

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



## **MAESTRÍA EN CIENCIAS**

### **MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

## **TESIS**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO MASHCÓN Y SAN LUCAS, Y DEL EFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA CON FINES DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, MARZO – AGOSTO DEL 2007”**

Para optar el Grado Académico de

### **MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

**JUAN CARLOS ESCALANTE ROJAS**

Asesor:

**MSc. DAVID RICARDO URIOL VALVERDE**

Cajamarca, Perú

2018

COPYRIGHT © 2018 by  
**JUAN CARLOS ESCALANTE ROJAS**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



## **MAESTRÍA EN CIENCIAS**

### **MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

#### **TESIS APROBADA**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO MASHCÓN Y SAN LUCAS, Y DEL EFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA CON FINES DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, MARZO – AGOSTO DEL 2007”**

**Para optar el Grado Académico de**

#### **MAESTRO EN CIENCIAS**

**Presentada por:**

**JUAN CARLOS ESCALANTE ROJAS**

#### **Comité Científico**

M.Sc. David Ricardo Uriol Valverde  
Asesor

Dr. Valentín Paredes Oliva  
Miembro del Jurado Evaluador

Dr. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz  
Miembro del Jurado Evaluador

MSc. David Milton Lara Ascorbe  
Miembro del Jurado Evaluador

Cajamarca, Perú

2018



# Universidad Nacional de Cajamarca

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

## Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERÚ

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PÚBLICA

Siendo las 4:00 de la tarde del día 02 de marzo de 2018, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, los miembros del Comité Científico presidido por el **Dr. VALENTIN PAREDES OLIVA**, como Jurado Evaluador, **M.Cs. RICARDO URIOL VALVERDE**, en calidad de Asesor, **Dr. GUILLERMO CHÁVEZ SANTA CRUZ**, **M.Cs. DAVID LARA ASCORBE** como integrantes del Jurado Evaluador; actuando de conformidad con el Reglamento de la Escuela de Posgrado, se dio inicio a la **SUSTENTACIÓN PÚBLICA** de la tesis titulada "**CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO MASHCÓN Y SAN LUCAS, Y DEL AFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA CON FINES DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, MARZO-AGOSTO DEL 2007**", presentada por el alumno **JUAN CARLOS ESCALANTE ROJAS**, con la finalidad de optar el Grado Académico de **MAESTRO EN CIENCIAS**, en la Unidad de Posgrado de la Facultad de **CIENCIAS AGRARIAS**, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Comité Científico, y luego de la deliberación, se acordó... APROBAR... la mencionada Tesis con la calificación de ..DIECISIETE (17) - EXCELENTE...; en tal virtud el alumno **JUAN CARLOS ESCALANTE ROJAS**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, en la Unidad de Posgrado de la Facultad de **CIENCIAS AGRARIAS**, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 17:10 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

Dr. Valentín Paredes Oliva  
Miembro de Jurado Evaluador

M.Cs. Ricardo Uriol Valverde  
Asesor

Dr. Guillermo Chávez Santa Cruz  
Miembro de Jurado Evaluador

M.Cs. David Lara Ascorbe  
Miembro de Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A mí familia por su apoyo incondicional, ardua espera y tenaz paciencia, sin cuya ayuda moral, fraternal e intelectual, no habría sido posible lograr esta meta:  
Teresa Isabel Arribasplata Padilla, Juan Carlos Sebastián Escalante Arribasplata y  
Renzo Daniel Escalante Arribasplata.

A mis amados Padres: Juan del Carmen Escalante Ahumada y Elizabeth Rojas  
Lezama.

A la memoria de mis amados abuelitos: Carlos Rojas Chacón, Corina Lezama Valera,  
Cesáreo Escalante Moncada y Emma Ahumada Q.D.D.G. y E.P.D.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Todopoderoso por darme el regalo de la vida y una hermosa familia.

Al Ing. M. Sc. David Uriol Velarde, Dr. David Lara Ascorbe, M.Sc. Luis Chuquilín por su asesoramiento, apoyo, dedicación y acertadas recomendaciones.

Al Ing. Carlos Sánchez Alegre y Luis Carlos González de Orbegoso de Minera Yanacocha S.R.L. que colaboraron en este proyecto.

A mis suegros Meliano Arribasplata y Teresa Padilla, cuñados, sobrinos y a todas las personas que colaboraron para concluir el presente trabajo de tesis.

Dos cosas son infinitas: la estupidez humana y el universo; y no  
estoy seguro de lo segundo.

**Albert Einstein**

## TABLA DE CONTENIDOS

Ítems	Página
TABLA DE CONTENIDOS	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
GLOSARIO	xiii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. PLAN DE INVESTIGACIÓN	5
2.1. Problema de investigación	5
2.2. Formulación del problema	6
2.3. Objetivos	6
2.4. Justificación	7
CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA	9
3.1. Marco legal	9
3.2. Marco Referencial	24
3.3. Marco doctrinal	37
3.4. Marco conceptual	50
CAPÍTULO IV. MATERIAL Y MÉTODOS	93
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	103
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
LISTA DE REFERENCIAS	163
APÉNDICES/ANEXOS	173

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ítems</b>	<b>Página</b>
<b>Figuras</b>	
1. Croquis de ubicación y coordenadas UTM de los puntos de muestreo	97
2. Variación de la temperatura	103
3. Variación de pH	106
4. Variación de la DBO <sub>5</sub>	110
5. Variación de la DQO	113
6. Variación de los sólidos disueltos totales	116
7. Variación de los sólidos en suspensión totales	118
8. Variación de los caudales	120
9. Variación de la concentración del aluminio	122
10. Variación de la concentración del arsénico	125
11. Variación de la concentración del cadmio	128
12. Variación de la concentración del cromo	131
13. Variación de la concentración del hierro	134
14. Variación de la concentración del plomo	137
15. Variación de la concentración del manganeso	140
16. Variación de la concentración del mercurio	143
17. Variación de la concentración de alcalinidad	146
18. Variación de la concentración de nitratos	148
19. Variación de la dureza	151
20. Variación de la concentración de coliformes fecales (termotolerantes)	153
21. Variación de la concentración de coliformes totales	157

## **Tablas**

1. Coordenadas UTM de cada punto de muestreo	96
2. Estándar nacional de calidad ambiental para agua, categoría 3	99
3. Método para determinar los parámetros fisicoquímicos y biológicos	100
4. Temperatura	103
5. pH	106
6. Contenido de DBO <sub>5</sub>	110
7. Contenido de DQO	113
8. Contenido de sólidos totales disueltos	116
9. Contenido de sólidos totales en suspensión	118
10. Caudales	120
11. Concentración de aluminio	122
12. Concentración de arsénico	125
13. Concentración de cadmio	128
14. Concentración de cromo	131
15. Concentración de hierro	134
16. Concentración de plomo	137
17. Concentración de manganeso	140
18. Concentración de mercurio	143
19. Concentración de alcalinidad	146
20. Concentración de nitratos	148
21. Concentración de dureza	151
22. Contenido de coliformes fecales (termotolerantes)	153
23. Contenido de los coliformes totales	157

## LISTA DE ABREVIATURAS

A:	Área
AAS:	Método espectrométrico de absorción atómica
CEPIS:	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
D.S.:	Decreto Supremo
DBO <sub>5</sub> :	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO:	Demanda química de oxígeno
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
Eh:	Potencial redox
EPA:	Environmental Protection Agency
EPER-España:	Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEMS:	Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente
ICP-MS:	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente
MINAM:	Ministerio del Ambiente
MUG22:	Nutriente indicador
NEQS:	Estándares de calidad ambiental de Pakistán
NMP:	Número más probable
NTU:	Unidades nefelométricas de turbiedad
OD:	Oxígeno disuelto en el agua
OMS:	Organización Mundial de la Salud
ONPG21:	Nutriente indicador
P1RM:	Punto 1 Río Mashcón
P2RM:	Punto 2 Río Mashcón

P3RM:	Punto 3 Río Mashcón
P4RSL:	Punto 4 Río San Lucas
P5ELE:	Efluente de las lagunas de estabilización
pH:	Potencial de hidrogeno
Q:	Caudal
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SS:	Solidos sedimentables
SST:	Sólidos en suspensión totales
UC:	Unidades de color
UFC:	Unidades formadoras de colonias
V:	Velocidad

## GLOSARIO

**Acidez.** Contenido de iones de hidrógeno de una solución, que se expresa con un valor en la escala pH.

**Aerobio.** Proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en presencia de oxígeno.

**Afluente.** Arroyo o río secundario que desemboca o desagua en otro río principal.

**Agua ácida.** Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0.

**Agua contaminada.** La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

**Agua superficial.** Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

**Agua tratada.** Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano.

**Agua.** Es el compuesto más abundante en la tierra, forma las 4/5 partes de la superficie terrestre, constituyendo la hidrosfera.

**Aguas residuales brutas.** Aguas residuales sin tratar y sus contenidos.

**Aguas residuales municipales.** Residuos líquidos, originados por una comunidad. Posiblemente han sido formados por aguas residuales domésticas o descargas industriales.

**Aguas residuales.** Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

**Alcalinidad.** Capacidad de una sustancia química en solución acuosa para ceder iones OH. La alcalinidad de un agua se expresa en equivalentes de base por litro o en equivalente de carbonato cálcico.

**Altoandino.** Piso altitudinal de los andes, entre los 4 000 y 5 000 m.s.n.m.

**Calidad del agua.** Según su uso se define, en función de un conjunto de características fisicoquímicas o variables, así como de sus valores de aceptación o de rechazo: son los indicadores de la calidad del agua. Aquellas aguas que cumplan con los estándares preestablecidos para el conjunto de variables o características consideradas serán aptas para la finalidad a la que se las destina.

**Caudal.** Se define como el volumen de agua que pasa por la sección transversal del cauce por unidad de tiempo, y se expresa en m<sup>3</sup>/s o L/s. (Vera 2001)

**Coliformes fecales.** Grupo bacteriano presentes en los intestinos de los mamíferos y los suelos, que representan una indicación de la contaminación fecal del agua. Son fáciles de identificar y contar en laboratorio por su capacidad de fermentar la lactosa.

**Coliformes termotolerantes.** Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior.

**Conductividad del agua.** Capacidad del agua líquida para transportar una carga eléctrica la cual está directamente relacionada con la concentración de iones.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de un agua residual.** Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica. Generalmente es mayor que el valor de la DBO<sub>5</sub>, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica, ante la

presencia de un oxidante fuerte como los dicromatos. La fijación química se debe al oxígeno consumido por los cuerpos reductores sin intervención de organismos vivos, esto es común en los efluentes industriales. Es una característica cuantificable del grado de contaminación del agua por la presencia de sustancias orgánicas mensurando la cantidad de oxígeno necesario para su oxidación. El dicromato de potasio es generalmente utilizado como agente oxidante. La DQO generalmente produce valores superiores a la DBO y a veces considera sustancias que no son biodegradables.

**Demanda bioquímica de oxígeno.** Cantidad de oxígeno disuelto necesaria para que los degradadores aeróbicos descompongan por oxidación los materiales orgánicos en un volumen dado de agua, a cierta temperatura y a lo largo de un intervalo de tiempo determinado. Es proporcional a la cantidad de materia orgánica biodegradable que fue introducida en el agua.

**Demanda química de oxígeno (DQO) de un agua residual.** Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica. Generalmente es mayor que el valor de la DBO<sub>5</sub>, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica, ante la presencia de un oxidante fuerte como los dicromatos. La fijación química se debe al oxígeno consumido por los cuerpos reductores sin intervención de organismos vivos, esto es común en los efluentes industriales. Es una característica cuantificable del grado de contaminación del agua por la presencia de sustancias orgánicas mensurando la cantidad de oxígeno necesario para su oxidación. El dicromato de potasio es generalmente utilizado como agente oxidante. La DQO generalmente produce valores superiores a la DBO y a veces considera sustancias que no son biodegradables.

**Demanda química de oxígeno.** Cantidad de oxígeno necesario para oxidar por completo todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua.

**Diversidad biológica o biodiversidad.** Término general para designar la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres, marítimos, otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos, de los que forma parte. La Biodiversidad es función del tiempo y el espacio.

**Dureza del agua.** Presencia en disolución, de sales de calcio y magnesio en el agua (algunas veces se incluye los elementos hierro y manganeso). Las aguas duras producen incrustaciones y reducen la efectividad de los detergentes, mientras que las aguas blandas son ácidas y corrosivas. En el pasado, la dureza se refería al poder del agua para consumir jabón.

**Ecosistema.** Es un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y microorganismos que interactúan entre sí y con los componentes no vivos de su ambiente como una unidad funcional en un área determinada.

**Efluentes.** Sustancias líquidas, gaseosas o volátiles que se desprenden o son vertidas como producto de la actividad de transformación o de producción. Descarga de contaminantes al ambiente con o sin tratamiento.

**Estándar de calidad ambiental.** Según 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.

**Laguna de estabilización.** Un depósito para el tratamiento de aguas que acelera la descomposición biológica de la materia orgánica estimulando el crecimiento y la actividad de las bacterias, que son responsables de la degradación.

**Límite máximo permisible.** Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua.

**Medio ambiente.** Conjunto de condiciones fisicoquímicas y biológicas que necesitan los organismos, incluido el ser humano, para vivir. Entre estas condiciones hay que tener en cuenta la temperatura, la cantidad de oxígeno de la atmósfera, la existencia o ausencia de agua, la disponibilidad de alimentos, la presencia de especies competidoras, etc.

**Metales pesados.** Los elementos metálicos, como mercurio, plomo, níquel, cinc, y cadmio con elevados pesos moleculares y potencialmente tóxicos para el ambiente y humano porque ellos no degradan con el tiempo, aun a muy bajas concentraciones. Aunque muchos son nutrientes necesarios, ellos a veces se magnifican en la cadena alimenticia y en concentraciones altas puede ser tóxico a la vida.

**Oxígeno disuelto.** Oxígeno molecular incorporado al agua en fase líquida. La solubilidad del oxígeno en agua depende, además de su presión parcial, de la temperatura. La concentración de oxígeno disuelto en las aguas naturales es crucial para los animales acuáticos que lo utilizan en la respiración.

**Parámetros inorgánicos.** Son los compuestos formados por distintos elementos pero que no poseen enlaces carbono-hidrógeno analizado en el agua de consumo humano.

**Parámetros microbiológicos.** Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano analizados en el agua de consumo humano.

**Parámetros organolépticos.** Son los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial.

**Sólidos disueltos.** Materiales sólidos que se disuelven totalmente en agua y pueden ser eliminados por filtración.

**Sólidos sedimentables.** Partículas gruesas que se encuentran en un volumen determinado de líquido que se depositarán por gravedad.

**Sólidos suspendidos.** Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

**Sólidos disueltos totales.** Es una medida grosera de la concentración total de sales inorgánicas en el agua e indica salinidad. Para muchos fines, la concentración de SDT constituye una limitación importante en el uso del agua. En inglés: TOTAL DISSOLVED SOLIDS o TDS.

**Sólidos en suspensión totales.** Cantidad de partículas flotantes o suspendidas en la columna de agua que pueden ser separadas del líquido por medio de medios físicos como la filtración.

**Sólidos totales.** Grupo de partículas que incluye a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en agua.

**Turbiedad.** Modificación de la transparencia del agua debido a la presencia de material coloidal y suspendido, confiriéndole un aspecto nublado al agua. Se determina por la medida del grado de dispersión de un rayo de luz que pasa a través del agua.

## RESUMEN

La presente tesis realiza la caracterización y evaluación de los cuerpos de agua corriente de los ríos Mashcón, San Lucas y el efluente de las Lagunas de Estabilización de la ciudad de Cajamarca; con fines de evaluación ambiental mediante comparaciones con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3: bebidas de animales y riego de vegetales de tallo alto y bajo, de acuerdo al actual Decreto Supremo 015-2015-MINAM. Los valores analizados sugieren de manera general, que en todos los puntos de evaluación las concentraciones de los parámetros evaluados están por debajo del estándar nacional de comparación adoptado para este estudio, hallándose valores poco significativos a excepción de los parámetros físico-químicos como: manganeso (0,22 mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (102,32 mg/L), demanda química de oxígeno (204,09 mg/L) y los parámetros microbiológicos como: coliformes totales (5 654 293,2 NMP/100 mg/L) y coliformes fecales termotolerantes (5 539 983,4 NMP/100 mg/L); que no cumplen con lo establecido en el actual Estándar de Calidad Ambiental para Agua categoría 3, siendo indicadores de contaminación orgánica y biológica principalmente.

**Palabras clave:** Ríos andinos, caracterización fisicoquímica, contaminación ambiental.

## ABSTRACT

This thesis characterizes and evaluates the bodies of running water of the rivers Mashcón, San Lucas and the effluent of the Stabilization Lagoons of the city of Cajamarca; for purposes of environmental assessment through comparisons with the Environmental Quality Standards for Water, category 3: water drunk by animals and irrigation of vegetables of high and low stalk, according to the current Supreme Decree 015-2015-MINAM. The analyzed values generally suggest that in all the evaluation points, the concentrations of the parameters evaluated are below the national standard of comparison adopted for this study, finding insignificant values with the exception of the physical-chemical parameters such as: manganese (0,22 mg/L), biochemical oxygen demand (102,32 mg/L), chemical oxygen demand (204,09 mg/L) and microbiological parameters such as: total coliforms (5 654 293,2 NMP/100 mg/L) and thermotolerant fecal coliforms (5 539 983,4 NMP/100 mg/L); which do not comply with the current Environmental Quality Standard for Water category 3, being indicators of organic and biological pollution mainly.

**Keywords:** Andean rivers, physicochemical characterization, environmental pollution.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente a nivel mundial existe un creciente interés en preservar los ecosistemas fluviales. Pese a ello, en Latinoamérica se presenta una constante degradación de estos ecosistemas por el aumento de la explotación del recurso y la contaminación de las aguas (Pringle et al. 2000).

De estos ecosistemas existentes, las formaciones altoandinas han motivado recientemente un creciente interés. Según Jacobsen (2008), los sistemas fluviales alto andinos tropicales presentan características que los diferencian fácilmente de los sistemas de llanura tropical: temperaturas medias bajas (10 °C), normalmente con una fuerte amplitud térmica diaria de hasta 20 °C; baja presión atmosférica que indicaría también una baja disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua; elevadas gradientes altitudinales con una topografía muy compleja; cobertura vegetal de ribera normalmente escasa, representada por formaciones de herbáceas de páramo, puna y bosques relictos.

Con respecto a los ecosistemas fluviales, si bien los estudios que se han realizado para caracterizar los ríos andinos son escasos (Domínguez-Granda et al. 2005, Segnini y Chacón 2005), los datos publicados indican que los ríos altoandinos son muy variables y muestran fluctuaciones importantes en sus características físicas y químicas (por ejemplo, caudal, temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad) (González et al. 2004, Jacobsen 2004, Jacobsen y Brodersen 2008). La variabilidad natural puede estar adicionalmente modificada por la actividad humana que afecta

en mayor medida al pH, conductividad, oxígeno disuelto, concentración de fosfatos, nitritos, nitratos, amonio y metales pesados, así como a las características hidromorfológicas de los ríos (Maddock 1999, Buytaert et al. 2006, Acosta 2009, Acosta et al. 2009, Prat et al. 2009), siendo más frecuentes las actividades de la reducción de vegetación en la cuenca y en la ribera, los aportes de materia orgánica de origen doméstico, la explotación agrícola y ganadera, y la explotación minera (Carrera y Gunkel 2003, Segnini y Chacón 2005, Mena y Hofstede 2006, Prat et al. 2009).

En las dos últimas décadas pasadas el incremento de la minería en las cabeceras de cuenca, el desarrollo de nuevas actividades humanas en las ciudades andinas, así como el aumento de las poblaciones ubicadas en las proximidades de los ríos, ha generado una gran contaminación de los cursos fluviales, debido principalmente a drenajes ácidos de mina conteniendo metales pesados, los que son nocivos al medio ambiente y tiene efectos negativos en la salud del ser humano, animales y cultivos agrícolas. Estos metales pesados resultan peligrosos por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad (Mahler 2003, García y Dorronsoro 2005, Corinne et al. 2006), además de los mencionados incluyen: mercurio, arsénico y cromo (Lucho et al. 2005).

Se ha estimado que más de la mitad de las 5 818 comunidades campesinas ubicadas principalmente en la sierra del Perú coexisten con actividades mineras, lo cual constituye un riesgo ambiental al modo de vida rural, porque ellos dependen de actividades agropecuarias como medios de sustento (Gil 2009, Kitula 2006, Ramírez 2005).

La presente tesis reporta valores de parámetros físico-químicos y biológicos que fueron estudiados con la finalidad de establecer el estado ambiental de los ríos Mashcón y San Lucas; además de conocer cómo la descarga del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca impactaba en el cuerpo de agua del río Mashcón, puesto que, la importancia de la variabilidad de los factores físicos y químicos de los ríos radica en la influencia de estos sobre la biodiversidad a diferentes niveles espaciales (Gaston 2000, Jacobsen 2008). Han pasado casi 11 años de aquel estudio y hasta el momento se desconoce el estado ambiental de los principales ríos que atraviesan el valle cajamarquino, ya que, no se conoce valores de monitoreo de sus aguas en los puntos cercanos a los que se hizo en ese entonces. Por otro lado, las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca actualmente inoperativas, descargan aguas residuales totalmente crudas al medio ambiente donde personas inescrupulosas utilizan estas aguas para el riego de sus pastos y otros cultivos; en este sentido este trabajo de investigación sirve como línea de base convirtiéndose en un antecedente del estado ambiental de los cuerpos de agua superficial mencionados anteriormente, contribuyendo a generar presión en las autoridades y representantes políticos de turno para dar solución a las múltiples problemáticas del agua en la región, propiciando un mejor manejo y conservación de estos complejos ecosistemas.

Es oportuno mencionar que, el monitoreo del agua de los ríos Mashcón y San Lucas, así como la descarga del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca, fue realizada entre los meses de abril a septiembre del año 2007, debido que la empresa (Minera Yanacocha S.R.L.) financiante de la presente tesis contrató los laboratorios ambientales NKAP – Cajamarca y Envirolab Perú S.A.C de Lima

para las fechas antes indicadas, lo cual generó un contratiempo al no monitorear el mes de marzo como lo indica el título del trabajo de investigación, por lo que se decidió correr las fechas de monitoreo de abril a septiembre del año 2007.

## CAPÍTULO II

### PLAN DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1. Problema de investigación

Romero (1999) afirma que toda agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa contaminación solamente cuando ella introduce condiciones o características que hacen el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma. Tal es así, es sumamente preocupante los vertimientos que se hacen a los ríos que atraviesan el valle de Cajamarca provenientes de las actividades antrópicas de la ciudad y sus alrededores, dado el hecho que éstas pueden variar de acuerdo a la época de lluvia y a la época de estiaje. Por otra parte los efluentes residuales de las lagunas de estabilización no tienen ningún tratamiento previo y muchas veces durante la época lluviosa éstas se colmatan, no cumpliendo su función y los efluentes son descargados directamente al medio ambiente a vista y paciencia de nuestras autoridades locales y regionales; existiendo además personas inescrupulosas que utilizan estos efluentes para el regadío de pastos y hortalizas, productos que en muchos casos van a parar directamente a la mesa de los consumidores cajamarquinos, generando por múltiples enfermedades y problemas de salud pública.

Las aguas de los ríos que atraviesan el valle de Cajamarca traen consigo una determinada carga de elementos contaminantes; éstas aguas incrementan su contaminación debido a la actividad diaria de la ciudad como por ejemplo el río San Lucas que atraviesa la ciudad de noroeste a sur este y el río Mashcón, quien recibe

en sus aguas los efluentes residuales tratados en las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca.

Los metales pesados por su carácter tóxico son nocivos para los seres vivos, ya que afectan las cadenas alimenticias provocando un efecto de bioacumulación y biomagnificación entre los organismos de la cadena trófica. Ello es debido a la persistencia de los metales pesados en el entorno y sobre todo en las aguas residuales de las ciudades en las que muchas fábricas, laboratorios y otras actividades humanas arrojan directamente sus desechos al desagüe doméstico común sin tener algún tratamiento previo por parte de éstos.

## **2.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las características físico - químicas y biológicas de las aguas de los ríos Mashcón y San Lucas, y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca?

## **2.3. Objetivos**

### **2.3.1. Objetivo general**

Caracterizar las aguas de los ríos Mashcón y San Lucas y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca, entre los meses de marzo - agosto de 2007.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los valores de los parámetros físicos: temperatura, caudal, sólidos disueltos totales, sólidos en suspensión totales, dureza total y alcalinidad de las aguas de los ríos Mashcón, San Lucas y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca.

- Determinar la concentración de los parámetros químicos: aluminio, arsénico, cadmio, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO) y nitratos, de las aguas de los ríos Mashcón, San Lucas y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca.
- Determinar la concentración de los parámetros biológicos: coliformes totales y termotolerantes de las aguas de los ríos Mashcón, San Lucas y del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca.
- Comparar de los valores obtenidos con los Estándares Nacionales de Calidad para Agua, categoría 3.

#### **2.4. Justificación**

Es importante conocer las diferentes concentraciones y sus variaciones de los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas de los ríos Mashcón y San Lucas; y de las aguas de la descarga del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca, para comprender el estado de preservación, en ese momento, de estos ecosistemas; por lo tanto, los valores obtenidos permitieron hacer un diagnóstico de éste estado; así mismo, dichos valores servirán de línea base para futuras investigaciones sobre el estado ambiental de estos cuerpos de agua.

Ahora bien, la justificación más relevante es que estas aguas superficiales están siendo utilizadas para el riego de pastos y otros cultivos, afectando la biota de estos ecosistemas.

Como se mencionó anteriormente la presente tesis reporta valores de parámetros físico-químicos y biológicos que fueron estudiados para evaluar y comprender el estado medioambiental de los ríos Mashcón y San Lucas; además de comprender, como la descarga del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca impactaba en el cuerpo de agua del río Mashcón. A pesar de haber pasado casi 11 años de aquel estudio, los valores reportados son de suma importancia porque constituyen una base de datos y a la vez permiten percibir el estado de estos ríos en aquel entonces, y que al compararse con otros estudios más recientes se tendrá una comprensión más exacta de su comportamiento ambiental; muy importante para la gestión y toma de decisiones para su preservación.

