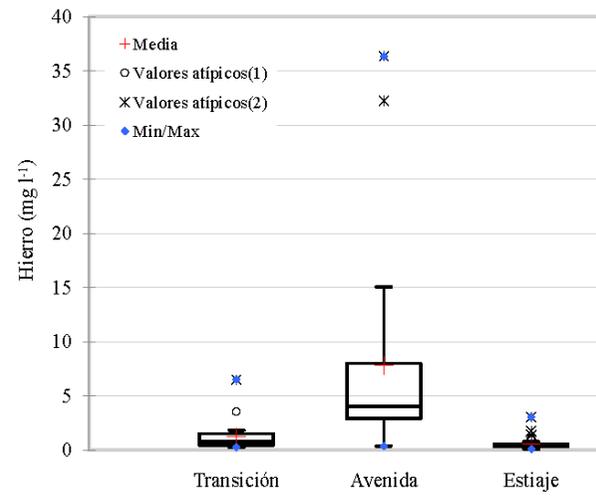
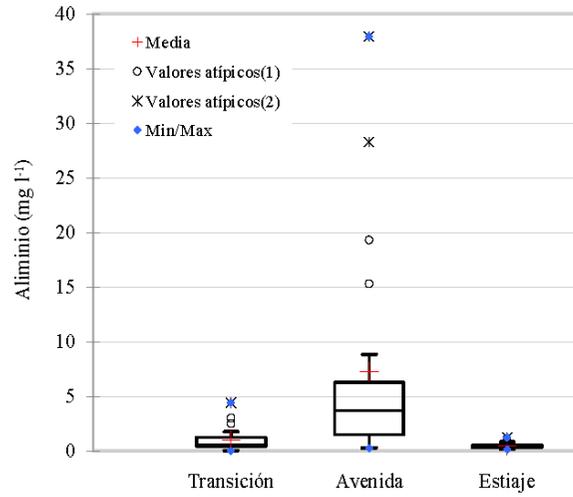
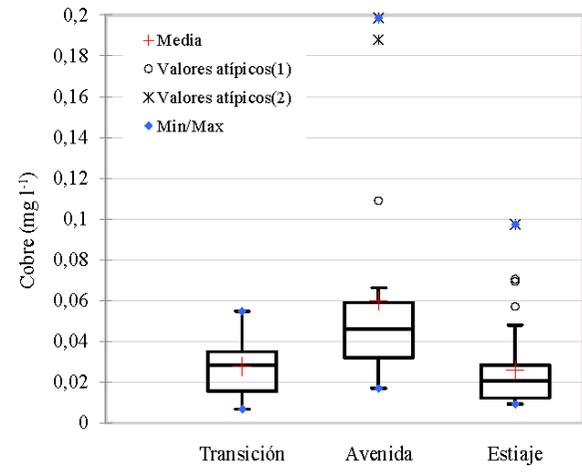
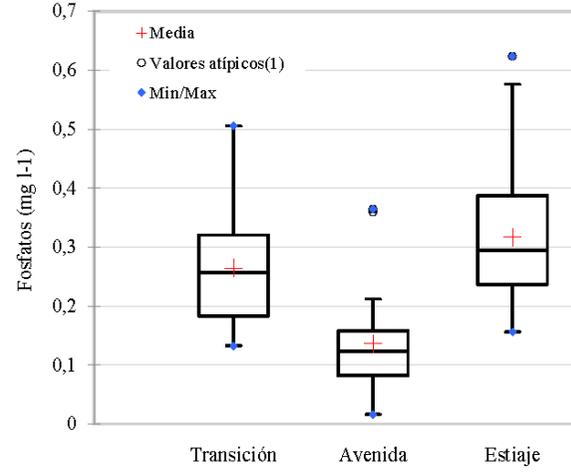
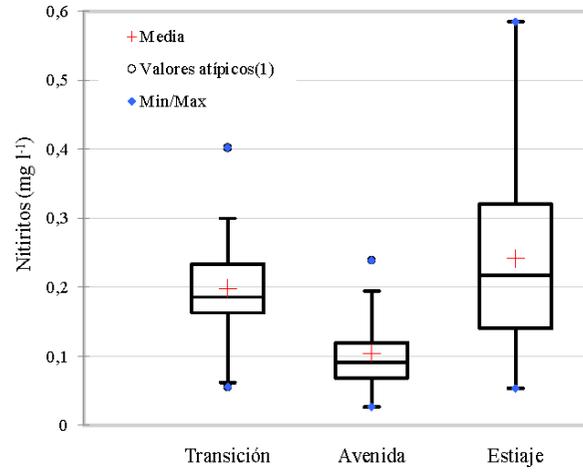
### Anexo 4: Gráficos de caja (Box plot) univariantes por época



...continúa ANEXO 4



...continúa ANEXO 4



...continúa ANEXO 4