## **CAPÍTULO III**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1. Marco legal**

Mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA 11 enero 2016 Aprueban el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”.

Que, conforme el artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos.

Que, según el artículo 76° de la acotada Ley, la Autoridad Nacional del Agua en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente. También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad de recurso.

Que, el artículo 126° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que el monitoreo de la

calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Que, el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial” fue aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.

Que, con documento del visto, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos remite el Informe Técnico N° 175-2015-ANA-DGCRH/GEGRH-MEPB/KH y la nueva propuesta de Protocolo que propone estandarizar criterios y procedimientos técnicos para evaluar la calidad de los recursos hídricos, continentales y marino costeros, considerando las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo; propuesta que contempla los aportes, comentarios y sugerencias efectuados por las autoridades ambientales correspondientes.

Que, en tal sentido el citado informe recomienda se apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, ello en cumplimiento a lo previsto en el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobadas por el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.  
<http://busquedas.elperuano.com.pe/normaslegales/aprueban-el-protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-cali-resolucion-jefatural-no-010-2016-ana-1332776-1>.

Mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (diciembre 2015).  
Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

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

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.

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. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>.

Mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAGRI Aprueban el Plan Nacional de los Recursos Hídricos-julio 2015.

Que, el Plan Nacional de Derechos Humanos 2014-2016, aprobado mediante Decreto Supremo No. 005-2014-JUS, en el Lineamiento Estratégico 2 sobre “Diseño y Fortalecimiento de la política pública de promoción y protección de los derechos civiles, políticos, económicos, sociales, culturales y ambientales”, incluye como Objetivo 18: “Ampliar la cobertura, la sostenibilidad y el mejoramiento de la calidad de los servicios de saneamiento”; Que, en ese sentido, es necesario aprobar el PNRH, que releja los nuevos instrumentos de planificación de la gestión del agua, que emanan de la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, garantizando el abastecimiento del agua a toda la población del país, permitiendo lograr la seguridad alimentaria y nutricional con un desenvolvimiento agrario más tecnificado y eficiente, que impulsará la actividad de los sectores económicos industriales, mineros, pesqueros y demás relacionadas con el agua, propiciándose una cultura de paz hídrica. <http://minagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2015/13248-decreto-supremo-n-013-2015-minagri>.

Mediante Resolución Jefatural N° 251-2015-ANA de 2 de octubre del 2015.

Que, el literal 12) del artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece como función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos, desarrollando entre otras, acciones de administración, fiscalización, control y vigilancia, para asegurar la preservación y conservación de las fuentes naturales de agua, de los bienes naturales asociados, y de la infraestructura hidráulica de la misma; Que, en tal sentido, el artículo 76° de la Ley precitada señala que la Autoridad Nacional del Agua controla, supervisa, y fiscaliza, el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad ambiental.

En ese sentido en la referida Resolución Jefatural, se pre publicó un proyecto de protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, para que durante el plazo de quince (15) días hábiles, se reciban los opiniones y comentarios respectivos.

<http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-ndeg-251-2015-ana>.

Mediante Decreto Supremo N° 010-2012-MINAM Aprueban Protocolo de Intervención Conjunta en las Acciones de Supervisión y Fiscalización Ambiental Minera.

El Protocolo de Intervención Conjunta en las Acciones de Supervisión y Fiscalización Ambiental Minera, en adelante “el Protocolo”, es el instrumento que establece las estrategias de coordinación, procedimientos y roles de las

entidades competentes para el desarrollo de las acciones de supervisión y fiscalización ambiental en las actividades de minería ilegal e informal que requieran de acciones de intervención conjunta.

## **DEFINICIONES**

Para efectos del presente protocolo, se tendrá en cuenta las definiciones siguientes:

- **Denuncias ambientales:** Es el derecho que tiene toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado, a comunicar a las autoridades los hechos que pudieran afectar al ambiente y constituyan un probable incumplimiento a la normativa ambiental o a las obligaciones establecidas en los instrumentos de gestión ambiental aprobados.
- **Supervisión ambiental:** Son las acciones de seguimiento y verificación con el propósito de asegurar el cumplimiento de las normas y obligaciones establecidas en la regulación ambiental por parte de los administrados.
- **Fiscalización ambiental:** Son las acciones orientadas a investigar la comisión de posibles infracciones administrativas sancionables y la posibilidad de imponer sanciones por incumplimiento de las obligaciones establecidas en las normas ambientales y las establecidas en los instrumentos de gestión ambiental, en el marco del procedimiento administrativo sancionador.
- **Intervención conjunta:** Comprenden las actividades de supervisión y fiscalización ambiental que realicen dos o más entidades públicas competentes para supervisar y fiscalizar las actividades de minería ilegal o informal en el ámbito administrativo.

<http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2012-minam/>.

Mediante Resolución Ministerial N° 154-2012-MEM/DM, 14 de abril de 2012. Aprueban Términos de Referencia para la elaboración del “Plan Integral para la Adecuación e Implementación a los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas aprobados por Decreto Supremo N° 010-2012-MINAM y a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua”. Contendrá una breve presentación del titular de la actividad minera y del Plan Integral. Se describirá el marco legal aplicable. Se indicará la resolución o resoluciones administrativas que aprobaron los instrumentos de gestión ambiental y las actividades mineras correspondientes, precisándose el Instrumento de Gestión Ambiental que establece el manejo ambiental de los recursos hídricos el cual será modificado para constituir el presente Plan Integral. Explicar las resoluciones administrativas que autorizan el uso de recursos hídricos y el vertimiento de efluentes sobre los cuerpos receptores, según corresponda.

<http://www.munizlaw.com/normas/2012/Abril/220412/ANEXO%20R.M.%20N%C2%BA%20154-2012-MEM-DM.pdf>.

Mediante Resolución Jefatural 182-2011-ANA EL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. ANA-DGCRH abril 2011.

La ANA aprobó el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial, documento que estandariza la

metodología para la vigilancia y fiscalización de la calidad de los recursos hídricos en los cuerpos naturales de agua superficial.

Este protocolo tendrá alcance en los cuerpos naturales de agua continental y marino costero y se aplicará en todas las acciones que realice la Autoridad Nacional del Agua, así como en los planes de contingencia ante eventos de emergencia que pongan en riesgo la calidad de los recursos hídricos. Asimismo, deberá ser tomado en cuenta y es de obligatorio cumplimiento, por todas las entidades públicas y privadas del territorio que realicen actividades relacionadas con los recursos hídricos (usos, vertimientos y/o reúso).

Respecto de su contenido, este documento determina el procedimiento y criterios técnicos para los parámetros de evaluación, puntos de monitoreo, frecuencia, toma de muestras, preservación, conservación, transporte de muestras, entre otros.

En la gestión de los recursos hídricos, la calidad del agua es uno de los aspectos más importantes que se tiene en cuenta para los diferentes usos establecidos en el territorio nacional. Se busca conservar y proteger la calidad las aguas continentales y marinas de los efectos de las fuentes contaminantes y del cambio climático, con la finalidad de establecer un equilibrio del ecosistema acuático, considerándose a éste como indicador de la calidad óptima del recurso, beneficiándose al ambiente y a la salud pública.

El monitoreo de calidad del agua en cuerpos naturales se ha venido realizando en el país por requerimiento de las autoridades ambientales sectoriales del Estado, en cumplimiento de los valores límite y los límites máximos permisibles de la normatividad nacional, en temas de medio ambiente,

principalmente en la década de los 90, por esa razón las instituciones públicas han venido monitoreando con fines diversos la calidad de los cuerpos de aguas naturales y los efluentes a través de diversos criterios y metodologías establecidas en los protocolos de monitoreo de la calidad de agua, obteniéndose resultados en muchos casos poco confiables.

Este documento es referente técnico principal para el monitoreo de recursos hídricos que establece los procedimientos a seguir antes, durante y después de realizado el monitoreo de la calidad de las aguas de los recursos hídricos, en cursos naturales (ríos y quebradas), en cuerpos naturales o artificiales (lagos, lagunas y represas), zonas costeras, océanos y finalmente en el monitoreo de efluentes líquidos que, en la mayoría de los casos, son descargados a los cuerpos naturales de agua.

El protocolo es un instrumento de gestión para desarrollar el Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua y Fiscalizar la calidad del agua por las autorizaciones de vertimiento y/o reúso de aguas residuales tratadas otorgadas por la ANA. El monitoreo se debe realizar en base a la Red de Monitoreo establecida en el diagnóstico de la calidad del agua, considerando características hidrográficas e hidro oceanográficas del recurso hídrico, las actividades antropogénicas, los usos del agua, la identificación de fuentes contaminantes y las condiciones hidrodinámicas en cuerpos de agua marinos. Asimismo, se realiza para la Fiscalización de la Calidad del Agua, a través de los puntos de control. [http://www.ana.gob.pe/media/405984/rd\\_0182\\_2011\\_ana\\_dgcrh.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/405984/rd_0182_2011_ana_dgcrh.pdf)

El Decreto Supremo N ° 001 – 2010 - AG, Reglamento de la Ley N ° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” (24 de marzo de 2010), aprueba el Reglamento de

la Ley N°29338 “Ley de Recursos Hídricos”, a través del cual establece el artículo 126° referido a l Protocolo para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas, que la Autoridad Nacional del Agua deberá aprobar, establece que el monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.  
<http://www.ana.gob.pe/normatividad/ds-no-001-2010-ag>.

El Decreto Supremo N° 003 – 2010 - MINAM, publicado del 16 de marzo de 2010, aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales.

#### Artículo 2°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.
- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con

el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo. <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>.

Mediante Decreto Supremo 023-2009-MINAM (diciembre de 2009) APRUEBAN DISPOSICIONES PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA.

El Decreto Supremo materia de la presente ley tiene por objeto aprobar las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

En el artículo 2°, a manera de glosario, y de acuerdo con las categorías ya establecidas en el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, se define cada una de las categorías de los cuerpos de agua y las subcategorías, las mismas que son las siguientes:

- Categoría 1: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
- Categoría 2: Actividades Marino Costeras.
- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) será la encargada de asignar la categoría que corresponda a los cuerpos de agua. Asimismo, el Decreto Supremo, establece que en aquellos cuerpos de agua considerados como zona intangible para vertimientos de efluentes, la ANA deberá adoptar las medidas de control y vigilancia necesarias para preservarla o recuperarla, para lo cual

deberá considerar el ECA para Agua correspondiente a la categoría asignada al cuerpo de agua respectivo.

Por otro lado, respecto al Protocolo de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua, el artículo 6° señala que su realización corresponde a la autoridad competente con el MINAM y con la participación de los sectores a fin de estandarizar los procedimientos y metodologías para la aplicación de los ECA para Agua.

En el artículo 7°, se señala que se encuentran exceptuados de la aplicación de determinados ECA para Agua, aquellos cuerpos de agua, que por sus condiciones naturales presenten parámetros en concentraciones superiores a los ECA para Agua señalados, en tanto se mantengan las condiciones establecidas en el mencionado artículo. <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-nro-023-2009-minam/>.

Mediante Decreto Legislativo N° 1013 MINISTERIO DEL AMBIENTE mayo 2008 APRUEBA LA LEY DE CREACIÓN, ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

Artículo 3.- Objeto y objetivos específicos del Ministerio del Ambiente

- 3.1. El objeto del Ministerio del Ambiente es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y

adecuado para el desarrollo de la vida. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/Leycreaci%C3%B3n-MINAM.pdf>.

Mediante Ley N° 29338, “LEY DE RECURSOS HÍDRICOS” (31 de marzo de 2009), faculta a la Autoridad máxima del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos velar por la protección del agua.

El agua es un recurso que cada día viene cobrando más interés en nuestro país, la necesidad de contar con una nueva ley, acorde a las necesidades actuales era por decir lo menos, impostergable. La antigua ley del agua 17752 (24-Jun-1969) fue dada en un escenario de gobierno militar que venía implementando una reforma agraria, y por lo tanto es lógico que esta ley tenga un sesgo agrario y así se mantuvo durante cerca de 40 años.

La Ley N° 29338 de Recursos Hídricos, llamada así, según los especialistas por que regula no solo el uso del agua como un recurso sino los bienes asociados a él, sean estos naturales (faja marginal, cauces, material de acarreo, glaciares, etc.) o artificiales (captaciones, almacenamiento, conducción, medición, saneamiento, etc).

Entre otros aspectos importantes, la presente Ley propicia el cambio en el modo de pensar y en las actitudes sobre el valor, uso y gestión del agua por todos los sectores sociales y productivos, en especial la agricultura, para que su aprovechamiento sea eficiente y productivo, poniendo especial interés en minimizar los impactos en los ecosistemas.

La nueva legislación promueve la mitigación de la contaminación de las aguas, ocasionada por los residuos de los pueblos y ciudades y de las actividades productivas, la industria, la minería, la agricultura, entre otras; así como

también prevé la adopción de estrategias para la adaptación a las consecuencias de la desglaciación o cambio climático, que afecta a los nevados que constituyen la reserva de agua para las futuras generaciones.

Una innovación de gran importancia es la participación consensuada de las instituciones públicas, organizaciones de usuarios y operadores de sistemas hidráulicos en la elaboración de los planes de gestión de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas que persiguen equilibrar la oferta y la demanda entre sus diferentes usuarios, y precisar responsabilidades en la implementación de las acciones coordinadas de conservación y preservación del agua. <http://www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf>.

Ley N° 28611- MINAM - LEY GENERAL DEL AMBIENTE (octubre 2005).  
Mediante esta ley se reglamentan aspectos relacionados a la materia ambiental en el Perú. Asimismo; por un lado, plantea a los ciudadanos una serie de derechos con relación al tema ambiental, en tanto que se debe garantizar un ambiente saludable, equilibrado y apropiado para el desarrollo de la vida; y, por otro lado, deberes, en la medida en que todos estamos obligados a contribuir a una efectiva gestión ambiental y a proteger el ambiente.

Cabe mencionar que, uno de los objetivos de la mencionada Ley, es la regulación de los numerosos instrumentos que contribuyen a la gestión ambiental del país; y uno de los más significativos aportes es la consagración de la responsabilidad por daño ambiental. Esta ley, nos informa sobre el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), que es un indicador de la calidad ambiental, que mide la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran presentes en el aire, agua o

suelo, pero que no representan peligro para los seres humanos ni para el ambiente.

La Ley General del Ambiente establece que el Estado fomenta el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reúso, sin perjudicar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Establece también que, las personas jurídicas o naturales podrán obtener del Estado, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad que desarrollen, siempre que dicho vertimiento no menoscabe la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines.

Finalmente, se señala que, corresponde a las entidades comprometidas con los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales. De igual manera, las empresas o entidades involucradas con actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que produzcan aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento. Cabe indicar que se menciona que, el manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por quien las genera, también a través de terceros debidamente autorizados o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>.

La Ley 29325-OEFA LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL (marzo 2009).

El Sistema tiene por finalidad asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental por parte de todas las personas naturales o jurídicas, así como supervisar y garantizar que las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización, control y potestad sancionadora en materia ambiental, a cargo de las diversas entidades del Estado, se realicen de forma independiente, imparcial, ágil y eficiente, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en la Política Nacional del Ambiente y demás normas, políticas, planes, estrategias, programas y acciones destinados a coadyuvar a la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales, al desarrollo de las actividades productivas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales que contribuyan a una efectiva gestión y protección del ambiente.

### **3.2. Marco referencial**

#### **A. Antecedentes locales**

García (2015) evaluó la calidad y usos del agua de la subcuenca del San Lucas (Cajamarca) en función del Índice de Brown, este es un método de evaluación química, que permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua para evaluar el problema de contaminación de la subcuenca y encontró que los ríos Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas, tributarios de la subcuenca del San Lucas también se ven afectados por cambios climáticos y acciones antropogénicas desarrolladas a lo largo de su recorrido. Asimismo realizó análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA), en base a ecuaciones matemáticas propuestas por Brown, y demostró en

primer lugar, que existe diferencia sustancial entre los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), considerados para los diferentes usos a los que son destinados las aguas superficiales en el D.S. N° 002-2008-MINAM y el ICA, siendo este último más exigente en la ponderación de los parámetros en estudio sobre todo en lo que respecta a la presencia de coliformes termotolerantes (0,16) y al oxígeno disuelto (0,17) en aguas superficiales. Segundo, los ríos Tres Ríos, Ronquillo y la estación Barrio Urubamba II del río Urubamba califican en la categoría regular (ICA: 50 - 56); mientras que, la estación Barrio Urubamba I y las dos estaciones del río San Lucas califican en la categoría mala (ICA: 45 – 49).

Es importante, precisar que el río San Lucas, atraviesa la ciudad de oeste a este, hasta desembocar en el río Mashcón. El río Ronquillo constituye un cuerpo de agua de vital importancia, pues parte de sus aguas alimentan la Planta de Tratamiento de Agua “Santa Apolonia” que abastece de agua potable a un 30 % de la población cajamarquina. Los cauces de los ríos San Lucas y Urubamba se encuentran obstruidos por residuos sólidos en todo su recorrido, los que en épocas de lluvia podrían desbordarse, provocando deslizamientos, que afectarían a los moradores de la zona.

García, encontró que la tendencia de los valores calculados para el ICA en las estaciones de los ríos Tres Ríos, Ronquillo y la estación Barrio Urubamba II califican en la categoría regular en la cual las aguas de estas estaciones pueden usarse para consumo humano previa potabilización, recreación y riego de todo tipo de cultivos. La estación Barrio Urubamba I y las dos estaciones del río San Lucas califican en la categoría mala la

calidad de estas aguas son dudosas para consumo y contacto con ella, requiere tratamiento para la mayoría de los usos agrícolas e industriales.

Chávez (2014) estudió los probables efectos de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca, en el sistema agua – suelo – planta, en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa-Cajamarca. En los cuerpos de agua de los canales de riego y manantiales la temperatura, los sólidos totales disueltos (STD) y la turbiedad, cuyos efectos son negativos para el agua de riego y bebida de animales, los valores promedio fueron los siguientes:

- La temperatura: 13,6 °C PO-2 y 21,3 °C BCYR-1.
- SDT: 112,7 y 576 en los puntos BCYR-1, PF-1.
- Turbiedad: 73 y 435 UNT en los puntos BCYR-1, BCH-1.

En los análisis Químicos, los resultados fueron:

- pH. Los indicadores fueron de: 7,30 MI-1 y 8,63 BCYR-1, en los puntos muestreados no afectando al agua de riego y bebida de animales domésticos, estando dentro de los LMP, establecidos por el MINAM y la FAO.
- Aluminio. Los resultados obtenidos fueron de 0,031 mg/L, un valor máximo de 0,651 mg/L en el punto PO-2, no superando los LMP, para aguas de riego que es de 5 mg/L para aguas de la categoría III. Riego de vegetales y bebida de animales.
- Hierro. Se obtuvieron valores mínimos de 0,221 mg/L en el punto de monitoreo BCYR-1, un máximo de 2,6 mg/L BCH-1, superando este último los valores de LMP que es de 1 mg/L, solamente en un punto

muestreado no teniendo efectos negativos para agua de riego y bebida de animales.

- Cromo. La presencia de este metal en las aguas residuales no supera los LMP que es de 0,1 mg/L, para aguas de riego, teniendo valores mínimos de 0,002 mg/L en el punto PO-2 y un máximo de 0,091 mg/L en el mismo punto de monitoreo. No produciendo efectos negativos para aguas de riego y bebida de animales.
- Nitritos. Esta variable tuvo un comportamiento homogéneo superando los LMP de 0,06 mg/L, con valores de 0,100 mg/L en el punto de monitoreo BCH-1; 0,066 7 mg/L en el punto PO-2; 0,063 9 mg/L en el punto CY-3 y 0,066 7 mg/L y en el mismo punto PO-2. Afectando el consumo de aguas de animales.
- Nitratos. Esta variable ha superado los LMP de 10 mg/L, siendo el valor de 18,4 mg/L en el punto de monitoreo PO-2, afectando el consumo de aguas de animales.

#### Análisis microbiológico.

Este análisis se realizó en los tres canales que conducen agua con fines de riego a los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa, cuyos resultados indican que superan los LMP,  $> 1\ 000$  y  $> 5\ 000$  para los coliformes termotolerantes, según la FAO “Riego y Drenaje 29” y Norma Técnica Nacional de la República de Honduras – 2011, OMS, cuyos patógenos que afectan a la salud de la población de los caseríos identificados, y plantas de tallo corto.

Concentraciones de Coliformes en las Plantas. De los resultados obtenidos de las muestras de pastos (*Rye grass*): PO-2, PCV-4, MES-1, CY-5 Y CLC-2 se determinó que los coliformes termotolerantes han superado los LMP de > 1 000 para plantas de tallo corto. Según la FAO “Riego y Drenaje 29” y Norma Técnica Nacional de la República de Honduras – 2011.

Plasencia (2010) realizó una investigación sobre la Relación entre la Calidad del Agua y la Dinámica Poblacional del Fitoplancton de los ríos Grande y Porcón – Cajamarca durante el período 2008 – 2009. Trabajó en cinco estaciones, dos en el río Grande, dos en el río Porcón y una en el río Mashcón. Sobre análisis de metales pesados, encontró que, en el primer muestreo realizado en octubre del 2008, en todas las estaciones se encontraron valores altos de arsénico desde 1,15 mg/L en el río Mashcón hasta 43,9 mg/L, en la primera estación del río Grande, D.S. N° 002-2008-MINAM: ECA para agua. Categoría 1: A1: As 0,01 mg/L. Otros metales encontrados con valores sobre los ECAs fue cadmio que según ECAs es 0,003 mg/L y en el estudio se encontró como promedio 0,009 mg/L y con respecto a plomo, según ECAs es 0,01 mg/L y se encontró hasta 0,06 mg/L, sin embargo, en el tercer y cuarto muestreo realizado el año 2009, no se encontraron valores que sobrepasen los ECAs.

Horna (2011) determinó el efecto de la precipitación pluvial sobre los sólidos suspendidos aluminio, hierro y manganeso totales de las aguas superficiales de dos cuencas con actividad minera a tajo abierto en Cajamarca, encontrando que la concentración de sólidos totales en

suspensión durante los años 2008 y 2009, osciló entre 71 mg/L (valor máximo) y 5 mg/L (valor mínimo). La concentración de aluminio total durante los años 2008 y 2009 osciló entre 6,03 mg/L (valor máximo) y 0,33 mg/L (valor mínimo). Sobre la concentración de hierro total durante el periodo 2008 y 2009 osciló entre 3,69 mg/L (valor máximo) y 0,02 mg/L (valor mínimo). Finalmente, la concentración de manganeso total durante los dos años de estudio osciló entre 0,014 mg/L (valor máximo) y 0,01 mg/L (valor mínimo).

Respecto al efecto de la precipitación pluvial sobre los sólidos totales en suspensión, en la microcuenca del río Grande es positiva media (valor: 0,5), al aplicar a los resultados la prueba de Pearson, indicando que en este punto de monitoreo las concentraciones de sólidos en suspensión totales están en relación directa con las variaciones de las lluvias en la zona.

El efecto de los sólidos en suspensión totales sobre las concentraciones de aluminio de hierro total y de manganeso, es una correlación positiva considerable, ya que al aplicar la prueba de Pearson se obtuvo un valor de 0,7 respectivamente; indicando que las concentraciones de aluminio total en el punto de monitoreo guardan estrecha relación con las variaciones de los sólidos suspendidos totales. El efecto de los sólidos en suspensión totales sobre las concentraciones de manganeso total es una correlación positiva considerable.

## **B. Antecedentes nacionales**

Balmaceda et al. (2009) realizaron un estudio sobre el potencial hidrobiológico del río Huancabamba sector presa Limón. Para el análisis

de los parámetros físico-químicos concluyen que, para los valores encontrados de la alcalinidad total, turbiedad y temperatura, no se encuentra valores de comparación en nuestra legislación, las concentraciones que se presentan son naturales y representativas del río Huancabamba y no representan o evidencian contaminación alguna.

Respecto a los bicarbonatos, sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, las concentraciones que se presentan son todos valores menores a lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 002-2008-MINAM). Y en general, la superficie de la cuenca drenada y la distancia al origen del río, provoca una mayor concentración de estas variables en las aguas, incrementándose progresivamente con el discurrir de las aguas hacia las partes más bajas.

Los cambios, en las concentraciones de los sólidos suspendidos totales y en el color aparente y real, se evidencian posteriormente a los aumentos de avenidas o precipitaciones esporádicas arriba de la cuenca, que traen como consecuencia procesos de erosión del substrato superficial, debido a la fuerte escorrentía generada, esto también afectó la concentración de oxígeno disuelto, pero sin llegar a afectar las condiciones de oxigenación en los cuerpos de agua evaluados.

Las concentraciones de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, oxígeno disuelto y aceites y grasas cumplen con lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 002-2008-MINAM).

La presencia esporádica en una estación de muestreo de concentraciones por encima de los límites permisibles de fosfatos, evidenciaría

contaminación inorgánica, por descargas de aguas con residuos detergentes y abonos orgánicos.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal sobre los límites permisibles están íntimamente relacionadas con descargas recientes de desagües de pequeños poblados y ganadería local, siendo un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas, común en zonas rurales como las evaluadas, aunque se le considera un constituyente

Pereda (2008) realizó la caracterización físico-química de los ríos de las cuencas Perejil, Caballo Moro y Chuyugual, en el Alto Chicama. La Libertad. Encontrando notablemente modificadas en sus características fisicoquímicas y en un estado de degradación general. La caracterización hidroquímica se realizó en las cuencas Perejil, Chuyugual y Caballo Moro (2330 y 4090 msnm, y E: 0792130 y 0815570 N: 9111590 y 9140160 UTM), en La Libertad, entre agosto y octubre del 2008, como parte del programa de monitoreo de estas cuencas (2008-2009) establecido por el Convenio UNT-AMAS-2008. En total se establecieron 18 estaciones de muestreo, con 6 estaciones control y 12 estaciones problema, evaluándose los parámetros físicos químicos como: caudal (L/s), temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), oxígeno disuelto (mg/L), nitritos (mg/L), nitratos (mg/L), amonio (mg/L), fosfatos (mg/l), color aparente (Unidades PCU). Respecto a la temperatura y el color aparente, los valores de comparación no se encuentran en nuestra legislación; el pH, nitratos y conductividad eléctrica cumplen con lo establecido en el D.S. 002-2008-MINAM. Los nitritos, nitrógeno amoniacal y los fosfatos evidencian

contaminación inorgánica, por descargas de aguas con residuos detergentes y abonos orgánicos y las concentraciones de nitrógeno amoniacal sobre el límite permisible, está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües y también es un indicador de contaminación. En general estos ríos, están siendo alteradas en su condición físico-químico y este cambio se debería a influencias antrópicas, como las actividades extractivas establecidas en la superficie (minería), la ganadería y la agricultura, así como a la mala disposición de las aguas residuales de los centros poblados.

Medina et al. (2006) determinaron la caracterización fisicoquímica y microbiológica del río Chicama, regiones La Libertad y Cajamarca, Perú. Ellos concluyen que las muestras de aguas superficiales, muestran rangos variables de perturbación por contaminación difusa, producto de la actividad agropecuaria de la zona de estudio, la temperatura del agua muestra cambios significativos durante el día; debido a la altitud y las épocas de muestreo, existen importantes concentraciones de nitrógeno en sus tres formas (nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal), en la mayoría de las estaciones y épocas de muestreo y cuyo enriquecimiento con nitrógeno afecta a las comunidades microbianas presentes en estas aguas. Las concentraciones más significativas de nitritos y nitratos se localizan en los puntos con mayor actividad agrícola. Los niveles más significativos de contaminación difusa se han registrado en las estaciones pertenecientes a los afluentes de los ríos Membrillo y Cospán, que se encuentran impactados por coliformes fecales provenientes de los poblados

adyacentes que no disponen de alcantarillado y por coliformes totales provenientes de la actividad ganadera de la zona.

### **C. Antecedentes internacionales**

Herrera, et al. (2013) estudiaron a los metales pesados porque tienen una importante fuente en las actividades de origen antropogénico y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano y un factor de deterioro de la calidad hídrica y ambiental. Los sedimentos ribereños, uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como fuentes secundarias de contaminación de los cuerpos de agua, por lo que resulta importante evaluar la concentración de metales como una herramienta que permite rastrear el origen de los contaminantes en el medio y predecir los impactos que pueden producir en los ecosistemas acuáticos.

Se analizó por espectrofotometría de absorción atómica la concentración de Cd, Ag, Se, Sn, Ni, Cr, Cu, B, Zn, Hg, Ba, Pb, Mn, As y Al en los sedimentos superficiales del sector medio del río Pirro (Heredia, Costa Rica). Las concentraciones de estos elementos fueron muy elevadas para la mayoría de las sustancias analizadas en todos los puntos de muestreo seleccionados. Su distribución no fue homogénea, ni presentó un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles. Este trabajo manifiesta un potencial y grave problema ambiental, derivado del alto contenido de metales pesados presentes en los sedimentos del río Pirro. El vertido de aguas residuales sin previo tratamiento, la infiltración de aguas negras y el desarrollo de actividades agrícolas, metalúrgicas y metalmecánicas en la parte alta de la microcuenca han

favorecido su incorporación e incremento en los lechos arenosos del cauce. Sin embargo, la principal amenaza de este tipo de contaminación no reside en su acumulación en la fracción sedimentable sino en los mecanismos de sorción-desorción y precipitación-disolución, dependientes de las condiciones físicas y químicas del río, que provocan su resuspensión en la columna de agua dejándolos biodisponibles para la vegetación acuática. El mayor peligro del aumento en la concentración de metales pesados en los lechos sedimentarios es primordialmente su incorporación a las cadenas tróficas, su magnificación y bioacumulación en los organismos, y en su dificultad de eliminación

Mancilla-Villa (2012) evaluó los altos niveles de concentración de metales pesados en agua utilizada para riego y representan un problema importante para la agricultura y la salud humana, así como para la biodiversidad, por tal motivo se realizó el trabajo con relación a la calidad del agua en los estados de Puebla y Veracruz, México. El estudio se llevó a cabo de noviembre de 2009 a marzo de 2010, se tomaron 91 muestras de agua duplicadas. Se analizaron el potencial hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), As y metales pesados totales: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. Los metales pesados se determinaron mediante el uso de un ICP ("Inductively Coupled Plasma") Pekín Elmer Optima 5300, utilizándose la metodología recomendada por la EPA (Environmental Protection Agency) y APHA (American Public Health Association). Se comparó la calidad del agua superficial con los criterios de la NOM-001-ECOL-1996, de EPA (1986), de SEDUE (1989) y la modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Los resultados mostraron valores bajos en la concentración de metales pesados en agua para riego agrícola y uso urbano, no así, para el criterio de consumo humano, pues 50 % de las muestras tomadas presentaron concentraciones por encima de los límites permisibles para Cd, 20 % para Hg y 2 % para Pb (SSA 2000). Se concluyó que el agua superficial no representa riesgos para riego agrícola. La mayor concentración y dispersión la presentó el As con valores de 0,0 a 0,78 mg/L, mientras que la menor con 0,0 a 0,03 mg/L, fue para el Hg. Las descargas de agua residual hacia los ríos, contaminan gravemente y llevan a sobrepasar los límites permisibles para Cd, Hg y Pb en agua para uso y consumo humano. Garbagnati et al. (2005) determinaron las características fisicoquímicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. Concluyendo que, luego de muestreos periódicos durante 3 años consecutivos, se pudo corroborar que el sistema es capaz de mantener su condición base evidenciando la no existencia de variaciones significativas en los parámetros analizados, salvo en la conductividad. Los parámetros en estudio pueden utilizarse para monitorear este sistema a través de la construcción de cartas de control. Para su correcta utilización, se deberá observar cuando un valor experimental (muestreo aleatorio) cae dentro del área comprendida entre los límites de advertencia y de acción, y se deberá adoptar una actitud alerta. Esta actitud será realizar un muestreo con mayor frecuencia o buscando causales en el entorno. Si el valor encontrado supera cualquiera de los límites de acción se deberán tomar de inmediato medidas

correctivas. La variabilidad en el tiempo de las características físicas y químicas de un sistema, que muestran los gráficos de control, puede deberse a causas naturales o pueden originarse en acciones antropogénicas. Por lo tanto, es de primordial importancia efectuar simultáneamente con la adquisición de datos de acuerdo a un plan de monitoreo definido, una estrecha vigilancia de la zona en estudio para detectar tal tipo de causales. En el periodo en el que se ejecutó este trabajo, y hasta el presente, no se ha observado influencia antropogénica significativa, por lo que las fluctuaciones que se ponen en evidencia en los gráficos de control se pueden considerar como totalmente naturales reflejando lo que se denomina como 'la condición ambiental base del curso de agua estudiado. Los valores de los distintos parámetros evaluados y su comportamiento a través del tiempo muestran un agua de excelente calidad, que se ajusta a los parámetros estipulados por los distintos organismos internacionales para distintos usos.

En las actuales condiciones de la zona bajo estudio, la capacidad buffer del sistema carbonato/ bicarbonato/ácido carbónico es suficiente para mantener los valores de pH en un rango muy estrecho, a pesar de las variaciones naturales.

Los bajos valores encontrados del índice buffer y concentración del anión hidrógeno carbonato determinan un sistema hídrico con una vulnerabilidad intrínseca elevada, pudiendo sufrir variaciones o cambios de pH en respuesta a diferentes alteraciones. Estos cambios de pH pueden ocasionar desequilibrios físico-químicos-biológicos del sistema estudiado.

### 3.3. Marco doctrinal

En la clasificación de la calidad del agua de un río se comparan los valores medidos de la concentración de un parámetro fisicoquímico o biológico, con los estándares de calidad establecidos en algún instrumento legal, y definidas de acuerdo con criterios de uso del agua (Kowalkowski et al. 2006).

Algunos países han desarrollado esquemas, basados en el análisis de su condición química y biológica, para establecer y dar seguimiento a la calidad de sus cuerpos de agua. Ejemplos de estos instrumentos de evaluación son los índices de calidad (ICA) que son además usados para establecer las condiciones necesarias para proponer políticas de gestión y conservación (Chang et al. 2001).

En tiempos actuales la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema digno de tomarse en cuenta debido a que el uso intensivo, la degradación creciente y los problemas de salud como el deterioro de los acuíferos, la disminución de fuentes de abastecimiento de fuentes de agua potable está en función de su utilización y está definida por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos (Martínez 2002).

La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos está dada por sus características: elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos (Rosas 2001).

Según La investigación de la presencia de metales pesados en determinadas zonas, permite conocer las rutas de contaminantes y su interacción con otras sustancias presentes (Griet 2006).

El aporte de información contribuye al diagnóstico de cada cuenca y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones en proyectos posteriores, sobre todo en decisiones de carácter gubernamental (Rosas 2001).

### **Metales Pesados**

Desde el comienzo de la era industrial, los metales han penetrado lentamente en el ambiente, ocasionando que se acumulen progresivamente en suelos, sedimentos y aguas superficiales. Constituyen el 75 % de los elementos conocidos, están caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio). Pueden formar aleaciones entre sí y son ampliamente utilizados, por ejemplo, en la fabricación de coches, computadoras, la construcción de autopistas, puentes, etc., así como en la producción de electrodomésticos, y material de laboratorio. Se encuentran en forma de elementos nativos (mineral, geológico) o son producto de actividades antropogénicas (fungicidas, minería y fundición, industrias plásticas, y desechos) (Griet 2006).

Existen varias definiciones del término “metales pesados”. En esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por lo tanto, de interés minero (Oyarzun & Higuera 2009). Algunos metales pesados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Arce 2000).

Los metales pesados pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los

mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas (Arce 2000).

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana (Rosas 2001).

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono (Rosas 2001). Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Rosas 2001).

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado (Rosas 2001).

Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras.

Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al

desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades. Por otro lado, los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. (Rosas 2001).

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (Arce 2000).

La composición química de las aguas es variable y dependiente de su origen (Gherardi et al. 2002).

### **Factores que determinan la composición química de las aguas naturales**

Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores de tipo geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico químico-físico, y otros:

- **Factores geólogo-geomorfológicos**

Los factores geológicos se relacionan con la litología (composición de los minerales de las rocas), el estado de yacencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el agrietamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímica dominantes en una región determinada, es decir, el tipo de agua. Se debe esperar que la infiltración por percolación de las precipitaciones en rocas salinas, origine aguas superficiales y sub superficiales (acuíferas) de tipo cloruradas alcalinas; en los depósitos de yeso o anhidrita, sulfatadas cálcicas; en las calizas y dolomitas, bicarbonatadas cálcicas o cálcico-magnesianas; en las secuencias con abundante pirita, aguas con alto contenido de ion sulfato; en los granitos y otras rocas insolubles ácidas, aguas del tipo alcalinas o alcalinotérricas según el catión dominante, mientras que en las rocas ultrabásicas, éstas son bicarbonatadas magnesianas. Los aspectos vinculados al agrietamiento y porosidad de las rocas influyen de manera determinante en el estado de división de las partículas, mientras más pequeñas sean éstas, poseerán mayor superficie y se facilitará la disolución del mineral. Las aguas que drenan a través de rocas calcáreas, muy trituradas por los procesos tectónicos, adquieren un contenido mayor de calcita disuelta (dureza) que aquéllas que drenan a través de calizas más compactas.

Los factores de tipo geomorfológico también influyen en la composición química de las aguas, en especial, la pendiente de los macizos, el grado de erosión de los terrenos y la naturaleza de las propias formas del relieve, esta

última influye fundamentalmente, en la redistribución superficial de las precipitaciones.

A pesar de que las formas tales como dolinas, sumideros, etc., se pueden considerar el resultado de los procesos de erosión en terrenos kársticos, una vez creadas, facilitan o limitan la ulterior acción de corrosión química sobre el medio, lo cual se refleja en la composición química de las aguas (Marín 2009).

- **Factores hidrogeológicos**

Los factores hidrogeológicos están relacionados con la permeabilidad y el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua. Todos estos aspectos inciden en el tiempo de contacto entre el agua y el mineral, por ejemplo, si el flujo tiene lugar en condiciones difusas a través de las rocas, el tiempo de interacción del agua con los minerales es más lento y, por tanto, la cantidad de minerales disueltos es mayor que si las condiciones de flujo son de tipo turbulento a través de grietas más o menos amplias. El contenido de CO<sub>2</sub>, la dureza y otras propiedades químico-físicas de las aguas naturales difieren de acuerdo con la forma en que se mueve el agua y la zona hidrogeológica que ocupa (Marín 2009).

- **Factores pedológicos**

Otros factores que también influyen sobre la composición química de las aguas naturales son los de tipo pedológicos, los cuales están asociados al tipo de suelo que yace sobre las secuencias estratigráficas.

El suelo puede ser el resultado del intemperismo de la roca o tratarse de una cobertura de origen fluvial, pluvial o glacial; su espesor puede variar desde

un grosor apreciable hasta llegar a ser muy escaso o ausente. De sus características y condiciones pedoclimáticas depende la actividad microbiológica asociada, así como de la producción de gases y ácidos disponibles, que luego son arrastrados por las lluvias o las nieves al fundirse, haciendo posible la disolución de los minerales que forman parte del paquete de rocas subyacentes. En el caso de un macizo desnudo, el agua de las precipitaciones puede adquirir el CO<sub>2</sub> directamente de la atmósfera, pero en una proporción menor que la que se produce en el suelo. La micro flora del suelo está compuesta de poblaciones de algas, actinomicetos, bacterias nitrificantes, desnitrificantes, desintegrantes de la celulosa, sulfobacterias y productoras de pigmentos, hongos y protozoos. Los microorganismos también están muy difundidos en las aguas naturales, incluso en condiciones de elevadas temperaturas como ocurre en algunas fuentes mineromedicinales. El control de estos organismos, tanto en el suelo como en las aguas, es de gran importancia para determinar el estado de estas últimas y para su explotación en el termalismo (Marín 2009).

- **Factores climáticos**

Los factores climáticos intervienen de forma activa en la dinámica de la meteorización mecánica y química de los macizos, al permitir en el primer caso la fragmentación, traslado y acarreo de los minerales lejos del lugar de origen, así como facilitar en el segundo caso, la disolución de los minerales de las rocas. Mientras más intensa sea la acción mecánica, más se facilita al agua su acción corrosiva. Los elementos del clima más determinantes en el modo en que las aguas adquieren su composición química son: la temperatura,

humedad relativa, intensidad y duración de las precipitaciones, intensidad y duración de las radiaciones, velocidad del aire, entre otros (Marín, 2009).

- **Factor antropogénico**

Dentro de los factores ambientales resulta importante analizar el papel que desempeña el factor antrópico en la composición química de las aguas. La actividad del hombre causa un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales. Una vez contaminadas, se hace muy difícil restablecer su calidad original. Con vistas a preservar la calidad de los recursos hídricos, de forma tal que se puedan utilizar racionalmente en beneficio de la economía, se han establecido zonas de protección sanitaria, como tal se denomina el área alrededor de la toma de agua, donde se establecen diferentes tipos de regulaciones con el objetivo de evitar la contaminación y hacer mínimo el riesgo de su degradación (Marín 2009).

Las unidades de Salud Pública, particularmente las de Higiene y Epidemiología velan porque no se produzcan enfermedades de tipo microbiológico tanto por ingestión de aguas contaminadas como por contacto. Con vistas al control de la calidad de las aguas naturales, también se han elaborado políticas y sistemas de vigilancia, mediante el registro sistemático de algunos indicadores de tipo químico-físico y bacteriológico (Marín, 2009).

- **Factores químico-físicos**

Los factores fisicoquímicos están regidos por las leyes termodinámicas que controlan la disolución de los minerales, estos factores desempeñan un papel importante en la forma en que las aguas naturales adquieren su composición química. Entre estos se destacan: disolución congruente e incongruente de los

minerales, el pH del agua, equilibrio de los carbonatos, efecto de ion común y efecto salino, potencial de oxidación-reducción, intercambio iónico y adsorción, entre otros (Marín 2009).

**a) Disolución congruente e incongruente de los minerales**

Cuando los productos de una reacción de disolución, son todas especies iónicas, se dice que la disolución es congruente. Cuando, por el contrario, la disolución de un mineral da lugar a especies iónicas y moléculas no solubles, se dice que la disolución es incongruente. Este último es el caso de muchos aluminosilicatos. En presencia de CO<sub>2</sub> el agua disuelve este tipo de mineral y libera sodio, bicarbonato y ácido silícico en el seno de la solución, mientras deposita el mineral arcilloso caolinita. Este proceso ocurre corrientemente como resultado del intemperismo de las rocas graníticas (Marín 2009).

En el proceso de disolución de los carbonatos se suelen producir disoluciones incongruentes cuando están presentes calcita y dolomita o calcita; y yeso. Las aguas en estos casos pueden disolver secuencial o sucesivamente estos minerales. Donde coexistan calcita y dolomita a bajas temperaturas, cuando el agua se encuentre saturada respecto a la dolomita, será sobresaturada respecto a la calcita, precipitando este último mineral a medida que se disuelve el primero; en este caso el agua disuelve incongruentemente a la calcita. Si, por el contrario, este proceso ocurre a una temperatura superior a 10 °C, se producirá la disolución de la dolomita en forma incongruente. Si el proceso de disolución de ambos minerales

tiene lugar secuencialmente, entonces puede ocurrir la disolución incongruente, con independencia de la temperatura del agua (Marín 2009).

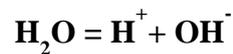
#### **b) El pH del agua**

Un agua pura disuelve con facilidad sólo aquellos minerales solubles como los de tipo salino o los sulfatos. En la mayoría de los casos, sin embargo, la solubilidad de un mineral se incrementa considerablemente en presencia de ácidos; por ejemplo, en un litro de agua a 25 °C, sólo se disuelven 12 mg de calcita. En presencia de un ácido fuerte, sin embargo, la solubilidad aumenta de 25 000 a 30 000 veces (Marín 2009).

La medida del grado de acidez del agua es el pH, el cual se define como el logaritmo inverso de la actividad del ion hidrógeno o hidronio ( $H^+$  o  $H_3O^+$ ), que resulta de la ionización de un ácido cualquiera; se expresa en moles por litro, aunque al medirse en equipos electrónicos con electrodos de referencia, la acidez se expresa en unidades de pH, por lo general entre 0 y 14, esta se calcula de la manera siguiente:

$$pH = -\log[H^+]$$

Aunque el agua pura está constituida fundamentalmente por moléculas de  $H_2O$ , una pequeña porción de la misma se compone de  $H^+$  y  $OH^-$ . Esta proporción está controlada por la reacción de disolución:



En el agua pura  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ , por lo que teóricamente su pH debe ser 7. En la realidad, a causa de que ésta se encuentra en contacto con la atmósfera, es capaz de disolver  $CO_2$  y adquirir un pH inferior a ese valor.

El valor del pH de muchas aguas naturales que interactúan con los minerales varía en un estrecho intervalo, por lo general entre 6 y 9, lo cual entre otras causas se debe a la gran distribución de las rocas carbonatadas y al carácter ácido-básico de las mismas, a través del sistema de equilibrios químicos que se establecen entre  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  (Marín 2009).

El agua de las precipitaciones al pasar por la zona del suelo, donde es abundante el  $\text{CO}_2$ , adquiere un pH relativamente bajo, del orden de 4,5. Luego por interacción con las rocas carbonatadas éste tiende a elevarse hasta cerca de 7. Cuando esta interacción se produce durante un tiempo prolongado el agua incrementa su contenido de iones  $\text{HCO}_3^-$  y adquiere además iones  $\text{CO}_3^{2-}$ . En esas condiciones el pH puede alcanzar un valor cercano a 8,4. Por lo general, en los arroyos y ríos de las regiones húmedas no kársticas el pH varía entre 5 y 6,5; mientras que en las regiones kársticas húmedas este valor suele estar comprendido entre 7 y 8. Las aguas marinas tienden a poseer un pH cercano a 8. Las aguas minerales pueden poseer valores de pH ácidos, neutros o básicos de acuerdo a las características hidrogeológicas presentes (Marín 2009).

### c) Equilibrio de los carbonatos

La disolución de los minerales constitutivos de las rocas carbonatadas comprende una serie de procesos físicos y químicos donde intervienen estados gaseosos, líquidos y sólidos a través de interfaces aire-agua-roca y un sistema de equilibrios químicos. Para el caso de la calcita, éstos se pueden resumir de la manera siguiente:



Lo más común en la naturaleza es que este proceso ocurra en presencia de otros minerales, principalmente dolomita, yeso y halita. Si en el proceso de disolución de los minerales carbonatados por las aguas naturales existe un suministro abundante de  $\text{CO}_2$ , que puede considerarse constante durante la reacción, éste procede rápidamente hasta la saturación. En este caso la reacción tiene lugar en condiciones de sistema abierto respecto al  $\text{CO}_2$ . Si, por el contrario, la disolución de los carbonatos por las aguas naturales se produce en virtud del suministro inicial de  $\text{CO}_2$ , que luego no se repone en el transcurso de la reacción, ésta se produce en condiciones de sistema cerrado respecto al  $\text{CO}_2$  (Marín 2009).

En la naturaleza tienden a primar, tanto las condiciones de disolución de los carbonatos en sistema abierto como cerrado, o más bien de tipo intermedio entre sistema abierto y cerrado.

#### **d) Efecto de ion común y efecto salino**

Cuando un agua natural pasa por un terreno donde existen minerales con iones comunes a los que ésta lleva disuelto en su seno, disminuye su capacidad para disolver esos minerales. Si se compara la solubilidad de los minerales en agua pura con la de un agua que contiene iones no comunes al proceso de disolución de ese mineral, se demuestra que la salinidad incrementa la solubilidad del mismo. Esto se debe a que, como consecuencia del incremento de la concentración, aumenta la fuerza iónica y se produce una disminución del coeficiente de actividad. Este fenómeno se denomina efecto salino o de fuerza iónica (Marín 2009).

### e) Potencial de oxidación-reducción

Muchas reacciones químicas que tienen lugar en el medio acuático, implican transferencia de electrones entre constituyentes disueltos, gases o sólidos. Como resultado de estas transferencias se producen cambios en los estados de oxidación-reducción de los reaccionantes y los productos (Marín 2009).

Los elementos de valencia múltiples son susceptibles de intervenir en las reacciones de oxidación-reducción, mediante las cuales una molécula se reduce (oxidante) al tomar los electrones que le cede la otra (reductora), la cual se oxida. La reacción también es capaz de proceder en dirección contraria, de modo que este proceso se puede representar mediante la ecuación de equilibrio siguiente:



La fortaleza de una reacción de oxidación-reducción se mide por el potencial redox (Eh). El potencial de oxidación-reducción se mide en voltios, a través de milivoltímetros de campo es posible obtener este valor en las aguas naturales.

Aunque las soluciones acuosas no contienen electrones libres, también es conveniente expresar el proceso de oxidación-reducción mediante un par redox, como si estas reacciones se produjeran por separado.

Además, se suele utilizar la magnitud pE para describir la actividad relativa de los electrones. Por definición:

$$\text{pE} = - \log (\text{E})$$

La pE es una magnitud adimensional análoga a la expresión pH, utilizada para describir la actividad del protón o ion hidrógeno. La pE de una solución mide su tendencia oxidante o reductora (Marín 2009).

#### **f) Intercambio iónico y adsorción**

Los materiales geológicos porosos están compuestos de un porcentaje apreciable de partículas de tamaño coloidal que tienen la capacidad de intercambiar iones adsorbidos en su superficie. Como resultado del proceso de intemperismo de las rocas por los agentes exógenos se originan los suelos, constituidos por minerales de tipo arcilloso. Estos minerales se subdividen en cinco grupos: caolinita, montmorillonita, illita, clorita y vermiculita; los cuales se caracterizan por presentar tamaños de partículas del orden de los coloides, que originan procesos de intercambio iónico entre las arcillas de la zona del suelo y las aguas que discurren a través de las mismas (Marín 2009).

### **3.4. Marco conceptual**

#### **3.4.1. Calidad del agua**

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables físico-químicas o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. La calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (OMS 2006). Mientras que, la microbiológica se basa en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su presencia puedan

señalar la posible existencia de otros, tal y como sucede con los coliformes fecales,

*Escherichia coli* y *Salmonella* (Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica 2005 y 2007, Eaton et al. 2005).

El agua para consumo humano se deriva de dos fuentes: aguas superficiales, como los ríos y reservorios, y subterráneas (Fawell y Nieuwenhuijsen 2003). Las primeras son aquellas que fluyen sobre la superficie de la Tierra, incluyen las que precipitan de las lluvias y las que brotan de los manantiales. Las segundas son las que están situadas bajo el nivel freático y saturando completamente los poros y fisuras del terreno; fluyen a la superficie del suelo de forma natural a través de manantiales y pozos artesanales, o por medio de sistemas de bombeo (CIRA-UAEM 2005).

Los parámetros indicadores de contaminación o índices de calidad permiten medir los cambios percibidos en un cierto cuerpo de agua que puede ser afectado por distintos tipos de contaminación o degradación física (Custodio y Díaz 2001). Cualquier cambio significativo en la concentración de algún parámetro indicador es sospecha de algún grado de contaminación, ya sea físico, químico o bacteriológico (Farell y Nieuwenhuijsen 2003).

Aquellas aguas que cumplan con los estándares preestablecidos para el conjunto de parámetros indicadores considerados serán aptas para la finalidad a que se las destina. El agua para consumo humano (ACH) es

aquella utilizada para la ingesta, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios y otros menesteres domésticos (OPS 2003).

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria (Vargas et al. 2004).

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas (Vargas et al. 2004).

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, etcétera. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de

contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos.

A continuación, se tratan en detalle las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua, el origen de los constituyentes, su importancia en la salud, su relación con los principales procesos de tratamiento y los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para consumo humano (Vargas et al. 2004).

### **A. Características físicas**

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

#### **a) Sólidos y residuos**

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada (Vargas et al. 2004).

Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

- **Sólidos totales.** Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Los sólidos disueltos constituyen una medida de la parte de los sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un poro nominal de 2,00  $\mu\text{m}$  o menos en condiciones específicas. Esta medida proporciona otra indicación (como la conductividad) de la salinidad de la descarga de la industria. En general Son productos de la erosión de los suelos, detritos orgánicos y plancton. Estos sólidos, como el limo, virus y arena, son los que causan las impurezas visibles y consisten en partículas muy pequeñas, se identifican por su color, turbidez, gusto y olor del agua. Son importantes, para el control de los procesos biológicos y físicos de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento, que regulan su vertimiento. Las sustancias no disueltas, son los sólidos suspendidos y se evalúan por medio de la turbiedad (Sawyer et al. 2000).

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton, la materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición y pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua (OMS 2003) y pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional (Metcalf & Eddy 1995, Sawyer et al. 2000, APHA 2005).

- **Sólidos en suspensión.** Corresponden a los sólidos presentes en un agua, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio. Los SST pueden ser aportados tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierras y también por vertimientos urbanos e industriales. Dichas partículas en suspensión son sólidos inorgánicos y materia orgánica en proporciones muy variables. Los sólidos inorgánicos constituyen la mayor parte de la materia suspendida transportada por los ríos, procedentes de la erosión física y meteorización de las rocas continentales (Marín 2003, Gonzáles et al. 2011). La presencia de SST da lugar a la turbidez en agua, estas partículas provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la fracción más importante de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas naturales. Además, las algas en época de su floración también pueden provocar incrementos importantes de STS en medios hídricos naturales (Marín 2003). La materia en suspensión puede producir color aparente en el agua, disminuir el paso de la energía solar, por lo que es responsable de una menor actividad fotosintética, ocasionar depósitos sobre plantas acuáticas y las

branquias de los peces, y sedimentos con lo que favorece la aparición de condiciones anaeróbicas (González et al. 2011).

Según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (MINAE & MINSA 2007) establece un valor de 10 mg/L para la conservación y desarrollo de la vida acuática.

#### **b) Temperatura**

La temperatura es un parámetro físico descriptivo de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Desde un punto de vista microscópico, es una medida de la energía cinética asociada al movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema. Afecta tanto los procesos físicos (volatilización, solubilidad de sales y gases, estratificación de estanques), como los procesos químicos (pH, equilibrio de ionización, velocidad de reacción) (Osorio et al. 2000).

La temperatura óptima del agua para beber está entre los 10 y los 15 °C (Echarri 1998, Martínez 2002), es consistentemente fría y no tiene variaciones de temperatura de más de unos pocos grados. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (como el oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción (Echarri 1998). La temperatura también afecta la percepción sensitiva de sabores y olores (Martínez 2002).

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Vargas et al. 2004).

La temperatura se define como una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Ésta no depende del número de partículas en un objeto y, por lo tanto, de su tamaño. Esta posee gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir. Este indicador influye en el comportamiento de otros parámetros de la calidad de agua, como lo son: el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. (Torres 2009).

### **c) pH**

El pH del agua comprende un parámetro fundamental pues define, en parte, la capacidad de autodepuración de una corriente y, por ende, su contenido de materia orgánica, además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados. También, es una propiedad de carácter química de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática ya que tiene influencia sobre ciertos procesos químicos y biológicos (Torres 2009). Según Davis y Cornwell (1998) citado por Torres (2009), el pH es un indicador de la acidez

o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ión hidrógeno en el agua, el cual en agua puede variar entre 0 y 14.

Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. Es de mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua. Por lo general, un agua con pH menor de 6,0 es considerada agresiva y corrosiva para los metales. Un pH ácido en el agua no necesariamente indica la presencia de ácidos, pues algunas sales como las de aluminio pueden generar pH 4 por hidrólisis. El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

Durante la coagulación, la remoción de la turbiedad es eficiente por lo general en un rango de pH de 6,0 a 7,8, mientras que la remoción del color se consigue con un pH de entre 4 y 6. Sin embargo, es necesario puntualizar que el pH óptimo para ambos casos debe determinarse por medio de la prueba de jarras.

La desinfección con cloro es más efectiva a un nivel bajo de pH. Esto se debe a la mayor efectividad del ácido hipocloroso comparado con el ion hipoclorito y al hecho de que el ácido hipocloroso predomina con valores de pH bajos. La estabilidad del agua depende del pH. Una planta de tratamiento debe producir agua que no sea ni corrosiva ni incrustante. En la práctica, esto significa que el pH del agua tratada debe ser ligeramente mayor que el pH de saturación. En otras palabras, el índice de saturación debe ser ligeramente positivo. La medición del pH debe realizarse in situ, ya que puede sufrir variación

importante en el transcurso del tiempo, debido a diversas causas, entre las cuales se encuentran la sobresaturación de CO<sub>2</sub>, como consecuencia de la presencia de plantas acuáticas o su contenido en el aire, reacciones químicas, temperatura, etcétera.

El Canadá recomienda como valor guía para agua de bebida un rango 6,5 a 8,5 para el pH (Vargas et al. 2004).

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9. Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6,5 a 8,5 para el agua potable (Vargas et al. 2004).

## **B. Características químicas**

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor (Vargas et al. 2004).

### **a) Alcalinidad**

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor (Vargas et al. 2004).

Durante el tratamiento, las aguas crudas de muy baja alcalinidad pueden requerir la adición de un alcalinizante primario (como el hidróxido de calcio).

La EPA no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, ya que esta se liga a factores como el pH y la dureza, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua (Vargas et al. 2004).

#### **b) Aluminio**

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm. El problema mayor lo constituyen las aguas que presentan concentraciones altas de aluminio, las cuales confieren al agua un pH bajo, debido a sus propiedades anfóteras, que hacen que sus sales se hidrolicen formando ácidos débiles.

Durante el tratamiento es posible remover las sales de aluminio solubles, mediante la formación de hidróxido de aluminio. Sin embargo, es necesario tener mucho control del pH, pues si este sube excesivamente, podría producirse la formación de aluminatos, nuevamente solubles. La coagulación, en este caso,

se realiza mediante polímeros orgánicos, por lo general aniónicos. Cuando el aluminio se encuentra en el agua cruda, se recomienda usar como coagulantes sales de hierro o polímeros sintéticos. Los coagulantes aluminicos dejan un remanente de metal que, en algunos casos, puede llegar a niveles no deseados (Vargas et al. 2004). En el caso del aluminio, la OMS ha establecido un valor guía de 0,2 mg/L para aguas de consumo humano.

### c) **Arsénico**

El arsénico es un metaloide de olor aliáceo se obtiene como subproducto en la producción de metales como cobre y plomo. Tiene la capacidad de formar componentes orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente y el cuerpo humano el arsénico inorgánico tiene mayor toxicidad (Ministerio de Salud 2011).

El arsénico se utiliza industrialmente como agente de aleación, para el procesamiento de vidrio, pigmentos textiles, papel, adhesivos metálicos, protectores de la madera y municiones, el arsénico se emplea asimismo en los procesos de curtido de pieles y en grado más limitado en la fabricación de plaguicidas, aditivos para piensos y productos farmacéuticos (Baird 2014).

El arsénico produce sus efectos tóxicos a través de la generación de radicales libres, por lo que se recomienda alimentos ricos en antioxidantes (Ministerio de Salud 2011).

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre.

Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos. Las concentraciones de As en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L.

La toxicidad del As es compleja, pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto. El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en seres humanos. En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de  $\text{As}^{3+}$  son más tóxicas que las de  $\text{As}^{5+}$  y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad; todos los compuestos solubles son tóxicos.

Se sospecha que el arsénico tiene efectos cancerígenos por la correlación encontrada entre la incidencia de hiperquetosis y cáncer de la piel por un lado y la ingestión de aguas con más de 0,3 mg/L de arsénico por otro. Esta relación fue comprobada por Trelles (5) en la Argentina.

El metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado, aunque su mecanismo no está bien establecido. La remoción de arsénico del agua se basa principalmente en su oxidación a su forma pentavalente antes de la coagulación con sulfato férrico a pH de 6 a 8, con alumbre a pH de 6 a 7 o ablandamiento con cal

a pH 11. A escala experimental, este método ha permitido una remoción de 90 % de arsénico. Debido a sus efectos adversos sobre la salud y a la insuficiente información sobre su remoción del agua, la EPA y las guías canadienses recomiendan que el contenido de arsénico en fuentes de abastecimiento no exceda 0,05 mg/L. El valor guía de la OMS para el agua de bebida es 0,01 mg/L (Vargas et al. 2004).

#### **d) Cadmio**

Se encuentra posicionado en el grupo IIB de la tabla periódica, en el segundo lugar. Metal de número atómico 48, masa atómica 111,40; se obtiene como subproducto de un tratamiento metalúrgico del zinc y plomo, Su abundancia promedio en la corteza terrestre es 0,16 ppm; en suelos de 0,1 a 0,5 ppm; en ríos de 1 µg/L, y en aguas subterráneas de 1 a 10 µg/L. (Eaton et al. 2005).

Contamina el ambiente desde su fundición y refinación, tiene diferentes aplicaciones industriales como pigmento en pinturas, esmaltes, etc. Se usa en la aleación de cobre, aluminio y plata; es usado para la producción de pilas de cadmio-niquel, además de la fotografía, litografía y procesos de grabado. Pero su toxicidad es altamente peligrosa, el cadmio incrementa con la edad, se puede excretar por la orina y bilis, en pequeñas porciones por el sudor y el pelo, pero cuando las concentraciones son elevadas este se deposita en el riñón causando problemas graves. (Ramírez 2002).

No es un elemento esencial para la vida del hombre. La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado puede provenir de la corrosión de los tubos galvanizados, de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escorrentía de baterías usadas o pinturas. Muchos pigmentos usados para la coloración de plásticos o la formulación de pinturas contienen concentraciones elevadas de cadmio.

Este metal pesado es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones. En el organismo, algunos iones  $\text{Ca}^{2+}$  de los huesos pueden ser reemplazados por iones  $\text{Cd}^{2+}$ , pues ambos iones tienen el mismo estado de oxidación y casi el mismo tamaño. Esta sustitución puede causar fragilidad en los huesos y susceptibilidad a las fracturas.

La ingestión de agua y alimentos que contengan el metal representa de 5 a 10 % del total de cadmio absorbido en el organismo. Estas concentraciones dependen de la ingestión de proteínas y de la presencia de vitamina D; incluso, se relaciona con la concentración en el organismo de algunos elementos, como Zn, Se y Ca, con los cuales compite el cadmio. El cadmio también reduce los niveles de hierro hepático.

La vida media del cadmio en el organismo es muy larga y se calcula entre 10 y 30 años, periodo en el cual permanece

almacenado en varios órganos, en particular el hígado y los riñones. Se ha encontrado que los procesos de coagulación remueven el cadmio, pero una variable importante es el pH. Al usar sales de aluminio y regular el pH, es posible la remoción de 90 % de cadmio en aguas turbias. El sulfato de hierro puede remover 90 % de cadmio a pH 7,5. El proceso de ablandamiento cal-soda puede tener una efectividad cercana a 100 %, debido a que se lleva a cabo a pH alto. La EPA recomienda como margen de seguridad un límite máximo permisible de 0,005 mg/L para aguas de consumo humano. Los valores guía dados por la OMS y el Canadá son 0,003 mg/L y 0,005 mg/L, respectivamente. Sin embargo, dado el poder bioacumulativo del cadmio, se recomienda que la concentración en el agua tratada sea la menor posible (Vargas et al. 2004).

**e) Cromo**

Es el primer elemento del grupo VIB de la tabla periódica, con número atómico 24, masa molar 51,99 g/mol y estados de oxidación de 2, 3, 4, 5 y 6, lo cual lo convierte en una sustancia anfótera, es decir actúa como ácido o como base según la sustancia con la que reacciona; es muy abundante en la corteza terrestre, presentándose con 122 ppm, en suelos posee una concentración de 11 a 22 ppm y en corriente acuáticas con 1 µg/L de concentración, generalmente se encuentra como mineral Cromo-Hierro ( $\text{FeCr}_2\text{O}_3$ ) (Eaton et al. 2005).

Este metal no está en forma natural solo se encuentra en la espinela, cromita o piedra de cromo hierro, que es cromito ferroso ( $\text{FeOCr}_2\text{O}_3$ ) y está ampliamente distribuida en la corteza terrestre. La aplicación más importante del cromo puro es el cromado de una gran variedad de equipos, como piezas de automóvil y equipos eléctricos. También es ampliamente utilizado en aleaciones con hierro y níquel para formar acero inoxidable, y con níquel, titanio, niobio, cobalto, cobre y otros metales para formar aleaciones con fines específicos. Los compuestos con cromo en estado de oxidación  $\text{Cr}^{3+}$  son considerablemente menos peligrosos que los compuestos de  $\text{Cr}^{6+}$  ya que no se absorben fácilmente en el aparato digestivo y pueden combinarse con proteínas de las capas superficiales de la piel, formando complejos estables. En ausencia de una sensibilización previa con compuestos de  $\text{Cr}^{6+}$ , los compuestos de  $\text{Cr}^{3+}$  no producen ulceraciones ni suelen producir dermatitis alérgicas. Los compuestos de cromo en estado de oxidación  $\text{Cr}^{6+}$  se absorben rápidamente después de la ingestión o la inhalación. La captación a través de la piel intacta es menos conocida. Los efectos irritantes y corrosivos del  $\text{Cr}^{6+}$  se producen inmediatamente después de la absorción a través de la mucosa, que es muy rápida. La exposición potencial de estos puede producir irritación o corrosión cutáneo-mucosa, reacciones cutáneas de tipo alérgico o ulceraciones de la piel. (Gunnar 2007).

De las especies normalmente presentes en las aguas superficiales, el  $\text{Cr}^{3+}$  es esencial para los seres humanos, pues promueve la acción de la insulina. En cambio, el  $\text{Cr}^{6+}$  es considerado tóxico por sus efectos fisiológicos adversos. No se conoce de daños a la salud ocasionados por concentraciones menores de 0,05 mg/L de  $\text{Cr}^{6+}$  en el agua.

El cromo metálico y los derivados del  $\text{Cr}^{6+}$  usualmente son de origen antropogénico. Por su naturaleza química, el  $\text{Cr}^{3+}$  difícilmente se encuentra con un pH mayor de 5, donde el cromo está, por lo general, en forma hexavalente. La erosión de depósitos naturales y los efluentes industriales que contienen cromo (principalmente de acero, papel y curtiembres), se incorporan a los cuerpos de aguas superficiales. La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en el agua, pues si está presente en grandes cantidades, el  $\text{Cr}^{6+}$  se reducirá a  $\text{Cr}^{3+}$ , que se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles. Estos complejos pueden permanecer en suspensión y ser incorporados a los sedimentos. La proporción de  $\text{Cr}^{3+}$  es directamente proporcional a la profundidad de los sedimentos. En teoría, el  $\text{Cr}^{6+}$  puede resistir en este estado en aguas con bajo contenido de materia orgánica, mientras que, con el pH natural de las aguas, el  $\text{Cr}^{3+}$  formará compuestos insolubles, a menos que se formen complejos. Se desconoce la proporción relativa de  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{6+}$  en las aguas. En el tracto gastrointestinal de los humanos y

los animales, se absorbe menos de 1 % del  $\text{Cr}^{3+}$  y alrededor de 10 % del  $\text{Cr}^{6+}$ . La forma química, la solubilidad del compuesto en agua y el tiempo de permanencia en los órganos modifican la velocidad de la absorción.

Los compuestos de  $\text{Cr}^{6+}$ , que son fuertes agentes oxidantes, tienden a ser irritantes y corrosivos; también son considerablemente más tóxicos que los compuestos de  $\text{Cr}^{3+}$  si la dosis y la solubilidad son similares. Se ha postulado que esta diferencia en la toxicidad puede estar relacionada con la facilidad con la que el  $\text{Cr}^{6+}$  atraviesa las membranas celulares y con su subsecuente reducción intracelular e intermediarios reactivos.

Se ha demostrado que el  $\text{Cr}^{6+}$  es carcinógeno para los seres humanos, mientras que el cromo y los derivados de  $\text{Cr}^{3+}$  aún no pueden clasificarse respecto a su carcinogenicidad. Debido a su gran solubilidad, el  $\text{Cr}^{6+}$  es más difícil de remover que el  $\text{Cr}^{3+}$ . La cloración puede convertir por oxidación el  $\text{Cr}^{3+}$  en  $\text{Cr}^{6+}$  y crear un problema en el tratamiento del agua.

A escala experimental, la remoción del cromo trivalente puede ser efectiva mediante la coagulación con alumbre o sulfato férrico, y en los sistemas de ablandamiento con cal. En este último proceso, el factor pH es muy importante.

Con un pH entre 10,6 y 11,3; la remoción puede llegar a 98 %, mientras que a 9,2; la eficiencia baja a 70 %. La remoción del  $\text{Cr}^{6+}$  es muy difícil mediante el tratamiento convencional de

coagulantes. Se ha encontrado que el sulfato ferroso es razonablemente efectivo como reductor del  $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$ . El ablandamiento cal-soda puede remover entre 80 y 90 % de  $\text{Cr}^{3+}$ , pero el  $\text{Cr}^{6+}$  no se remueve a pH 9,5. La EPA recomienda, como factor de seguridad, que el límite para cromo en fuentes de agua destinadas a consumo humano no exceda 0,1 mg/L como cromo total. Las guías de la OMS y del Canadá son más exigentes: 0,05 mg/L (Vargas et al. 2004).

#### **f) Dureza**

El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto, el magnesio y calcio son iones positivamente cargados; debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene calcio y magnesio (OMS 2006).

La dureza de las aguas refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto; el umbral del gusto es de: 100 - 300 mg/L y en concentraciones de 200 mg/L puede causar incrustaciones; el agua dura no tiene ningún riesgo a la salud pero puede crear problemas a los consumidores a partir de concentraciones superiores a 200 mg/L pueden afectar la tubería, los calentadores de agua y los lavaplatos; la aceptación de la dureza del agua por el público puede ser muy variable y está en función de las condiciones locales (Sawyer et al. 2000, OMS 2006).

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio. Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud. Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.

Un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Esta característica física es nociva, particularmente en aguas de alimentación de calderas, en las cuales la alta temperatura favorece la formación de sedimentos.

La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda. En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como  $\text{CaCO}_3$ ). Las normas de calidad no establecen un límite específico para la dureza en el agua para consumo humano (Vargas et al. 2004).

#### **g) Hierro**

La EPA considera al hierro como un contaminante secundario, es decir, una consideración estética antes que una consideración por la salud (Puentes, 2011).

El hierro está presente en una amplia variedad de aguas residuales industriales, incluyendo operaciones de minería, aguas residuales de la industria química, manufactura de tintas, procesamiento de metales, de fábricas textiles, refinación de petróleo y otros. El hierro existe en las formas férricas y ferrosas, dependiendo del pH y la concentración de oxígeno disuelto (Martínez 2002).

De todos los elementos trazas esenciales para la vida, el hierro es del que se requiere una mayor cantidad (Spiro 2004).

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua. Tiene gran influencia en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico. En la naturaleza se presenta en dos formas: asimilable y no asimilable.

En las aguas superficiales, el hierro puede estar también en forma de complejos organoférricos y, en casos raros, como sulfuros. Es frecuente que se presente en forma coloidal en cantidades apreciables.

Las sales solubles de hierro son, por lo general, ferrosas ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y la especie más frecuente es el bicarbonato ferroso:  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . En contacto con el oxígeno disuelto en el agua, las sales ferrosas se convierten en férricas por oxidación y se precipitan en forma de hidróxido férrico. Esta precipitación es inmediata con un pH superior a 7,5. Con un pH mayor de 2,2; el hidróxido férrico es insoluble. El ion ferroso lo es con un pH mayor de 6. De acuerdo con ello, las aguas subterráneas —que, por estar fuera del contacto con el aire, se encuentran en un medio natural fuertemente reductor— podrán tener en solución cantidades notables de hierro ferroso. Este metal en solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución. La remoción del hierro de las aguas crudas superficiales es relativamente fácil con los procesos comunes de remoción de la turbiedad, mediante los cuales su concentración puede bajar de 10 mg/L a 0,3 mg/L, que es la concentración recomendada para el agua de consumo. Sin embargo, es posible que haya problemas si el hierro está presente en complejos orgánicos inestables. Por consideraciones de sabor y debido a que los tratamientos convencionales pueden eliminar el hierro en estado férrico, pero no el hierro soluble  $\text{Fe}^{2+}$ , las guías de calidad de la OMS y del Canadá recomiendan que en las aguas destinadas al consumo humano no se sobrepase 0,3 mg/L de hierro (Vargas et al. 2004).

## **h) Manganeso**

Es un elemento esencial que está presente en la naturaleza en las rocas, el suelo y el agua. Las rocas de la corteza son una fuente importante del manganeso que se encuentra en la atmósfera. Otras fuentes naturales de manganeso atmosférico dignas de consideración son la pulverización de los océanos, los incendios forestales, la vegetación y la actividad volcánica. La reserva principal de manganeso en el suelo procede de fuentes de la corteza, aunque hay otras, como la deposición atmosférica directa, el lavado de superficies vegetales y de otro tipo, la lixiviación a partir de los tejidos vegetales, la diseminación o excreción de material como hojas, materiales muertos de origen vegetal y animal y los excrementos de los animales.

Dentro de las fuentes antropogénicas de manganeso son los vertidos de aguas residuales municipales, los fangos cloacales, la extracción de minerales y su elaboración, las emisiones procedentes de la fabricación de aleaciones de acero y de hierro, el consumo de combustibles fósiles, en una medida mucho menor, las emisiones procedentes de la combustión de aditivos de los combustibles.

Se encuentra en el medio acuático en dos formas principales en  $Mn^{2+}$  y  $Mn^{4+}$ . La conversión de una forma en otra se produce mediante reacciones de oxidación y reducción, que pueden ser abióticas o mediadas por los microorganismos (IPCS, 2004).

El manganeso es un elemento esencial para la vida animal; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central. Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro.

Comúnmente se encuentra en el agua bajo su estado reducido,  $Mn^{2+}$ , y su exposición al aire y al oxígeno disuelto lo transforma en óxidos hidratados menos solubles. En concentraciones mayores a 0,15 mg/L, las sales disueltas de manganeso pueden impartir un sabor desagradable al agua.

La presencia de manganeso en el agua provoca el desarrollo de ciertas bacterias que forman depósitos insolubles de estas sales, debido a que se convierte, por oxidación, de manganeso en solución al estado mangánico en el precipitado.

Esta acción es similar en el hierro. Por lo general, en el agua es más difícil de controlar el manganeso que el hierro. Su remoción se realiza formando sales insolubles, para lo cual, en muchos casos, es necesario el uso de oxidantes y un pH alto. Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS establecen como valor provisional 0,5 mg/L, pero las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan una concentración diez veces menor: 0,05 mg/L, por consideraciones principalmente relacionadas con el sabor y el olor del agua (Vargas et al. 2004).

### **i) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la cual representa una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica. Esta prueba consiste en una prueba usada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (Torres 2009).

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L. Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores.

La demanda bioquímica es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias durante cinco días a 20 °C. Se define como la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial, antes de la incubación, y el remanente después de cinco días de incubación a 20 °C. Un método analítico para determinarla es el yodométrico de Winkler (U.S.G.S. 2006).

### **j) Demanda química de oxígeno: DQO**

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente

mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. Compuestos inorgánicos que interfieren con el ensayo, como los cloruros, pueden causar resultados erróneos de DBO. La interferencia por cloruros se elimina agregando sulfato mercuríco para formar  $\text{HgCl}_2$  y prevenir el consumo de dicromato por el ion cloruro. (Romero 2000).

#### **k) Mercurio**

El mercurio o azogue es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente debido a su alta presión de vapor, convirtiéndolo en un contaminante óptimo por su capacidad para generar reacciones químicas en las que pueden participar microorganismos que lo utilizan en sus procesos energéticos, incorporándolas al medio ambiente en una transición de compuestos inorgánicos a orgánicos todas las formas de Hg se transforman en metil mercurio  $\text{Hg}^{2+}$  en el agua por reacción con  $\text{O}_2$  el metil mercurio es hidrosoluble y liposoluble (Osores et al. 2010).

El mercurio (Hg) es el único metal líquido en condiciones ordinarias. Es extraído de manera predominante como HgS en mineral cinabrio y es entonces convertido químicamente en una gran variedad de formas y compuestos químicos. Aplicaciones

industriales y comerciales claves del mercurio se encuentran en la producción electrolítica de cloro y sosa cáustica; la fabricación de equipo eléctrico, termómetros y otros instrumentos; producción de pigmentos y pinturas; amalgamas dentales y refinamiento de oro (Kosnett et al. 2000).

Considerado un contaminante global. Proviene principalmente de la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones volcánicas y la evaporación de las masas de agua. Es utilizado en pilas, lámparas y termómetros. También se usa en industrias químicas las principales fuentes de emisión de mercurio son la fabricación de cloro en celdas de mercurio, producción de metales no ferrosos y la combustión de carbón mineral (plantas generadoras de energía eléctrica a base de la incineración de carbón). Es toxico y no se lo encuentra naturalmente en organismos vivos. Algunos procesos biológicos naturales pueden generar compuestos metilados de mercurio que se acumulan en los organismos vivos, especialmente en peces.

El metil mercurio es muy toxico y provoca enfermedades neurológicas. La principal ruta de ingreso a los seres humanos es por la cadena alimentaria (Schinitman 2008).

Se considera al mercurio un contaminante no deseable del agua. El mercurio es un metal pesado muy tóxico para el hombre en las formas aguda y crónica. En el tracto intestinal las sales mercuriosas son menos solubles que las mercúricas y, por lo

tanto, son menos nocivas. Se considera que dosis de 20 y 50 mg/L en la forma mercúrica son fatales.

En el agua, el Hg se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De estos, puede trasladarse al plancton, a las algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como los peces, las aves rapaces e incluso al hombre.

El mercurio metálico y el inorgánico se convierten en mercurio metilado por medio de procesos biológicos que se producen en el agua contaminada con este metal. Tanto el dimetil mercurio  $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$  como el ion metilo de mercurio  $\text{HgCH}_3^+$  son absorbidos por los tejidos de los organismos vivos. Estas especies químicas se bioacumulan, permanecen durante largos periodos en los tejidos y pueden incorporarse en la cadena alimentaria biomagnificándose.

La permeabilidad del mercurio elemental en los lípidos es más alta que la de la forma ionizada y, en consecuencia, el HgO puede atravesar las barreras hematoencefálica y placentaria. La absorción gastrointestinal de sales de mercurio divalentes o monovalentes a partir de los alimentos es de aproximadamente 20 % del Hg ingerido (Vargas et al. 2004).

En términos de su toxicidad y sus efectos adversos sobre la salud, el metilmercurio es la forma más importante de mercurio

orgánico. Sus efectos son básicamente neurotóxicos y genotóxicos.

Los niveles aceptables de ingestión de mercurio se basan en evidencias epidemiológicas mediante las cuales se sabe que la menor concentración de metilmercurio en la sangre asociada con síntomas tóxicos es 0,2 microgramos por gramo de peso, que corresponde a una prolongada y continua ingestión de 0,3 mg/70 kilogramos por día.

Las pruebas realizadas en plantas piloto demuestran que la remoción de mercurio inorgánico depende del pH y de la turbiedad del agua y tienen poca dependencia de la concentración de mercurio, cuando se encuentra entre 0,003 y 0,016 mg/L.

Experimentalmente, se ha comprobado que el tratamiento convencional de coagulación–filtración mediante aluminio o sulfato férrico puede remover entre 70 y 80 % de mercurio inorgánico en aguas crudas turbias. Sin embargo, en aguas claras la remoción puede reducirse a la mitad o menos.

La coagulación con sulfato férrico (17 mg/L) probó ser 66 % efectiva con pH 7 y 97 % con pH 8. El sulfato de aluminio es menos eficiente y logra solamente 38 % de efectividad a pH 8.

La turbiedad desempeña un papel importante en la reducción de las concentraciones de mercurio en el agua, pues experimentalmente se ha demostrado que con turbiedades mayores de 100 NTU, la eficiencia crece sustantivamente.

Con respecto al mercurio orgánico, el proceso de ablandamiento con cal es moderadamente efectivo y dependiente del pH y llega a 30 % con pH 9,4 y alcanza entre 60 y 80 % con pH entre 10,7 y 11,4. Se ha probado experimentalmente que las resinas de intercambio iónico son efectivas en la remoción de mercurio hasta 98 %, tanto en la forma orgánica como inorgánica.

Sobre la base de las consideraciones mencionadas, la EPA recomienda no exceder el límite de 0,002 mg/L como mercurio total. Las guías de la OMS y del Canadá recomiendan una concentración máxima de 0,001 mg/L (Vargas et al. 2004).

#### **1) Nitritos y nitratos**

El nitrato se deriva de dos fuentes: naturales y artificiales. En las aguas superficiales de las primeras, los nitratos se originan de la descomposición por microorganismos de la materia nitrogenada orgánica, como las proteínas y excretas de las plantas y animales. Las segundas son los fertilizantes nitrogenados utilizados en los cultivos agrícolas (Pacheco et al. 2002). Además, los nitratos son responsables del fenómeno de la eutrofización, la cual es el enriquecimiento desmesurado del agua con nutrientes (Orozco et al. 2005).

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos.

La presencia de nitratos y nitritos no es extraña, especialmente en aguas almacenadas en cisternas en comunidades rurales. Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, es difícil establecer cuál es el nivel de una dosis nociva. Los nitritos tienen mayor efecto nocivo que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no se presentan niveles mayores de 1 mg/L y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado. Es importante destacar que, aunque el agente responsable de esta enfermedad son los nitritos, debido a que estos se forman naturalmente a partir de los nitratos, un factor determinante en la incidencia de esta enfermedad es la concentración de nitratos en el agua y los alimentos. Para dar una idea de la gravedad y magnitud potencial de este problema, basta mencionar que los datos obtenidos a través del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (GEMS) indican que 10 % de los ríos estudiados en todo el mundo tenían concentraciones de nitratos por encima del límite recomendado por la OMS. Los estudios de GEMS también encontraron que en Europa 15 % de los ríos tenían concentraciones de nitratos hasta 45 veces mayores que la concentración natural. Los métodos tradicionales de floculación e incluso ablandamiento con cal no son efectivos para la remoción de nitratos. El más eficiente es el de resinas de intercambio iónico, que puede remover concentraciones tan altas como 30 mg/L y reducirlas hasta 0,5 mg/L en procesos continuos.

En la práctica, difícilmente los nitritos se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración. Por sus efectos adversos para la salud de los lactantes y porque no se tienen procesos definitivos para su remoción, el contenido de nitratos en aguas de consumo público no debe exceder, según la EPA, de 10 mg/L. Puesto que los nitritos tienen un efecto tóxico superior a los nitratos, el contenido no debe exceder de un mg/L; en ambos casos, medidos como nitrógeno (Vargas et al. 2004).

Durante la respiración de las algas y su posterior muerte, una fracción del nitrógeno celular vuelve al ciclo del nitrógeno en forma de amonio. La fracción remanente se recicla en forma de nitrógeno orgánico, que experimenta descomposición bacteriana y cuyo producto final es amonio (nitrificación). La desnitrificación por parte de los sedimentos en el fondo de la columna de agua puede ser uno de los principales mecanismos de pérdida en algunos sistemas. Tanto el amonio como el nitrato están disponibles para ser usado por las plantas, aunque por razones fisiológicas la forma preferida de nitrificación es el amonio (López, 2005).

#### **m) Plomo**

El plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5 000 antes de Cristo para aplicaciones en productos

metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65 %), agua (20 %) y aire (15 %) (Wright 2003).

Es el quinto elemento ubicado en el grupo IV A de la tabla periódica, cuyo número atómico es 82, masa molar 207,9 g/mol y estados de oxidación de 2 y 4; está presente en una cantidad de 13 ppm en la corteza terrestre, de 2,6 a 25 ppm en el suelo, 3 µg/L en el agua a corriente y < 0,1 mg/L en agua subterránea. (Eaton et al. 2005)

Es un metal no esencial, su uso básicamente es como aditivo en combustibles y en pinturas, además puede estar presente en cañerías de agua, baterías, juguetes, etc. Este metal ingresa al organismo por la vía respiratoria y gastrointestinal hasta llega al torrente sanguíneo, se acumula en los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo hemo, ocasionando así la anemia, luego de un tiempo genera alteraciones en el sistema nervioso, hasta llegar al sistema renal y huesos, donde puede permanecer hasta el resto de la vida. (Fontana et al. 2012).

El plomo solía ser muy común en la gasolina y pintura de casas en los Estados Unidos. Los niños que viven en ciudades con casas viejas tienen mayor probabilidad de tener niveles altos de plomo.

De hecho, hay lugares existen lugares de trabajo que usan plomo tal es el caso de las fábricas de baterías. El

contacto de plomo puede ser por medio de agua potable, comidas y bebidas contaminadas, con juguetes, medicinas tradicionales, cosméticos y con la tierra, polvo, agua, aire de las cercanías de minas y fundiciones (Poma 2008).

Las fuentes naturales por lo general contienen plomo en concentraciones que varían notoriamente, desde trazas hasta altas concentraciones que contaminan definitivamente el recurso hídrico.

El plomo es un metal pesado en esencia tóxico; puede provocar en el hombre intoxicaciones agudas o crónicas. Es causa de la enfermedad denominada saturnismo.

Es un elemento con gran capacidad de bioacumulación; afecta prácticamente a todos los órganos, tanto de los seres humanos como de los animales. Los sistemas más sensibles a este metal son el nervioso (especialmente, en los niños), el hematopoyético y el cardiovascular.

En instalaciones antiguas, la mayor fuente de plomo en el agua de bebida proviene de las tuberías de abastecimiento y de las uniones de plomo. Si el agua es ácida, puede liberar gran cantidad de plomo de las tuberías, principalmente en aquellas en las que el líquido permanece estancado por largo tiempo. Aun en el agua estancada por corto tiempo en una tubería de cobre-plomo, la

concentración de este último metal puede llegar a hasta 100  $\mu\text{g}$  Pb/L.

La coagulación con aluminio con un pH de 6,5 a 7 puede lograr una remoción de 60 a 80 %. Con pH mayores de 9,5 la eficiencia de remoción sube a 90 %. Cuando las aguas crudas de baja turbiedad contienen una alta concentración de plomo, el sulfato férrico puede ser más efectivo para su remoción (Barrenechea 2004).

El ablandamiento cal-soda con un pH entre 7 y 11 puede remover por encima del 90 % de plomo en el agua. Debido a que la exposición al plomo es muy común y por el peligro potencial que representa, las concentraciones de este metal en el agua deben ser las más bajas posibles.

La EPA ha establecido una concentración máxima de 0,015 mg/L, que denomina nivel de acción; es decir, una concentración límite que sirve como un aviso para que el personal de los sistemas públicos de suministro de agua tome medidas de tratamiento (si es necesario, adicionales) cuando los niveles de las muestras de agua superen en más de 10 % los valores permitidos.

Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá especifican 0,05 mg/L mientras que la OMS es más exigente: 0,01 mg/L (Vargas et al. 2004).

### 3.4.2. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

Los coliformes fecales son un subgrupo de bacterias entéricas, que fermentan la lactosa a altas temperaturas de incubación (44,5 °C), por lo que también se les conocen como coliformes termotolerantes. Este grupo consiste principalmente de bacterias como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* y *Enterobacter sp.* (Eaton et al. 2005).

Las enfermedades de transmisión hídrica son causadas por bacterias, virus y parásitos (protozoarios y helmintos) que se encuentran en las heces de los individuos infectados y de ahí son las fuentes de contaminación del agua. Se controlan los niveles de coliformes fecales debido a la correlación que existe entre estos y las bacterias patógenas (Cortés-Lara, 2003).

La gran variedad de microorganismos patógenos que pueden encontrarse en una muestra de agua, así como la complejidad de la mayor parte de las técnicas de enriquecimiento y aislamiento e identificación, hacen inviable el control rutinario de todos estos microorganismos. Por esta razón se hizo necesario elegir microorganismos indicadores, que deben cumplir con los siguientes requisitos básicos (Vargas et al. 2004).

- Ser fáciles de cultivar en el laboratorio.
- Ser relativamente inocuos para el hombre y los animales.
- Su concentración debe tener relación con la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el agua.

La evaluación de la calidad microbiológica del agua de abastecimiento humano se efectúa mediante la determinación de indicadores. Los que comúnmente se utilizan son los coliformes totales, los coliformes termotolerantes (fecales), la *Escherichia coli* y las bacterias heterotróficas mesófilas aerobias viables.

Se han efectuado interesantes estudios con el objeto de conocer la relación que existe entre la presencia de determinados indicadores de contaminación en el agua de bebida y la prevalencia de enfermedades diarreicas.

Moe y colaboradores efectuaron un estudio epidemiológico en Cebú (Filipinas). Durante un año se realizó el control de la calidad del agua con cuatro indicadores bacterianos (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, enterococos y estreptococos fecales) y se efectuó un seguimiento epidemiológico de los cuadros de diarrea en niños menores de 2 años. Se observó una tasa altamente significativa de enfermedades diarreicas solamente en los niños que bebían agua con *Escherichia coli* en concentraciones mayores a 100/100 mL.

Esto sugiere que en los países en vías de desarrollo en los cuales la calidad del agua es de buena a regular -es decir, agua con ausencia o escaso número de *Escherichia coli*- y donde se presenta una alta tasa de enfermedades diarreicas producidas por microorganismos hidrottransmisibles, hay otros mecanismos que cumplen un rol importante en la transmisión de dichas enfermedades. Entre estos mecanismos están las condiciones de almacenamiento del agua y la

forma de preparar y almacenar los alimentos que han estado en contacto con el agua contaminada. Estos factores favorecen la multiplicación de algunas bacterias patógenas procedentes del agua contaminada y la producción de toxinas, lo cual incrementa la tasa de enfermedades diarreicas.

**Grupo coliforme.** Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las enterobacteriáceas. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35 - 37 °C en un lapso de 24 a 48 horas y producir ácido y gas. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme (Vargas et al. 2004):

- *Klebsiella*
- *Escherichia*
- *Enterobacter*
- *Citrobacter*
- *Serratia*

De este grupo, la *Escherichia* y ocasionalmente la *Klebsiella* tienen la capacidad de fermentar la lactosa no solo a las temperaturas indicadas, sino también a 44,5 °C. A los miembros de este grupo se les denomina coliformes termotolerantes (fecales).

**Coliformes totales.** Los coliformes totales se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35 - 37 °C en 24 a 48 horas y producir ácido y gas. Tienen la enzima cromogénica B galactosidasa, que actúa sobre el nutriente indicador ONPG21. Este nutriente sirve como fuente de carbono y su efecto consiste en un cambio de color en el medio de cultivo. La reacción se detecta por medio de la técnica de sustrato definido. Las técnicas de análisis más conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana.

Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal.

**Coliformes termotolerantes (fecales).** Se sabe que la contaminación fecal del agua está relacionada con la transmisión de agentes patógenos por el agua. Por este motivo, se requieren métodos sensibles que permitan medir el grado de contaminación fecal. Se denomina coliformes termotolerantes a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Por este motivo, antes recibían la denominación de coliformes fecales; estos coliformes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos. Los coliformes termotolerantes crecen a una temperatura de incubación de 44,5 °C. Esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes.

Se miden por pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua. Las técnicas de análisis más conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana; actualmente el mercado ofrece otras técnicas más avanzadas, pero el empleo de las técnicas tradicionales está aprobado por los estándares internacionales.

*Escherichia coli*, es el principal indicador bacteriano en el agua. Diversos estudios han demostrado que la *E. coli* está presente en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente entre 10<sup>8</sup> y 10<sup>9</sup> por gramo de heces. No se multiplican en forma apreciable en el ambiente.

La *Escherichia coli* fermenta la lactosa y produce ácido y gas. Tiene la enzima cromogénica B glucuronidasa, que actúa sobre el nutriente indicador MUG22. Este nutriente sirve como fuente de carbono y su efecto se visualiza por la fluorescencia en el medio de cultivo. La reacción se detecta mediante la técnica de sustrato definido.

Con esta última técnica, es posible analizar *E. coli* directamente del agua. Su importancia como organismo indicador de contaminación fecal está adquiriendo más fuerza. Recuento en placa de bacterias heterotróficas mesófilas viables. El recuento en placa de bacterias heterotróficas detecta una amplia variedad de microorganismos, principalmente bacterias que son indicadoras de la calidad microbiológica general del agua.

Se ha comprobado que el conteo total es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección. Para su determinación, se emplea una prueba sencilla y de bajo costo. Los métodos son vertidos en placa, difusión en superficie y filtración con membrana. Se emplea un medio de cultivo rico en nutrientes, como el extracto de levadura. La incubación se realiza durante 48 horas a 35 °C.

Como se puede apreciar, la evaluación de la calidad microbiológica está basada en la determinación de indicadores bacterianos: coliformes totales y coliformes termotolerantes, los cuales son removidos con mayor facilidad que los quistes de protozoarios. Esto quiere decir que la ausencia de coliformes no indica en forma absoluta la ausencia de quistes. Ante un brote epidémico de enteroparásitos, no bastaría la determinación de coliformes, sobre todo cuando el agua es de origen superficial y ha sido sometida únicamente a la desinfección. A partir de numerosos estudios, se ha encontrado que en el agua superficial sin tratamiento existe una buena correlación entre la presencia de algas y la de protozoarios enteroparásitos y, en el agua tratada, entre la presencia de protozoarios y los niveles de turbiedad, así como con el conteo de partículas de 5 micrómetros (Vargas et al. 2004).

## CAPÍTULO IV

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en los ríos Mashcón, San Lucas y la descarga del efluente proveniente de las Lagunas de Estabilización de la Ciudad de Cajamarca.

En el río Mashcón se delimitó a 200 m aguas arriba, en referencia a la coordenada UTM (778513E, 9207252N) ubicado en el puente de la carretera Cajamarca a Baños del Inca y 200 m aguas abajo, en referencia a la coordenada UTM (778505E, 9207221N) ubicado en el puente de la carretera Cajamarca a Baños del Inca.

En el río San Lucas se delimitó a 100 m aguas arriba de la coordenada UTM (778774E, 9207687N) ubicado en el lecho del río.

En la descarga del efluente proveniente de las lagunas de estabilización se delimito a 10 m aguas arriba de la coordenada UTM (778766E, 9207518N) ubicado en la descarga al río Mashcón.

El río Mashcón recibe las descargas de los ríos Porcón, Grande, Sambar, Shultín, Yanayaco, Paccha y San Lucas. Presenta una superficie de cuenca aproximada de 270,07 km<sup>2</sup> su cauce principal recorre una longitud aproximada de 21,05 km con dirección oeste – este.

Los ríos Porcón y Grande son las fuentes de captación de agua potable para la ciudad de Cajamarca. La captación del río Porcón se encuentra en la cota 2 751

m.s.n.m. en el sector Huambocancha Alta y la captación del río Grande se encuentra en la cota 2 869 m.s.n.m. en el sector de Llushcapampa Alta, ambas captaciones se construyeron en el año 1980.

Desde el año 1992 en la cuenca alta del río Mashcón, específicamente en el área de las microcuencas de sus tributarios Rejo y Porcón, se desarrolla explotación aurífera por parte de la empresa minera Yanacocha S.R.L. Como consecuencia del movimiento de tierras de la actividad minera, se ha puesto en ejecución el Proyecto Integral de Manejo de Sedimentos con el objetivo de mitigar el transporte de sedimentos que pudieran afectar a las captaciones de agua y a las plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad de Cajamarca y del valle; para lo cual se ha construido dos captaciones, una sobre el río Grande y otra sobre el río Porcón.

El río San Lucas atraviesa la ciudad de oeste a este, hasta desembocar en el río Mashcón, sus tributarios más importantes son los ríos: Tres Ríos, Ronquillo y Urubamba. Presenta un área de cuenca aproximada de 67,18 km<sup>2</sup> y un recorrido de cauce principal de 16,4 km se encuentra canalizado desde la intersección de la Av. 13 de Julio (Arco del Triunfo) y el Jr. Del Comercio hasta la intersección de la Av. Evitamiento Norte con el Jr. El Inca (desembocadura de la quebrada Romero, a la altura del puente amarillo).

El río San Lucas es una de las fuentes de captación de agua potable para la ciudad de Cajamarca, la toma se encuentra en el sector de El Ronquillo a 2 830 m.s.n.m. En épocas de lluvias la escorrentía superficial se incrementa considerablemente, ocasionando problemas de inundación en la zona baja de la ciudad, donde la sección del cauce se obstruye debido al transporte de

sedimentos y residuos sólidos. En época de estiaje no presenta peligro de inundación.

#### **4.2. Diseño y nivel de estudio**

El diseño de este estudio es no experimental, longitudinal a un nivel descriptivo, donde las muestras se tomaron en el lecho de los ríos Mashcón, San Lucas y en el efluente de las lagunas de estabilización, en un diámetro aproximado de 400 metros (figura 1) de la Estación H Mashcón del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, situado a 07°09'54" de latitud sur y 78°28'42" de longitud oeste, con una altitud de 2 515 m.s.n.m., temperatura media anual de 17,97 °C, humedad relativa de 68,92 % y precipitación total anual de 628 mm.

#### **4.3. Puntos de muestreo**

La elección de los puntos de evaluación fue una decisión muy importante al momento de la toma de las muestras, para esto se siguió las normas técnicas respectivas. Las ubicaciones de las estaciones de muestreo fueron evaluadas en gabinete y posteriormente definidas en campo, considerando su mayor representatividad, la ubicación de los puntos de muestreo fueron los siguientes:

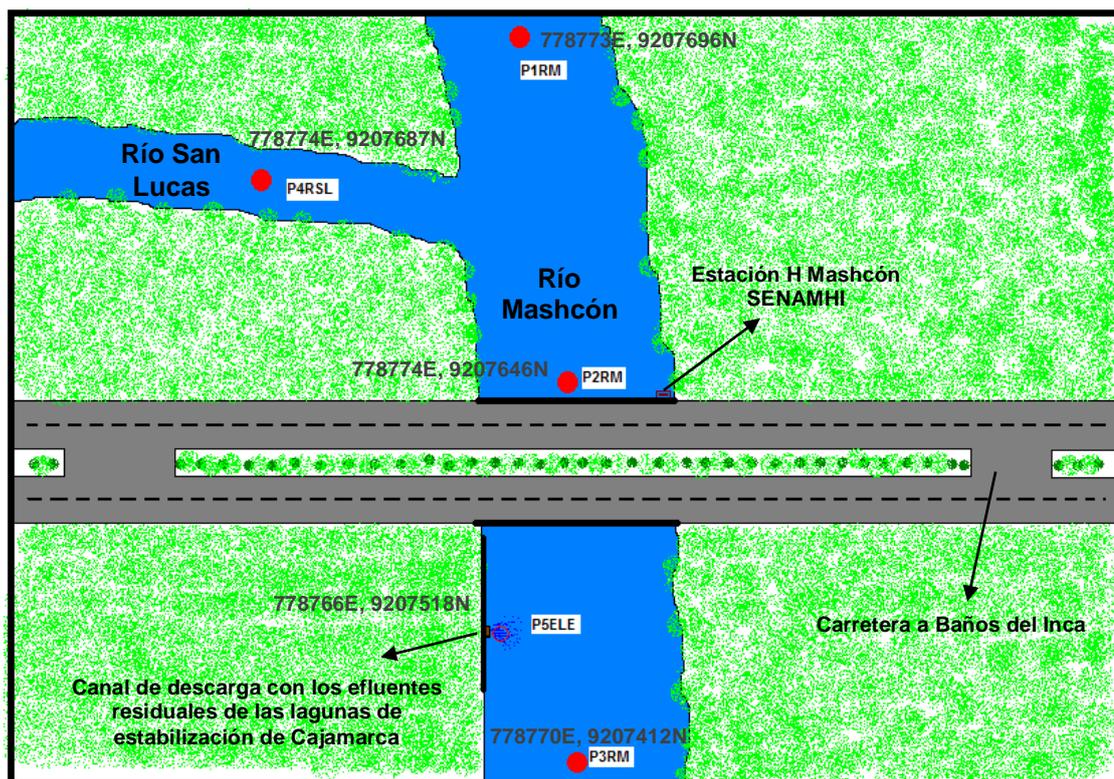
- ❖ Punto 1 Río Mashcón: para nuestro estudio denominado P1RM, ubicado con las coordenadas (778773E, 9207696N), representa el agua proveniente del río Mashcón antes de unirse a su tributario el río San Lucas (tabla 1, figura 1 y figura 27).
- ❖ Punto 2 Río Mashcón: para nuestro estudio denominado P2RM, ubicado con las coordenadas (778774E, 9207646N), representa la mezcla del agua del

río Mashcón y el río San Lucas con una carga diferente de contaminantes en estudio (tabla 1, figura 1 y figura 28).

- ❖ Punto 3 Río Mashcón: para nuestro estudio denominado P3RM, ubicado con las coordenadas (778770E, 9207412N), representa la mezcla de las aguas del río Mashcón, San Lucas y la descarga del efluente residual de las lagunas de estabilización de Cajamarca; además de las descargas industriales de la empresa lechera Gloria S.A.A. (tabla 1, figura 1 y figura 29).
- ❖ Punto 4 Río San Lucas: para nuestro estudio denominado P4RSL, ubicado con las coordenadas (778774E, 9207687N), representa el agua proveniente de la cabecera de cuenca y de las descargas de su paso por la ciudad de Cajamarca (tabla 1, figura 1 y figura 30).
- ❖ Punto 5 Efluente de las Lagunas de Estabilización: para nuestro estudio denominado P5ELE, ubicado con las coordenadas (778766E, 9207518N), representa a las aguas del efluente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca (tabla 1, figura 1 y figura 31).

**Tabla 1.** Coordenadas UTM de cada punto de muestreo en los ríos Mashcón, San Lucas y el efluente de las Lagunas de Estabilización.

LUGAR DE ESTUDIO	COORDENADAS UTM				
	P1RM	P2RM	P3RM	P4RSL	P5ELE
Río Mashcón	778773E 9207696N	778774E 9207646N	778770E 9207412N		
Río San Lucas				778774E 9207687N	
Efluente de las Lagunas de Estabilización					778766E 9207518N



**Figura 1.** Croquis de ubicación y coordenadas UTM de los puntos de muestreo en los ríos Mashcón, San Lucas y el efluente de las Lagunas de Estabilización de la ciudad de Cajamarca.

#### 4.4. Metodología de la toma de muestras

Los muestreos se realizaron en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre del año 2007. Por motivos ajenos al proyecto no se pudo realizar el muestreo en el mes de marzo por lo que se tuvo que correr el cronograma hasta el mes de septiembre.

Los parámetros que se analizaron in situ fueron: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), potencial hidrógeno (pH), con un medidor portátil modelo marca WTW-345i.

Para la recolección de las muestras se seleccionaron sitios en que el agua presentaba un flujo uniforme y en cada punto de evaluación seleccionada se colectaron muestras de agua, de acuerdo al protocolo establecido por el laboratorio certificado NKAP - Cajamarca. Para obtener muestras

representativas y no alteradas el material a utilizarse para la recolección y transporte, deben estar exentos de contaminantes por lo que los frascos de polietileno y vidrio fueron nuevos y limpios, para posteriormente ser lavados hasta por tres veces con agua del lugar de recolección, y luego tomar la muestra respectiva.

La frecuencia de monitoreo fue una por mes, durante 6 meses, y por cada punto de monitoreo se tomaron 2 muestras (llevándose una muestra al laboratorio Envirolab Perú S.A.C. de la ciudad de Lima y la otra al laboratorio NKAP S.R.L. de la ciudad de Cajamarca), por lo tanto se obtuvieron en total 10 muestras de los 5 puntos de monitoreo en cada mes; haciendo un total de 60 muestras recolectadas durante los 6 meses.

Los envases plásticos de 1 L de capacidad de las muestras fueron rotulados, con identificación de la procedencia, fecha y hora de muestreo, y debidamente conservados para su transporte y posterior análisis de: sólidos suspendidos totales (TSS), sólidos sedimentables (SS), demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ -N), coliformes totales, coliformes termotolerantes, y metales totales mediante un barrido por ICP-MS, como: aluminio, arsénico, cadmio, cromo, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, etc.

Los valores obtenidos en todos los puntos de muestreo fueron sometidos a pruebas de hipótesis con los ECAs para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, según el D.S. 015-2015-MINAM (Tabla 2); utilizando el programa estadístico Minitab V.17. A los parámetros sólidos disueltos totales, sólidos en suspensión totales, caudal, alcalinidad y dureza; no se les realizó la

prueba de hipótesis por no encontrarse ECAs para agua categoría 3 para estos parámetros.

En el apéndice 1 se muestran los parámetros para riego de cultivos y bebida de animales, establecidos en los ECAs para agua categoría 3, según D.S. 002-2008-MINAM; y en los apéndices 2, 3 y 4 se muestran de manera comparativa los distintos parámetros de acuerdo a los ECAs según los D.S. 002-2008-MINAM, D.S. 015-2015-MINAM y 004-2017-MINAM.

**Tabla 2.** Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, categoría 3 para riego de cultivos de tallo alto y bajo.

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARAMETRO	UNIDAD	RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	BEBIDA DE ANIMALES
<b>FISICO QUIMICO</b>			
Bicarbonatos	mg/L	518	**
DBO	mg/L	15	15
DQO	mg/L	40	40
Fosfatos-P	mg/L		
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L		
pH	Unidad de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
<b>INORGANICOS</b>			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0.1	0.2
Cadmio	mg/L	0.010	0.05
Cromo	mg/L	0.1	1
Hierro	mg/L	5	**
Manganeso	mg/L	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	0.001	0.010
Plomo	mg/L	0.05	0.05
Sólidos disueltos totales	mg/L		
Sólidos en suspensión totales	mg/L		
<b>BIOLOGICOS</b>			
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1000	1000
Coliformes totales	NMP/100 mL	1000	5000

**Fuente:** D.S. 015-2015 MINAM.

Los métodos a emplearse para cada uno de los indicadores se describen a continuación (tabla 3):

**Tabla 3.** Método a emplearse para determinar los parámetros fisicoquímicos y biológicos.

PARÁMETROS	INDICADORES	UNIDADES	MÉTODO
Físicos	Temperatura	°C	Termométrico
	pH	Unidad de pH	Potenciométrico
	Turbiedad	NTU	Nefelométrico
	Demanda bioquímica de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	Prueba de DBO de 5 días
	Demanda química de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	Método titulométrico
	Sólidos totales	mg/L	Gravimétrico
	Sólidos en suspensión totales	mg/L	Gravimétrico
	Caudal	m <sup>3</sup> /h	Aforación
Químicos	Concentración de aluminio	mg/L	Espectrométrico de absorción atómica (AAS)
	Concentración de arsénico	mg/L	Generación de hidruros
	Concentración de cadmio	mg/L	Espectrométrico de absorción atómica (AAS)
	Concentración de cromo *	mg/L	Espectrométrico de absorción atómica (AAS)
	Concentración de hierro	mg/L	Espectrométrico de absorción atómica (AAS)
	Concentración de manganeso	mg/L	Espectrométrico de absorción atómica (AAS)
	Concentración de mercurio	mg/L	AAS de vapor frío
	Concentración de plomo	mg/L	Espectrométrico de absorción atómica (AAS)
	Nitratos	mg/L	Cromatografía iónica
	Fosfatos	mg/L	Cromatografía iónica
	Dureza	mg/L	Método titulométrico de EDTA
	Alcalinidad	mg/L	Método de titulación electrométrica
Biológicos	Presencia de coliformes totales	P/A	Colimétrico / Numero más probable (NMP)
	Numero de coliformes totales	UFC/mL	Colimétrico / Numero más probable (NMP)
	Presencia de coliformes termotolerantes	P/A	Colimétrico / Numero más probable (NMP)
	Numero de coliformes termotolerantes	UFC/mL	Colimétrico / Numero más probable (NMP)

\* Determinación de cromo total mediante el método espectrométrico de absorción atómica (AAS) y para determinar  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{6+}$  mediante el método de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

### **Caudal**

Es la medición del flujo de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales. Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua. (CEPIS 2004).

Los caudales se midieron utilizando la técnica de aforo con flotadores; éste método es uno de los más sencillos, pero a su vez es el más impreciso; por lo tanto, su uso queda limitado a situaciones donde no se requiera mayor precisión. Éste método nos permite conocer la velocidad media para ser multiplicada por el área, y conocer el caudal, según la ecuación de continuidad.

El aforo se realizó de la siguiente manera:

- 1) Se toma un tramo de la corriente de longitud L.
- 2) Se mide el área A, de la sección.
- 3) Se lanza un cuerpo que flote, aguas arriba de primer punto de control, y al paso del cuerpo por dicho punto se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control corriente abajo.

Para conocer el área de la sección transversal del tirante de agua se hicieron mediciones con una regla graduada y acondicionada para tal fin; y con el uso del software AutoCAD se determinó el área en cada punto de muestreo (tabla 25, 26 y 27; figuras 22 y 23). Contando con el área mencionada y la velocidad promedio del agua se determinó los caudales, utilizando la siguiente fórmula:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V \text{ (m/s)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

Donde:

Q = Caudal del agua que puede estar expresado en m<sup>3</sup>/s y/o m<sup>3</sup>/h.

V = Velocidad media del agua.

A = Área de la sección transversal del flujo de agua expresado en m<sup>2</sup>.

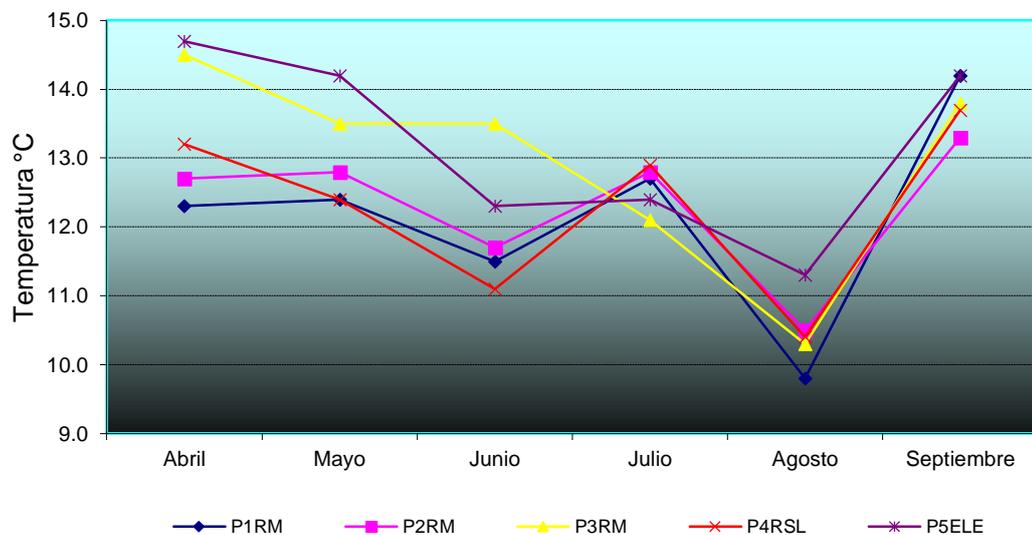
## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Temperatura del agua

**Tabla 4.** Temperatura (°C) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	12,3	12,4	11,5	12,7	9,8	14,2	12,2
P2RM	12,7	12,8	11,7	12,8	10,5	13,3	12,3
P3RM	14,5	13,5	13,5	12,1	10,3	13,8	13,0
P4RSL	13,2	12,4	11,1	12,9	10,4	13,7	12,3
P5ELE	14,7	14,2	12,3	12,4	11,3	14,2	13,2



**Figura 2.** Variación de temperatura del agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del 2007.

- Respecto a los promedios de temperatura, arrojaron valores de 12,3 °C en el punto de monitoreo (P1RM) y 13,2 °C en el punto de monitoreo (P5ELE); así mismo, se observa una tendencia a la baja, llegando a su punto más bajo en el

mes de agosto; debido posiblemente al invierno en el que nos encontramos en el hemisferio sur y a la presencia de heladas durante ésta época del año en el valle de Cajamarca, para luego aumentar al ir entrando en la estación de primavera. Sin embargo, no se encuentra valores de comparación establecido para la categoría 3: *Riego de vegetales y bebidas de animales* en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 002-2008-MINAM), pero en el D.S. 015-2015-MINAM ya establece un Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Agua para este parámetro cuya variación ( $\Delta$ ) es de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada, por lo que, dichas fluctuaciones son naturales y representativas de los ríos altoandinos (tabla 4 y figura 2).

**- Prueba de hipótesis**

Teniendo en cuenta que según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), la temperatura debe variar en  $\Delta 3$  °C con respecto a la temperatura promedio para riego de cultivos y bebida de animales.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras, correspondientes a la temperatura, se pudo observar un valor promedio de 12,57 °C; lo que, tomando en cuenta la variación de  $-/+ 3$  °C, se obtiene el intervalo 9,57 a 15,57 °C, por lo cual se planteó las siguientes hipótesis:

**1) Para el límite inferior:**

*H<sub>0</sub>: La temperatura de las muestras es igual a 9,57 °C.*

*H<sub>1</sub>: La temperatura de las muestras es mayor que 9,57 °C.*

Test of  $\mu = 9.57$  vs  $> 9.57$   
The assumed standard deviation = 1.31

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	Z	P
Temperatura	30	12.573	1.311	0.239	12.180	12.56	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$ , se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ : La temperatura de las muestras de los ríos es mayor a 9,57 °C. Por lo tanto en su límite inferior se ajusta a lo indicado por la variación.

## 2) Para el límite superior:

$H_0$ : La temperatura de las muestras es igual a 15,57 °C.

$H_1$ : La temperatura de las muestras es menor 15,57 °C.

Test of  $\mu = 15.57$  vs  $< 15.57$   
The assumed standard deviation = 1.31

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Temperatura	30	12.573	1.311	0.239	12.967	-12.53	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

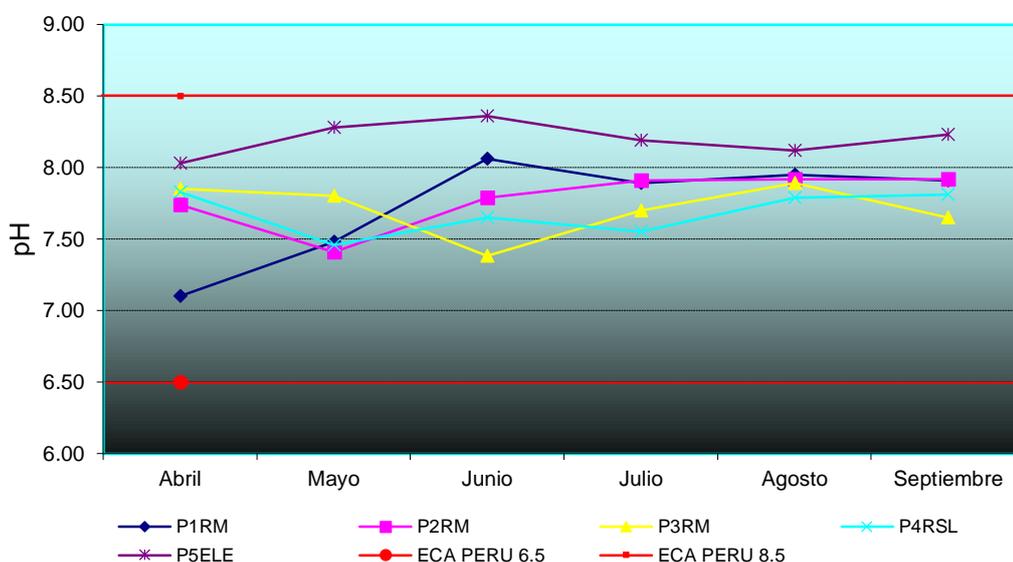
Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto, se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : La temperatura de las muestras de los ríos es menor a 15,57 °C. Por lo tanto en su límite inferior y superior se ajusta a lo calculado, teniendo en cuenta la variación de los ECAs. Es decir que el rango en el cual fluctúa la temperatura de las muestras, estadísticamente se encuentran entre 9,57 a 15,57 °C, aproximadamente para riego de cultivos y bebida de animales.

## 5.2 pH

**Tabla 5:** pH del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	7,10	7,48	8,06	7,89	7,95	7,91	<b>7,73</b>
P2RM	7,74	7,41	7,79	7,91	7,92	7,92	<b>7,78</b>
P3RM	7,85	7,80	7,38	7,70	7,89	7,65	<b>7,71</b>
P4RSL	7,83	7,46	7,65	7,55	7,79	7,81	<b>7,68</b>
P5ELE	8,03	8,28	8,36	8,19	8,12	8,23	<b>8,20</b>



**Figura 3.** Variación de pH del agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

- En cuanto a los promedios del potencial de hidrógeno (pH), los valores fluctúan entre 7,73 (P1RM) y 8,20 (P5ELE) encontrándose dentro del rango establecido como aceptables para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* del Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Agua de acuerdo al D.S. 002-2008-MINAM y al D.S. 015-2015-MINAM; pues los valores obtenidos para este parámetro, indican que éstas aguas poseen una reducida variación ligeramente alcalina como se puede apreciar en la tabla 5 y figura 3.

La medición del pH se realizó in situ, ya que éste puede variar con el transcurso del tiempo, debido a diversas causas, entre las cuales se encuentran la sobresaturación de CO<sub>2</sub>, como consecuencia de la presencia de plantas acuáticas o su contenido en el aire, reacciones químicas, temperatura, etc.

El punto P5ELE registra el mayor valor promedio de pH (8,20); debido a que en los procesos de depuración de aguas residuales mediante Lagunas de Estabilización, cuando estas aguas pasan de las lagunas de aireación a las lagunas facultativas, en ellas podemos encontrar una gran cantidad de algas verdes y euglenoideas que durante la noche producen gran cantidad de CO<sub>2</sub>, producto de su respiración, lo que genera gran concentración de carbonatos e hidróxidos en el medio. En concordancia con lo expuesto, Kevern (1989) manifiesta que el bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua. La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa.

**- Prueba de hipótesis**

Teniendo en cuenta que según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el pH se debe encontrar entre 6,5 a 8,5; para riego de cultivos. Para bebida de animales, éste se debe encontrar entre 6,5 a 8,4. Como no hay

diferencia significativa, se realizará, dos pruebas de hipótesis, tanto para el límite inferior (6,5) y superior (8,5), para cultivos y bebida de animales.

**1) Para el límite inferior:**

*H<sub>0</sub>: El pH de las muestras de los ríos es igual a 6,5.*

*H<sub>1</sub>: El pH de las muestras de los ríos es mayor 6,5.*

Test of  $\mu = 6.5$  vs  $> 6.5$   
 The assumed standard deviation = 0.2842

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	Z	P
PH	30	7.8217	0.2842	0.0519	7.7363	25.47	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la *H<sub>0</sub>*.

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la *H<sub>0</sub>*, y se acepta *H<sub>1</sub>: El pH de las muestras es mayor 6,5.*

Por lo tanto en su límite inferior se ajusta a lo indicado por los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM).

**2) Para el límite superior:**

*H<sub>0</sub>: El pH de las muestras es igual a 8,5.*

*H<sub>1</sub>: El pH de las muestras es menor a 8,5.*

Test of  $\mu = 8.5$  vs  $< 8.5$   
 The assumed standard deviation = 0.2842

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
PH	30	7.8217	0.2842	0.0519	7.9070	-13.07	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la *H<sub>0</sub>*.

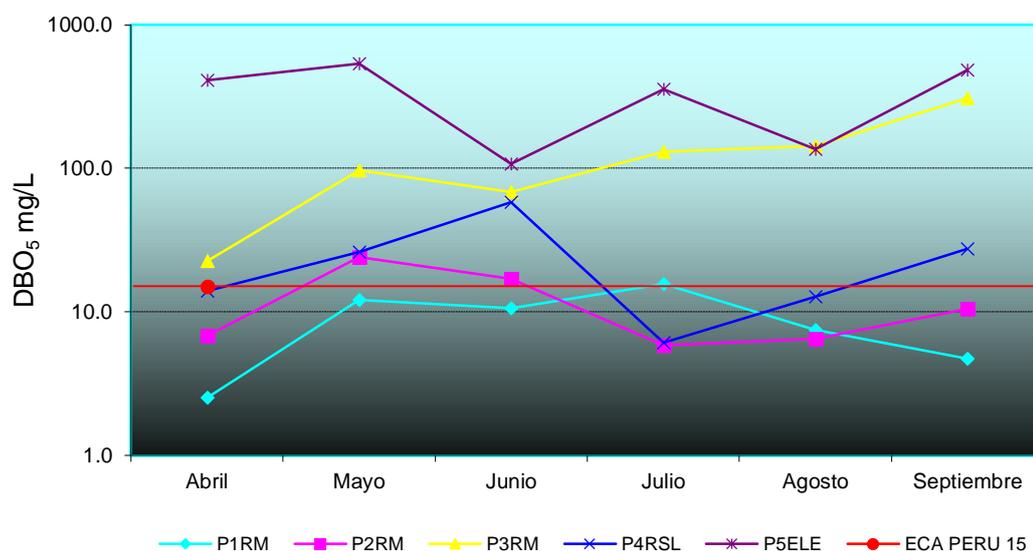
Al verificar el valor de  $p$  - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : *El pH de las muestras es menor a 8,5*. Por lo tanto en su límite inferior y superior se ajusta a lo indicado por los ECAs para agua categoría 3. Es decir que el rango en el cual fluctúa el pH de las muestras, estadísticamente se encuentran entre 6,5 y 8,5 aproximadamente, para riego de cultivos así como para bebida de animales.

### 5.3 Demanda bioquímica de oxígeno

**Tabla 6.** Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	2,5	12,1	10,6	15,6	7,5	4,7	<b>8,8</b>
P2RM	6,8	24,0	16,9	5,9	6,5	10,5	<b>11,8</b>
P3RM	22,6	97,3	68,5	130,5	143,6	307,3	<b>128,3</b>
P4RSL	14,0	26,0	58,3	6,1	12,7	27,5	<b>24,1</b>
P5ELE	412,5	535,9	107,3	354,3	136,6	484,9	<b>338,6</b>

Fuente: Laboratorios NKAP SRL: Reporte de Ensayo N° C-329-27-YMC, C-414-27-YMC, C-515-27-YMC, C-566-27-YMC, C-682-27-YMC, C-787-27-YMC).



**Figura 4.** Variación de la demanda bioquímica de oxígeno del agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

- Los valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) se encuentran entre 8,8 mg/L (en el punto P1RM) y 338,6 mg/L (en el punto P5ELE) siendo, los puntos P3RM, P4RSL y P5ELE, los que muestran concentraciones mayores a 15 mg/L, establecido para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad

Ambiental del Agua (D.S. 002-2008-MINAM y D.S. N° 015-2015-MINAM) como se visualiza en la tabla 6 y figura 4.

Según, Rigola (1999) manifiesta que la demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios. En general se refiere al oxígeno consumido en 5 días ( $DBO_5$ ) y se mide en ppm de  $O_2$ . Por otro lado menciona que en las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. Los valores encontrados muestran que el agua de los puntos P3RM y P5ELE poseen las concentraciones mayores de materia orgánica biodegradable; puesto que, al estar cerca estos dos puntos de la descarga del efluente de las lagunas de estabilización, las concentraciones de materia orgánica biodegradable son también elevadas, y al ser este parámetro un indicador de la cantidad de oxígeno que se necesitaría para biodegradar dicha materia orgánica presente en estas aguas, se corrobora que dichas aguas están en constante contaminación.

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), debe ser menor o igual a 15 mg/L, tanto para riego de cultivos y bebida de animales. Para probar lo antes indicado, solo se realizó una prueba de hipótesis.

Al realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras, correspondientes a  $DBO_5$ , se pudo observar un valor promedio de 102,32 mg/L, lo que supera muy holgadamente al valor indicado por los ECAs para agua categoría 3, riego de cultivos y bebida de animales, lo cual nos da indicios para poder plantear la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La demanda bioquímica de oxígeno es menor o igual a 15 mg/L.

$H_1$ : La demanda bioquímica de oxígeno es mayor a 15 mg/L.

Test of  $\mu = 15$  vs  $> 15$   
The assumed standard deviation = 153.99

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	Z	P
Demanda bioquímica de ox	30	102.3	154.0	28.1	56.1	3.11	0.001

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p- value = 0,001 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta la  $H_1$ : *La demanda bioquímica de oxígeno es mayor a 15 mg/L.*

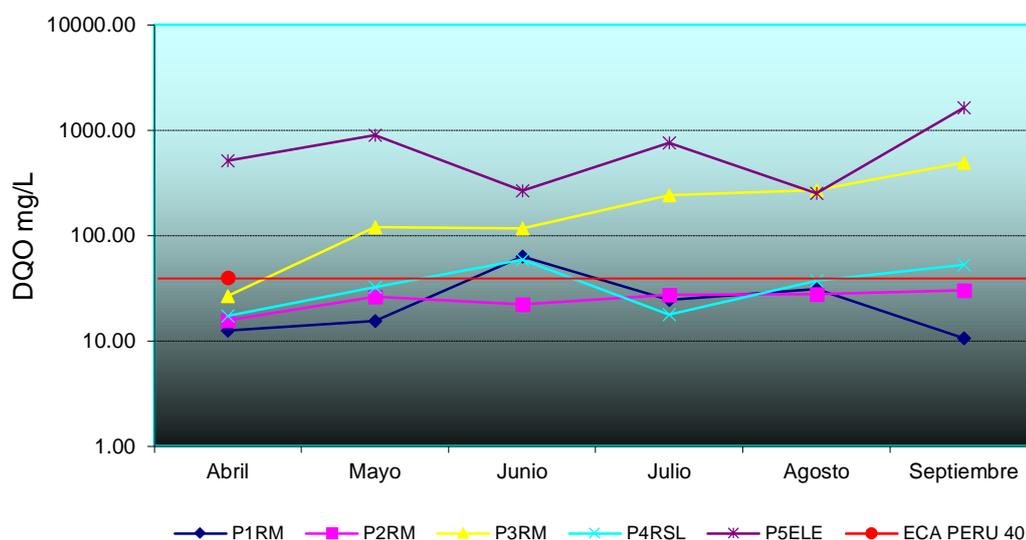
Por lo tanto, la DBO<sub>5</sub> estuvo sobre lo permitido por los ECAs para agua categoría 3, riego de cultivos y bebida de animales.

#### 5.4 Demanda química de oxígeno

**Tabla 7.** Demanda química de oxígeno (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	12,59	15,37	63,57	24,47	30,87	10,62	26,25
P2RM	15,73	26,13	22,17	27,18	27,78	30,34	24,89
P3RM	26,74	119,88	116,79	241,94	271,67	493,04	211,68
P4RSL	17,31	32,28	59,13	17,67	37,05	53,10	36,09
P5ELE	511,29	899,11	266,10	761,17	253,15	1638,41	721,54

Fuente: Laboratorios NKAP SRL: Reporte de Ensayo N° C-329-27-YMC, C-414-27-YMC, C-515-27-YMC, C-566-27-YMC, C-682-27-YMC, C-787-27-YMC).



**Figura 5.** Variación de la demanda química de oxígeno del agua en cada punto de muestreo, entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

- En cuanto a los valores promedio de la demanda química de oxígeno (DQO), se aprecia que en los puntos P1RM, P2RM y P4RSL son menores a 40 mg/L, lo que indica que estos valores se encuentran dentro de los valores estipulados en nuestros Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Pero en los puntos P3RM y

P5ELE los valores superan los 40 mg/L, lo cual indica que en estos dos puntos de evaluación hay una gran contaminación con materia orgánica no biodegradable superando lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua *categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales* (D.S. 002-2008-MINAM y D.S. N° 015-2015-MINAM).

La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO), son dos métodos principales para medir la calidad del agua en cuanto al contenido de materia orgánica (tabla 7 y figura 5) presente en el mismo: la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días ( $DBO_5$ ) que es una medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para oxidar la materia orgánica presente en la muestra de agua y la demanda química de oxígeno (DQO), que es la cantidad de oxígeno consumida para oxidar completamente la materia orgánica por medios de agentes químicos (Clair et al. 2001).

Los valores de DQO se relacionan con los de  $DBO_5$  en proporciones que varían de acuerdo a los componentes asociados a la materia orgánica en degradación. Esta relación es de gran importancia para el material contaminante. Por ejemplo, para aguas domésticas la relación  $DBO_5/DQO$  es de 0,4 a 0,8. Para aguas estabilizadas biológicamente la relación es menor que 0,12 (Romero 1999). Podemos establecer que  $DBO_5/DQO = 0,5$  denota un grado satisfactorio de biodegradabilidad (Singh 1971). En éste caso la relación  $DBO_5/DQO$  es de 0,332; 0,474; 0,606; 0,667 y 0,469, para los puntos de evaluación respectivamente; lo que indica una acentuada degradación biológica con ingreso de aguas domésticas y la presencia de substrato orgánico para el crecimiento microbiano.

- **Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), debe ser menor o igual a 40 mg/L, tanto para riego de cultivos y bebida de animales. Para probar lo antes indicado se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras, correspondientes a DQO, se pudo observar un valor promedio de 204,09 mg/L, lo que supera largamente al valor indicado por los ECAs para agua categoría 3, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La demanda química de oxígeno es menor o igual a 40 mg/L.

$H_1$ : La demanda química de oxígeno es mayor a 40 mg/L.

Test of  $\mu = 40$  vs  $> 40$   
The assumed standard deviation = 354.4

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	Z	P
DQO	30	204.1	354.4	64.7	97.7	2.54	0.006

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,006 se observa que es menor al  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : La demanda química de oxígeno es mayor a 40 mg/l.

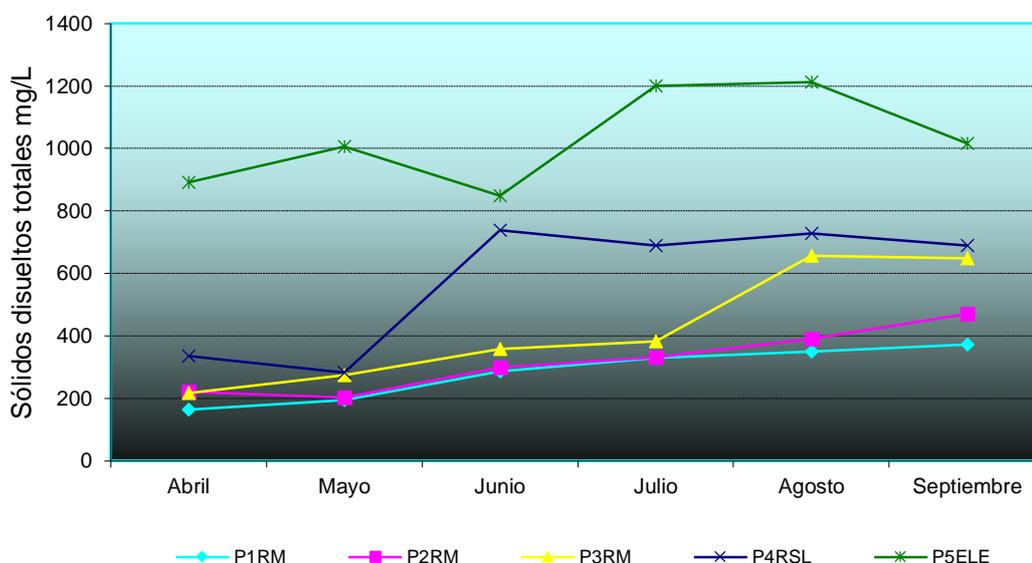
Por lo tanto para la DQO, estuvo sobre lo permitido por los ECAs, tanto para riego de cultivos como para bebida de animales.

## 5.5 Sólidos disueltos totales

**Tabla 8.** Concentración de sólidos disueltos totales (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	163	194	287	330	349	373	283
P2RM	221	202	298	332	391	470	319
P3RM	217	274	358	382	656	648	423
P4RSL	335	283	738	690	727	690	577
P5ELE	892	1 006	848	1 200	1 212	1 016	1 029

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 6.** Variación de la concentración de sólidos disueltos totales del agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Respecto a los sólidos disueltos totales, presentan valores promedio que fluctúan entre 283 mg/L (punto P1RM) y 1 029 mg/L (punto P5ELE); y no teniendo un estándar nacional para éste parámetro, se asume que, sus valores se ajustan a la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales de los Estándares

Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 8 y figura 6).

Según, Rigola (1999) el origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como en aguas superficiales. Las aguas de los puntos P3RM, P4RSL y P5ELE; son los que poseen las mayores concentraciones de sólidos disueltos totales, debido posiblemente a la gran carga orgánica que pasa por estos puntos, provenientes de la erosión de los suelos aguas arriba, las descargas de los efluentes de las lagunas de estabilización y los desechos arrojados a los ríos por los habitantes a lo largo de su recorrido.

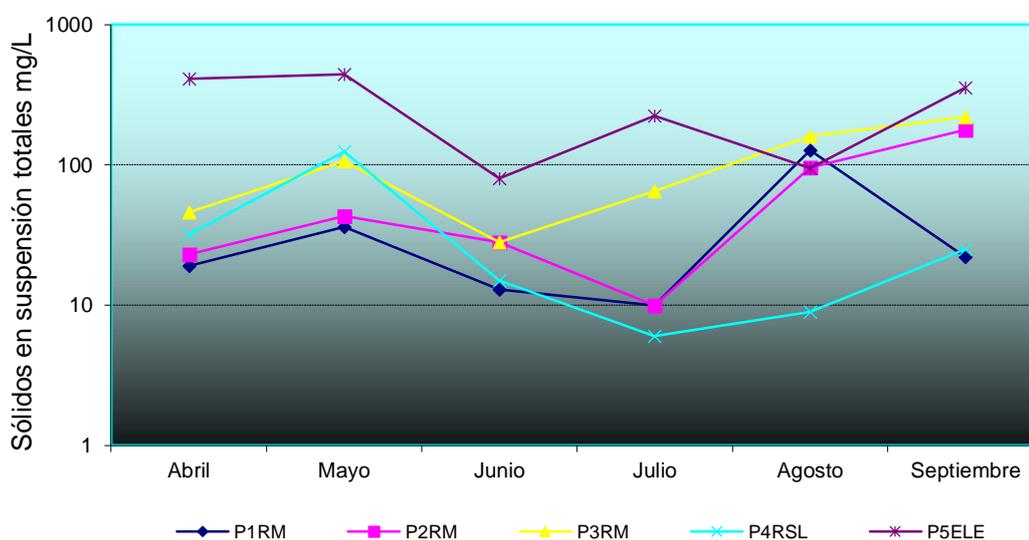
Para este parámetro no se realizó prueba de hipótesis debido a que no existe un valor de comparación en los ECAs nacionales para agua categoría 3.

## 5.6 Sólidos en suspensión totales

**Tabla 9.** Concentración de sólidos en suspensión totales (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	19	36	13	10	127	22	38
P2RM	23	43	28	10	96	178	63
P3RM	46	107	28	65	161	220	105
P4RSL	32	125	15	6	9	25	35
P5ELE	412	442	80	223	95	357	268

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 7.** Variación de la concentración de sólidos en suspensión totales de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- En lo concerniente a los sólidos en suspensión totales; éstos presentan valores que fluctúan entre 35 mg/L (punto P4RSL) y 268 mg/L (punto P5ELE), no encontrándose valores de comparación establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 9 y figura 7). En los puntos P3RM y P5ELE se describe un similar comportamiento que para los

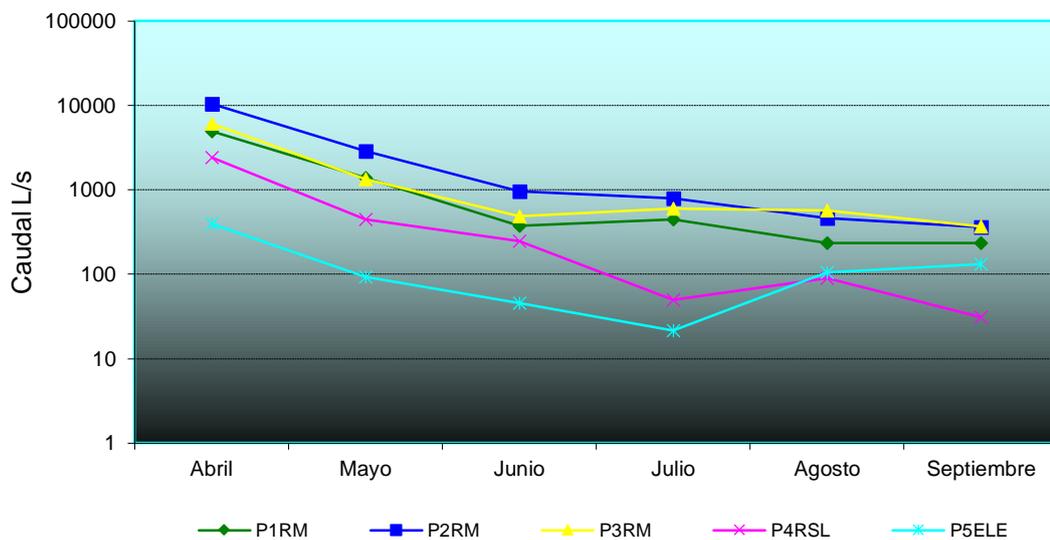
sólidos disueltos totales. Como afirma Rigola (1999) las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación.

Para este parámetro no se realizó prueba de hipótesis debido a que no existe un valor de comparación en los ECAs nacionales para agua categoría 3.

## 5.7 Caudales

**Tabla 10.** Caudales (L/s) del agua en cada punto de muestreo (abril – septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	4 897,5	1 386,8	372,8	447,2	233,9	153,8	<b>1 248,7</b>
P2RM	10 437,4	2 880,8	957,9	790,5	459,4	359,3	<b>2 647,6</b>
P3RM	6 074,0	1 347,7	484,5	601,3	567,7	366,1	<b>1 573,6</b>
P4RSL	2 415,3	443,9	247,4	50,0	90,4	30,9	<b>546,3</b>
P5ELE	396,1	93,39	45,67	21,46	105,3	132,7	<b>132,4</b>



**Figura 8.** Variación de los caudales de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007.

- Los caudales de los puntos monitoreados (P1RM, P2RM, P3RM y P4RSL); presentan un comportamiento de disminución del caudal, puesto que, a partir del mes de abril con el cambio de estación, las lluvias cesan paulatinamente provocando una reducción en los caudales de los ríos. Por otro lado, en el punto de monitoreo de los efluentes de las Lagunas de Estabilización de la ciudad de Cajamarca (P5ELE), presenta un incremento en su caudal entre los meses de julio a septiembre debido a la descarga directa de las aguas residuales por parte

de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Cajamarca - SEDACAJ S.A. (tabla 10 y figura 8).

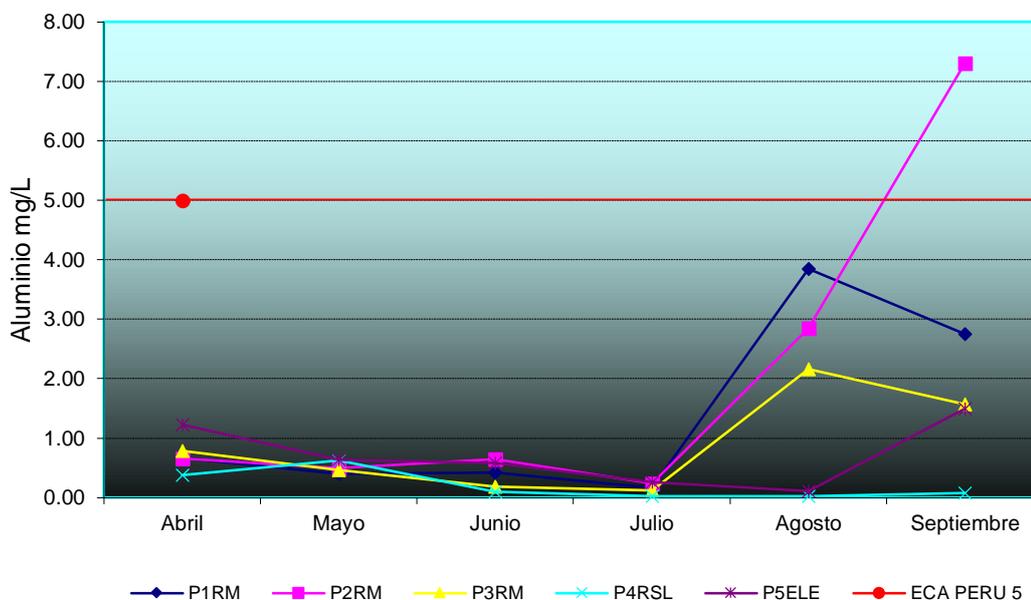
Para este parámetro no se realizó prueba de hipótesis debido a que no existe un valor de comparación en los ECAs nacionales para agua categoría 3.

## 5.8 Aluminio

**Tabla 11.** Concentración de aluminio (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
<b>P1RM</b>	0,67	0,40	0,42	0,16	3,85	2,75	<b>1,38</b>
<b>P2RM</b>	0,66	0,50	0,65	0,24	2,85	7,30	<b>2,03</b>
<b>P3RM</b>	0,79	0,46	0,18	0,12	2,16	1,57	<b>0,88</b>
<b>P4RSL</b>	0,38	0,63	0,10	0,02	0,02	0,08	<b>0,21</b>
<b>P5ELE</b>	1,23	0,64	0,58	0,26	0,11	1,50	<b>0,72</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 9.** Variación de la concentración de aluminio de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- En lo que se refiere al aluminio, en los puntos evaluados, este elemento se encuentra entre 0,21 mg/L (punto P4RSL) y 2,03 mg/L (punto P2RM). Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y

10 mg/L (Barrenechea 2004), quedando establecido en 5 mg/L como límite permisible para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 015-2015-MINAM), por ello, todos los valores nos indican que son menores a dicho estándar, a excepción del punto P2RM que en el mes de septiembre registró el valor más alto de 7,30 mg/L (tabla 11 y figura 9); posiblemente se deba a que el aluminio se encuentra presente en las aguas superficiales naturales, debido a la disolución que sufren los aluminosilicatos de las rocas y los sesquióxidos de aluminio de las arcillas presentes en los suelos durante los procesos de intemperización; además, las concentraciones de aluminio en las aguas naturales superficiales con pH casi neutro son por lo general bajas, como se aprecia en los valores de pH encontrados en el presente estudio; por otro lado se corrobora también, que durante los meses de máximos caudales los niveles de este elemento disminuyen debido a que el soluto (aluminio) es menor que el solvente (agua), ocurriendo lo contrario en los meses de mínimos caudales cuya concentración se ve aumentada.

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el aluminio debe ser menor o igual a 5 mg/L, tanto para riego de cultivos como para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis. Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para aluminio, se pudo observar un valor promedio de 1,04 mg/L, lo que representa una cantidad menor indicada por los ECAs (5 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La concentración de aluminio es igual a 5 mg/L.

$H_1$ : La concentración de aluminio es menor a 5 mg/L.

Test of  $\mu = 5$  vs  $< 5$

The assumed standard deviation = 1.51

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Aluminio Total	30	1.043	1.512	0.276	1.496	-14.35	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ , por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ : *La concentración de aluminio es menor a 5 mg/L.*

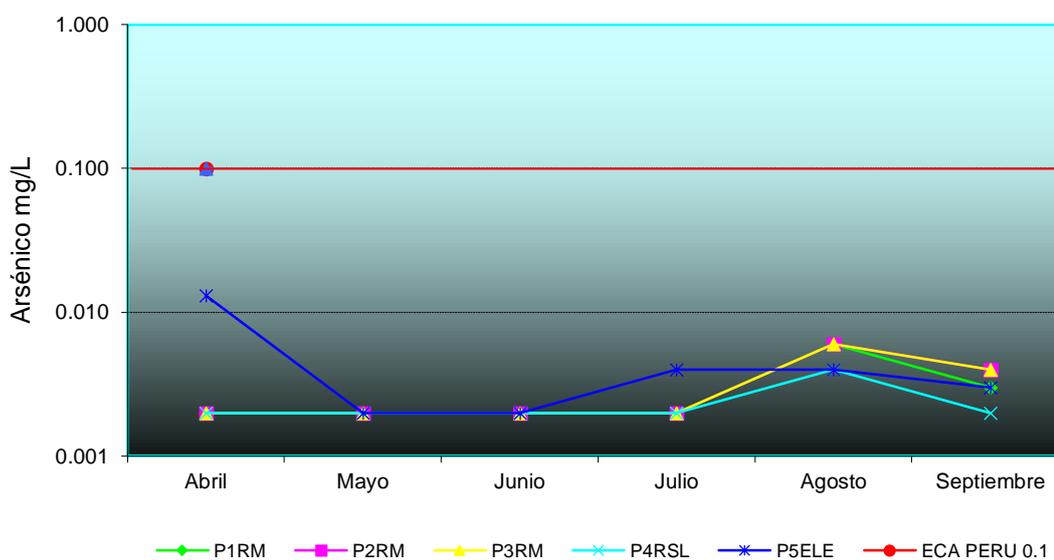
Por lo tanto, la concentración de aluminio estuvo bajo el límite establecido en los ECAs para agua categoría 3, riego de cultivos y bebida de animales.

## 5.9 Arsénico

**Tabla 12.** Concentración de arsénico (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
<b>P1RM</b>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,006	0,003	<b>0,003</b>
<b>P2RM</b>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	<b>0,003</b>
<b>P3RM</b>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	<b>0,003</b>
<b>P4RSL</b>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	<b>0,002</b>
<b>P5ELE</b>	0,013	0,002	0,002	0,004	0,004	0,003	<b>0,005</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 10.** Variación de la concentración de arsénico del agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Respecto al arsénico, se encontró valores para éste elemento entre 0,002 mg/L (P4RSL) y 0,005 mg/L (P5ELE), límite de cuantificación del método de análisis empleado por el laboratorio, siendo todos sus valores menores a 0,1 y 0,2 mg/L, establecido para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* de los

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 12 y figura 10). El arsénico puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre. Las concentraciones de arsénico en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L. Debido a sus efectos adversos sobre la salud y a la insuficiente información sobre su remoción del agua, la EPA y las guías canadienses recomiendan que el contenido de arsénico en fuentes de abastecimiento no exceda 0,05 mg/L (Barrenechea 2004).

Es probable, que las bajas concentraciones encontradas de este elemento en los diferentes puntos de muestreo, se deba a factores como la recarga de caudales durante los meses de mayor precipitación pluvial.

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el arsénico debe ser menor o igual a 0,10 mg/L (riego de cultivos), así como de 0,20 mg/L para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para arsénico, se pudo observar un valor promedio de 0,003 mg/L, lo que representa una cantidad menor de la indicada por los ECAs para riego de cultivos (0,10 mg/L), lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de arsénico es igual a 0,10 mg/L.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de arsénico es menor a 0,10 mg/L.*

Test of  $\mu = 0.1$  vs  $< 0.1$   
The assumed standard deviation = 0.0023

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Arsénico	30	0.003167	0.002276	0.000420	0.003857	-230.60	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ : *La concentración de arsénico es menor a 0,10 mg/L.*

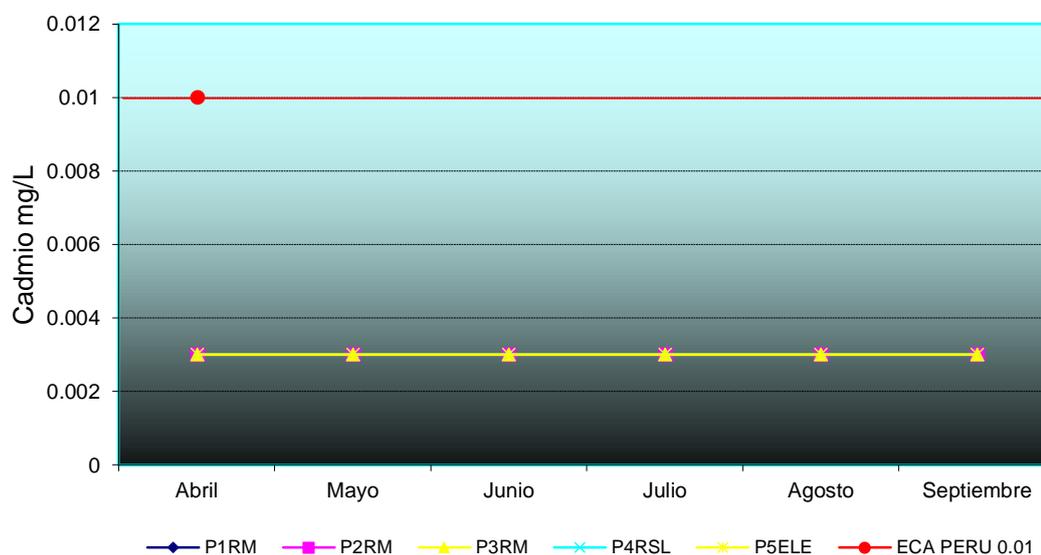
Por lo tanto, para la concentración de arsénico, en riego de cultivos estaría bajo lo permitido en los ECAs que es de 0,10 mg/L. Por lo tanto también lo estaría para bebida de animales que es de 0,20 mg/L.

## 5.10 Cadmio

**Tabla 13.** Concentración de cadmio (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril – septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	<b>0,003</b>
P2RM	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	<b>0,003</b>
P3RM	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	<b>0,003</b>
P4RSL	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	<b>0,003</b>
P5ELE	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	<b>0,003</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 11.** Variación de la concentración de cadmio de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- En lo que se refiere al cadmio, los valores promedios de las evaluaciones realizadas reportaron concentraciones de 0,003 mg/L en los cinco puntos de muestreo, límite de cuantificación del método de análisis empleado por el laboratorio, siendo todos sus valores menores a 0,005 y 0,01 mg/L, establecido para la categoría 3: *Riego de vegetales y bebidas de animales* de los Estándares

Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 002-2008-MINAM) y 0,01 y 0,05 mg/L, establecido para la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 13 y figura 11).

La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado puede provenir de la corrosión de los tubos galvanizados, de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escorrentía de baterías usadas o pinturas. Muchos pigmentos usados para la coloración de plásticos o la formulación de pinturas contienen concentraciones elevadas de cadmio (Barrenechea 2004).

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el cadmio debe ser menor o igual a 0,01 mg/L para riego de cultivos y de 0,05 mg/L para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los valores correspondientes para cadmio, se pudo observar un valor promedio de 0,003 mg/L, lo que representa una cantidad menor de lo indicado por los ECAs (0,01 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de cadmio es igual a 0,01 mg/L.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de cadmio es menor a 0,01 mg/L.*

Test of  $\mu = 0.01$  vs  $< 0.01$   
 The assumed standard deviation = 1.300000E-18

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Cadmio	30	0.003000	0.000000	0.000000	0.003000	-2.94928E+16	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ , por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ : *La concentración de cadmio es menor a 0,01 mg/L.*

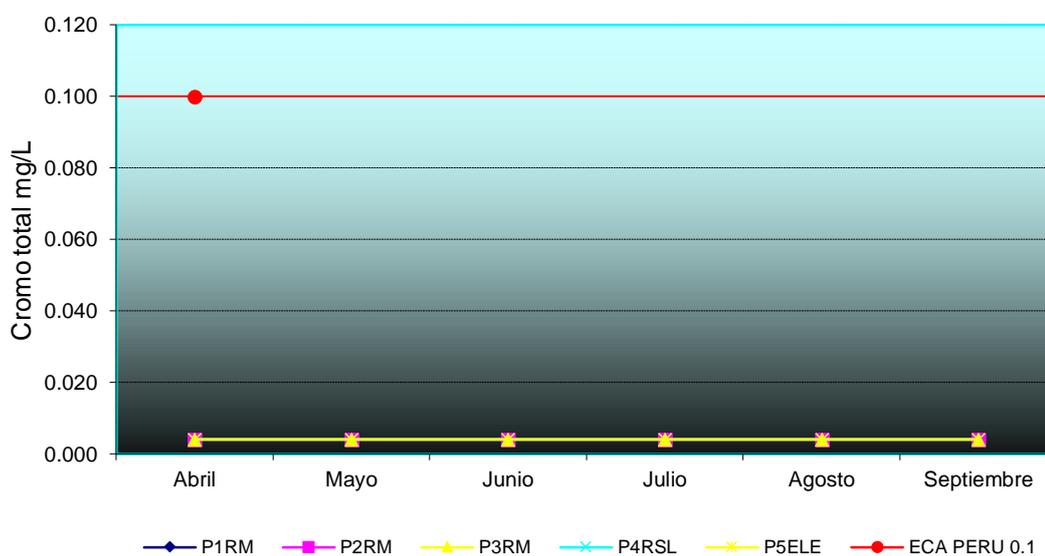
Por lo tanto, la concentración de cadmio para riego de cultivos estaría por debajo de lo permitido por los ECAs (0,01 mg/L); por lo tanto también lo estaría para bebida de animales (0,05 mg/L).

## 5.11 Cromo total

**Tabla 14.** Concentración de cromo total (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	<b>0,004</b>
P2RM	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	<b>0,004</b>
P3RM	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	<b>0,004</b>
P4RSL	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	<b>0,004</b>
P5ELE	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	<b>0,004</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 12.** Variación de la concentración de cromo total de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- En lo referente a las concentraciones de cromo total en las aguas monitoreadas, reportó valores promedio de 0,004 mg/L en todos los puntos, consiguientemente todos los valores son menores a 0,1 – 1,0 mg/L, establecido para la categoría 3:

*Riego de vegetales y bebidas de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 14 y figura 12).

En teoría, el  $\text{Cr}^{6+}$  puede resistir en este estado en aguas con bajo contenido de materia orgánica, mientras que, con el pH natural de las aguas, el  $\text{Cr}^{3+}$  formará compuestos insolubles, a menos que se formen complejos. Se desconoce la proporción relativa de  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}^{6+}$  en las aguas (Barrenechea 2004).

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el cromo total debe ser menor o igual a 0,10 mg/L para riego de cultivos y de 1 mg/L para bebida de animales. Pues bien para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para cromo total, se pudo observar un valor promedio de 0,004 mg/L, lo que representa una cantidad menor a lo indicado por los ECAs (0,10 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de cromo total es igual a 0,10 mg/L.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de cromo total -es menor a 0,10 mg/L.*

Test of  $\mu = 0.1$  vs  $< 0.1$   
The assumed standard deviation = 2.600000E-18

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Cromo Total ( Cr)	30	0.004000	0.000000	0.000000	0.004000	-2.02236E+17	0.000

\* NOTE \* All values in column are identical.

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de  $p$  - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ : *La concentración de cromo total es menor a 0,10 mg/L.*

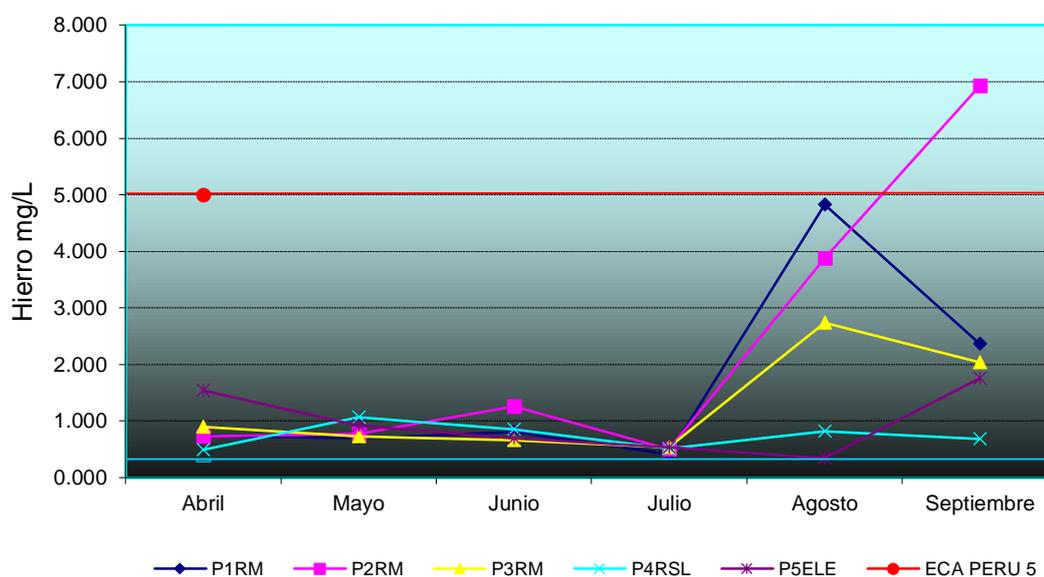
Por lo tanto, los valores de la concentración de cromo total, estaría por debajo de lo permitido en los ECAs para riego de cultivos (0,10 mg/L), así como también para bebida de animales cuyo estándar es de 1 mg/L.

## 5.12 Hierro

**Tabla 15.** Concentración de hierro (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	0,745	0,691	0,811	0,412	4,827	2,364	<b>1,642</b>
P2RM	0,724	0,768	1,257	0,497	3,883	6,928	<b>2,343</b>
P3RM	0,902	0,729	0,660	0,537	2,739	2,039	<b>1,268</b>
P4RSL	0,493	1,068	0,855	0,519	0,820	0,679	<b>0,739</b>
P5ELE	1,544	0,922	0,700	0,540	0,339	1,757	<b>0,967</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 13.** Variación de la concentración de hierro de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Los análisis de laboratorio determinaron concentraciones promedio de hierro que se encuentran entre 0,739 mg/L (punto P4RSL) y 2,343 mg/L (punto P2RM), siendo todos los valores menores a 5 mg/L, límite establecido para la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales de los Estándares Nacionales de

Calidad Ambiental del Agua (D.S. 015-2015-MINAM). Como valor guía provisional dado por la OMS, para calidad del agua para uso agrícola, establece 5,0 mg/L, cuyo valor también sirve como referencia (tabla 15 y figura 13). Por otro lado los valores del hierro se vieron incrementados principalmente en los puntos P1RM, P2RM y P3RM durante los meses de agosto y septiembre debido a la baja disolución, puesto que los caudales en estos meses disminuyeron drásticamente.

Además, Barrenechea (2004) afirma que el hierro tiene gran influencia en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico. En la naturaleza se presenta en dos formas: asimilable y no asimilable. En las aguas superficiales, el hierro puede estar también en forma de complejos organoférricos y, en casos raros, como sulfuros. Es frecuente que se presente en forma coloidal en cantidades apreciables.

#### - **Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el hierro debe ser menor o igual a 5 mg/L para riego de cultivos; pues, para bebida de animales no presenta valor en este parámetro. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para hierro, se pudo observar un valor promedio de 1,39 mg/L, lo que representa una cantidad menor a lo indicado por los ECAs (5 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de hierro es igual a 5 mg/L.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de hierro es menor a 5 mg/L.*

Test of  $\mu = 5$  vs  $< 5$   
The assumed standard deviation = 1.48

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Hierro Total	30	1.392	1.475	0.270	1.836	-13.35	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ : *La concentración de hierro es menor a 5 mg/L.*

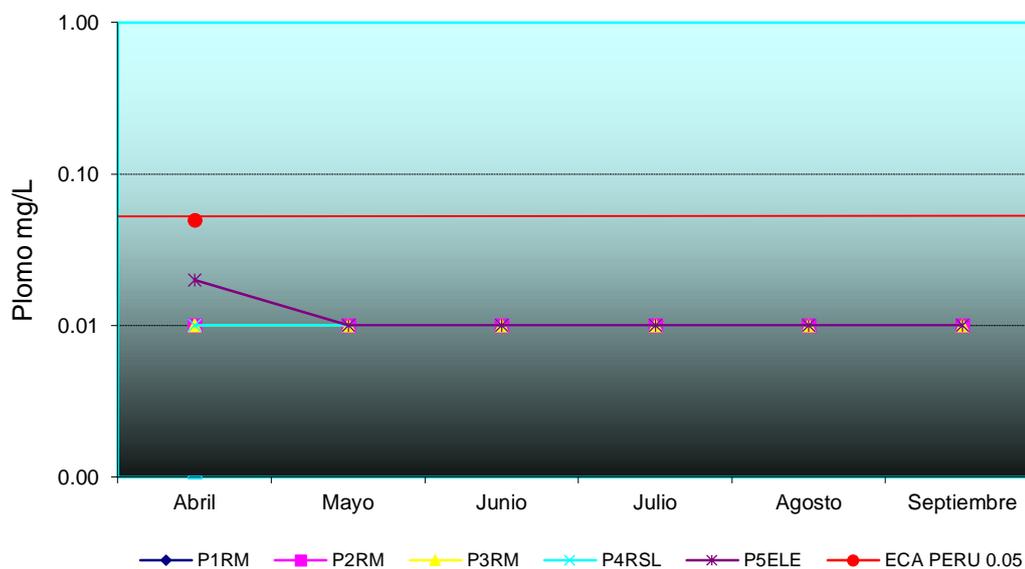
Por lo tanto, la concentración de hierro para la categoría 3 riego de cultivos estaría por debajo del límite permitido en los ECAs (5 mg/L).

### 5.13 Plomo

**Tabla 16.** Concentración de plomo (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
<b>P1RM</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
<b>P2RM</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
<b>P3RM</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
<b>P4RSL</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
<b>P5ELE</b>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 14.** Variación de la concentración de plomo de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

- Se reportaron concentraciones promedio de plomo igual a 0,01 mg/L, límite de cuantificación del método de análisis empleado por el laboratorio, siendo todos sus valores menores a 0,05 mg/L, establecido para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua - D.S. 002-2008-MINAM (tabla 16 y figura 14).

Las fuentes naturales por lo general contienen plomo en concentraciones que varían notoriamente. Se pueden encontrar desde niveles tan pequeños como trazas hasta concentraciones importantes que contaminan definitivamente el recurso hídrico (Barrenechea 2004). De lo mencionado por Barrenechea cabe destacar que en las aguas de los dos ríos evaluados así como del efluente de las lagunas de estabilización la presencia del plomo es insignificante.

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el plomo debe ser menor o igual a 0,05 mg/L para riego de cultivos, así como para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para plomo, se pudo observar un valor promedio de 0,01 mg/L lo que representa una cantidad menor a la indicada por los ECAs (0,05 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de plomo es igual a 0,05 mg/L.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de plomo es menor a 0,05 mg/L.*

Test of  $\mu = 0.05$  vs  $< 0.05$   
 The assumed standard deviation = 0.0018

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Plomo Total	30	0.010333	0.001826	0.000329	0.010874	-120.70	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la *H<sub>0</sub>*.

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la *H<sub>0</sub>* y se acepta *H<sub>1</sub>: La concentración de plomo es menor a 0,05 mg/L.*

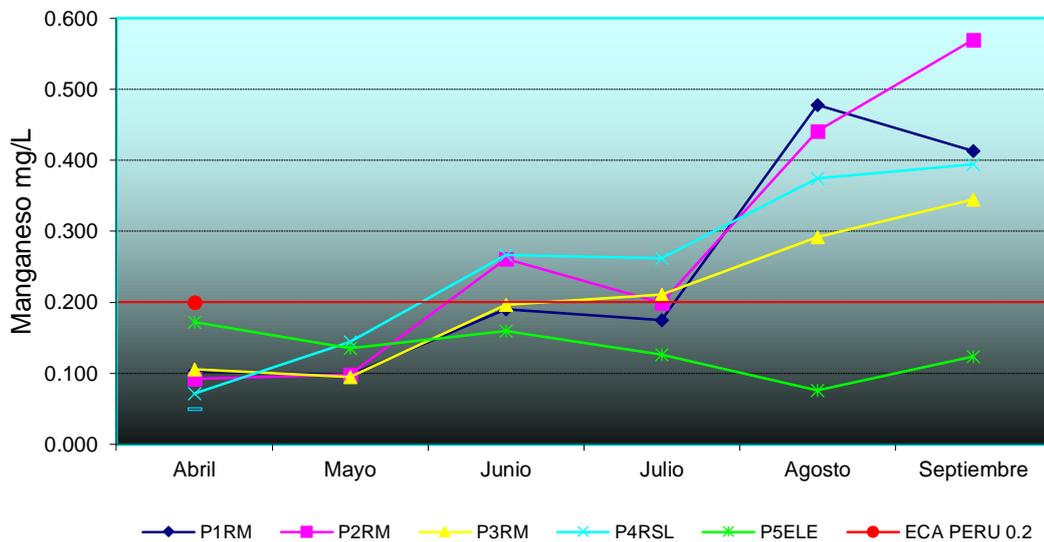
Por lo tanto, la concentración de plomo para riego de cultivos y bebida de animales estaría por debajo de lo permitido en los ECAs para agua categoría 3 (0,05 mg/L), pues es el mismo valor estándar.

## 5.14 Manganeso

**Tabla 17.** Concentración de manganeso (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	0,103	0,098	0,190	0,175	0,478	0,413	<b>0,24</b>
P2RM	0,092	0,099	0,261	0,199	0,441	0,570	<b>0,28</b>
P3RM	0,106	0,095	0,197	0,211	0,292	0,345	<b>0,21</b>
P4RSL	0,072	0,144	0,267	0,262	0,375	0,394	<b>0,25</b>
P5ELE	0,172	0,135	0,160	0,126	0,076	0,124	<b>0,13</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 15.** Variación de la concentración de manganeso de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Las concentraciones promedio de manganeso que se reportaron, se encuentran entre 0,13 mg/L (punto P5ELE) y 0,28 mg/L (punto P2RM), presentándose en los meses de agosto y septiembre concentraciones superiores a 0,2 mg/L, límites máximos establecidos para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua - D.S.

015-2015-MINAM (tabla 17 y figura 15). El incremento de las concentraciones del manganeso se debe a la disminución de los caudales, acentuándose en los meses de agosto y septiembre.

Según Barrenechea (2004), menciona que el manganeso es un elemento esencial para la vida animal; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central.

Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro. En concentraciones mayores a 0,15 mg/L, las sales disueltas de manganeso pueden impartir un sabor desagradable al agua (Barrenechea 2004).

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el manganeso debe ser menor o igual a 0,20 mg/L para riego de cultivos y bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras, correspondientes para manganeso, se pudo observar un valor promedio de 0,22 mg/L, lo que representa una cantidad mayor a la indicada por los ECAs (0,20 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permite plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de manganeso es igual a 0,22 mg/L.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de manganeso es mayor a 0,22 mg/L.*

Test of  $\mu = 0.2$  vs  $> 0.2$   
The assumed standard deviation = 0.13

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	Z	P
Manganeso	30	0.2224	0.1349	0.0237	0.1834	0.94	0.173

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,173 se observa que es mayor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se acepta la  $H_0$ : *La concentración de manganeso es igual a 0,22 mg/L.*

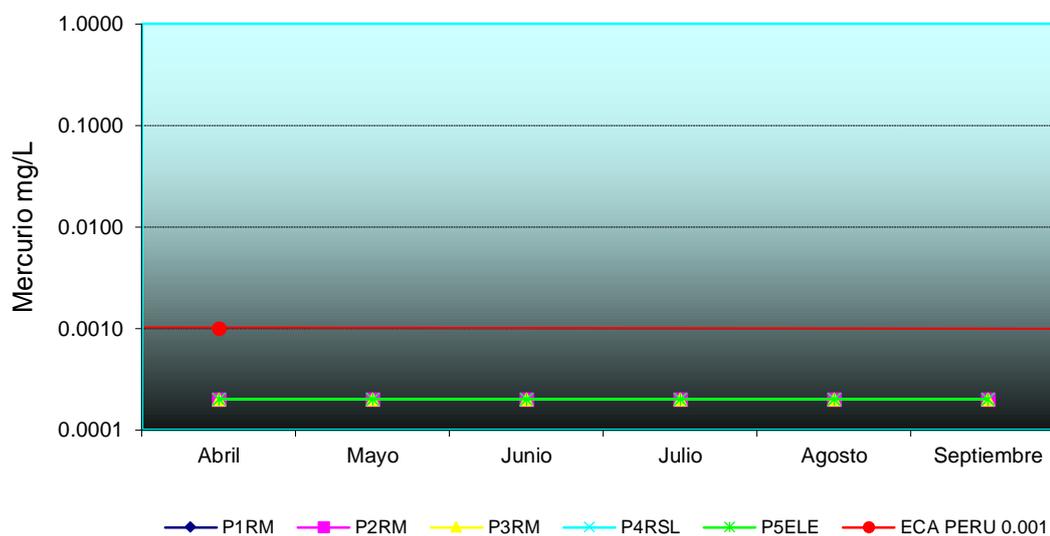
Por lo tanto, para la concentración de manganeso, en riego de cultivos y bebida de animales está justo en el límite permitido por los ECAs (0,20 mg/L). Lo cual debe tomarse en cuenta para su tratamiento.

## 5.15 Mercurio

**Tabla 18.** Concentración de mercurio (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	<b>0,0002</b>
P2RM	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	<b>0,0002</b>
P3RM	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	<b>0,0002</b>
P4RSL	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	<b>0,0002</b>
P5ELE	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	<b>0,0002</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 16.** Variación de la concentración de mercurio de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparada con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Las concentraciones de mercurio en todos los puntos de evaluación, reportaron resultados promedio de 0,0002 mg/L, límite de cuantificación del método de análisis empleado por el laboratorio, siendo todos sus valores menores a 0,001 mg/L. El mercurio es un contaminante no deseable del agua y sobre la base de las consideraciones mencionadas para la *categoría 3: Riego de vegetales*

y *bebidas de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 015-2015-MINAM) que recomienda no exceder el límite de 0,001 mg/L como mercurio (tabla 18 y figura 16).

En el agua, el Hg se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De estos, puede trasladarse al plancton, a las algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como los peces, las aves rapaces e incluso al hombre.

El mercurio metálico y el inorgánico se convierten en mercurio metilado por medio de procesos biológicos que se producen en el agua contaminada con este metal. Tanto el dimetil mercurio  $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$  como el ion metilo de mercurio  $\text{HgCH}_3^+$  son absorbidos por los tejidos de los organismos vivos. Estas especies químicas se bioacumulan, permanecen durante largos periodos en los tejidos y pueden incorporarse en la cadena alimentaria biomagnificándose (Barrenechea 2004).

#### - **Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), el mercurio debe ser menor o igual a 0,001 mg/L para riego de cultivos y de 0,10 mg/L para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para mercurio, se pudo observar un valor promedio de 0,0002 mg/L, lo que representa una cantidad menor a la indicada por los ECAs (0,001 mg/L) para riego de cultivos, ésto permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de mercurio es igual a 0,001 mg/L.*

$H_1$ : La concentración de mercurio es menor a 0,001 mg/L.

Test of  $\mu = 0.001$  vs  $< 0.001$   
The assumed standard deviation = 0.000037

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% Upper Bound	Z	P
Mercurio	30	0.000207	0.000037	0.000007	0.000218	-117.44	0.000

Con  $\alpha = 0,05$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,05$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,05$ ; por lo tanto se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$ : *La concentración de mercurio es menor a 0,001 mg/L.*

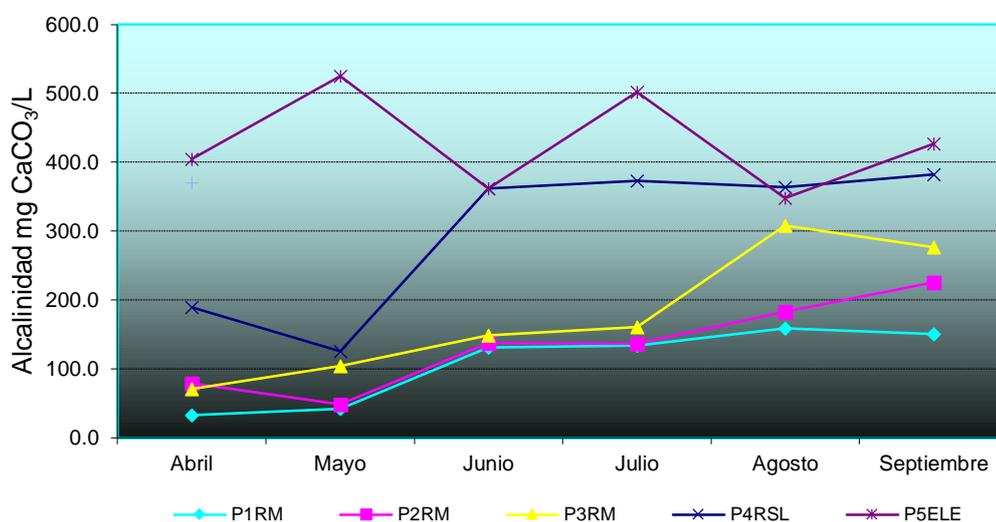
Por lo tanto, para la concentración de mercurio, en riego de cultivos es menor a lo permitido por los ECAs (0,001 mg/L), así como también para bebida de animales cuyo estándar es de 0,10 mg/L.

## 5.16 Alcalinidad

**Tabla 19.** Concentración de alcalinidad (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	33,0	42,0	131,3	134,4	159,2	150,7	<b>108,4</b>
P2RM	79,5	49,0	137,3	136,4	183,1	226,1	<b>135,2</b>
P3RM	71	104,0	149,2	160,5	308,4	276,4	<b>178,3</b>
P4RSL	190	126,0	362,2	373,1	364,2	381,9	<b>299,6</b>
P5ELE	405	525,0	362,2	501,5	348,2	427,1	<b>428,2</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 17.** Variación de la concentración de alcalinidad de las aguas en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- En lo concerniente a la alcalinidad, se presentan valores promedio que se encuentran entre 108,4 mg/L (punto P1RM) y 428,2 mg/L (punto P5ELE); no encontrándose valores de comparación establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 19 y figura 17).

Al tener estas aguas un pH ligeramente alcalino se corrobora la presencia de bicarbonatos y carbonatos presentes en él.

El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua. La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa (Kevern 1989).

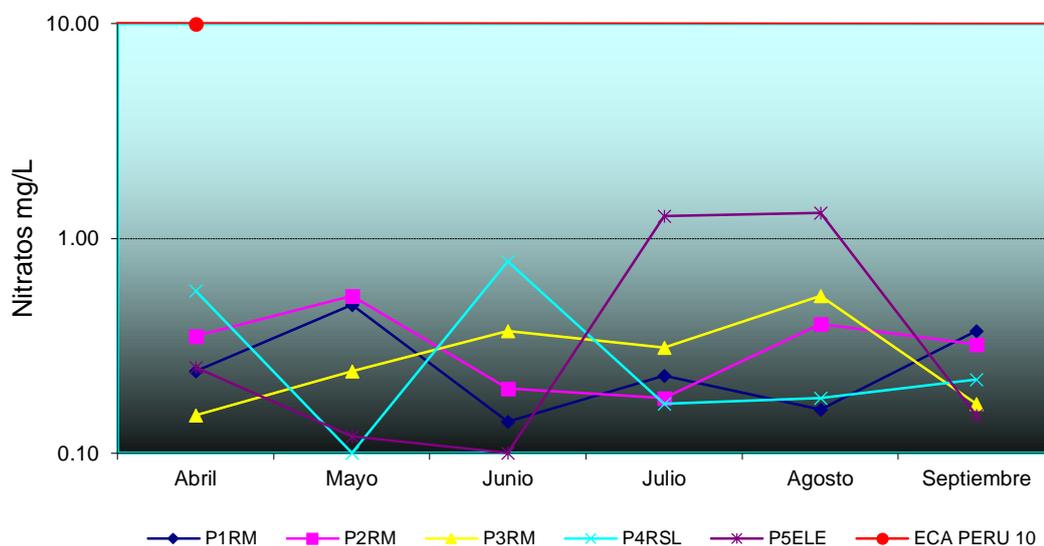
Para este parámetro no se realizó prueba de hipótesis debido a que no existe un valor de comparación en los ECAs nacionales para agua categoría 3.

## 5.17 Nitratos

**Tabla 20.** Concentración de nitratos (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	0,24	0,49	0,14	0,23	0,16	0,37	<b>0,27</b>
P2RM	0,35	0,54	0,20	0,18	0,40	0,32	<b>0,33</b>
P3RM	0,15	0,24	0,37	0,31	0,54	0,17	<b>0,30</b>
P4RSL	0,57	0,10	0,78	0,17	0,18	0,22	<b>0,34</b>
P5ELE	0,25	0,12	0,1	1,27	1,32	0,15	<b>0,54</b>

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 18.** Variación de la concentración de nitratos en las aguas de los puntos de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Los nitratos varían desde 0,27 mg/L (en el punto P1RM) a 0,54 mg/L (en el punto P5ELE) y son valores menores a 10 mg/L según lo establecido para la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (D.S. 002-2008-MINAM). Según el D.S. 015-2015-MINAM, establece para este parámetro nitratos ( $\text{NO}_3\text{N}$ ) +

nitritos ( $\text{NO}_2\text{N}$ ) 100 mg/L como límite de cuantificación para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua; aun así, los valores promedio encontrados están muy por debajo de lo establecido en la norma, como lo podemos visualizar en la tabla 20 y figura 18.

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ ) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos (Barrenechea 2004). Investigaciones realizadas específicamente en Israel, han demostrado que un agua de riego debería tener concentraciones de nitratos de aproximadamente 15 a 20 mg/L para no exceder los requerimientos de la mayoría de los cultivos (Homsí y Asociados 1997). No obstante, se ha descrito que las aguas residuales pueden poseer una concentración que fluctúa entre los 20 y 40 mg/L (Ramos 1997; Sánchez 1999).

#### **- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 002-2008-MINAM) los nitratos deben ser menores o iguales a 10 mg/L para riego de cultivos y de 50 mg/L para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para los nitratos se pudo observar un valor promedio de 0,35 mg/L, lo que representa una cantidad menor a la indicada por los ECAs, (10 mg/L) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

$H_0$ : La concentración de nitratos es igual a 10 mg/L.

$H_1$ : La concentración de nitratos es menor a 10 mg/L.

Test of  $\mu = 10$  vs  $< 10$   
 The assumed standard deviation = 0.3

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	99% Upper Bound	Z	P
Nitratos	30	0.3543	0.3032	0.0548	0.4818	-176.10	0.000

Con  $\alpha = 0,01$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,01$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,01$  por lo tanto se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : La concentración de nitratos es menor a 10 mg/L, pero ahora de una forma altamente significativa.

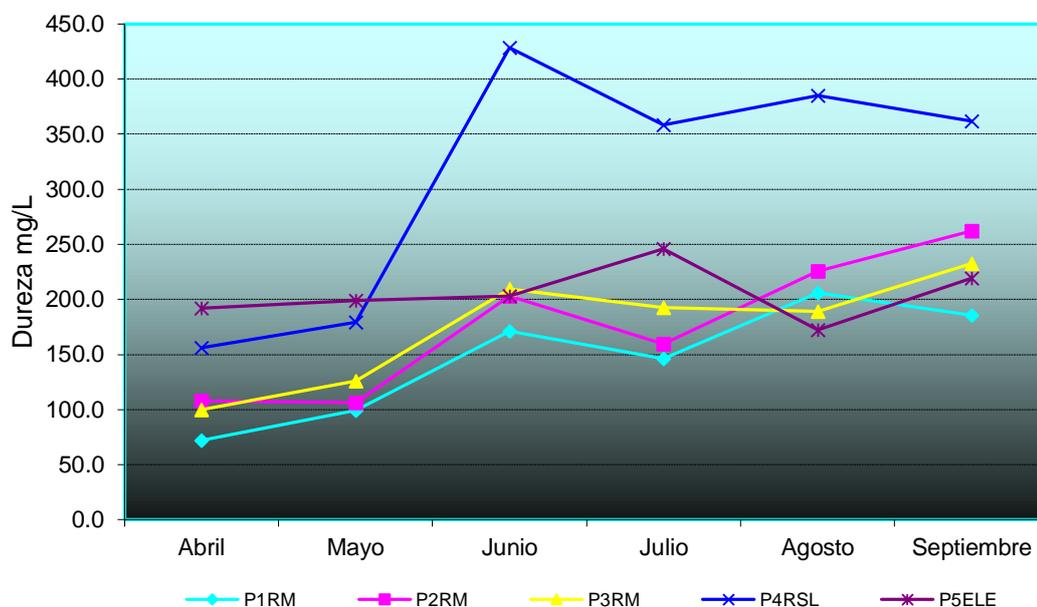
Por lo tanto, para la concentración de nitratos en riego de cultivos y bebida de animales es bastante menor al límite permitido en los ECAs, 10 mg/L y 50 mg/L respectivamente.

## 5.18 Dureza

**Tabla 21.** Dureza (mg/L) del agua en cada punto de muestreo (abril – septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	72,0	99,6	171,3	146,0	205,8	185,9	146,8
P2RM	108,0	106,2	203,2	159,4	225,8	262,3	177,5
P3RM	100,00	126,2	209,2	192,6	189,2	232,4	174,9
P4RSL	156,00	179,3	428,3	358,6	385,1	361,9	311,5
P5ELE	192,0	199,2	203,2	245,7	172,6	219,1	205,3

Fuente: Environmental Laboratories Perú S.A.C.: Reporte de Ensayo N° 705245, 706334, 707238, 708300, 709279.



**Figura 19.** Variación de la concentración de dureza del agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007.

- En cuanto se refiere a la dureza, las concentraciones promedio fluctúan entre 146,8 mg/L (punto P1RM) y 311,5 mg/L (punto P4RSL). Para dureza, no se encuentra valores de comparación establecido en la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 21 y figura 19).

La dureza corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio.

Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud. Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado.

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.

En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como  $\text{CaCO}_3$ ) (Barrenechea 2004). Por lo mencionado líneas arriba se considera que el agua del río San Lucas, el cual atraviesa la ciudad de Cajamarca, recoge las aguas residuales domésticas de muchas viviendas a lo largo de su recorrido, los cuales pueden contener elevadas concentraciones de detergentes y jabones, lo que corroboraría los valores altos encontrados en el punto P4RSL.

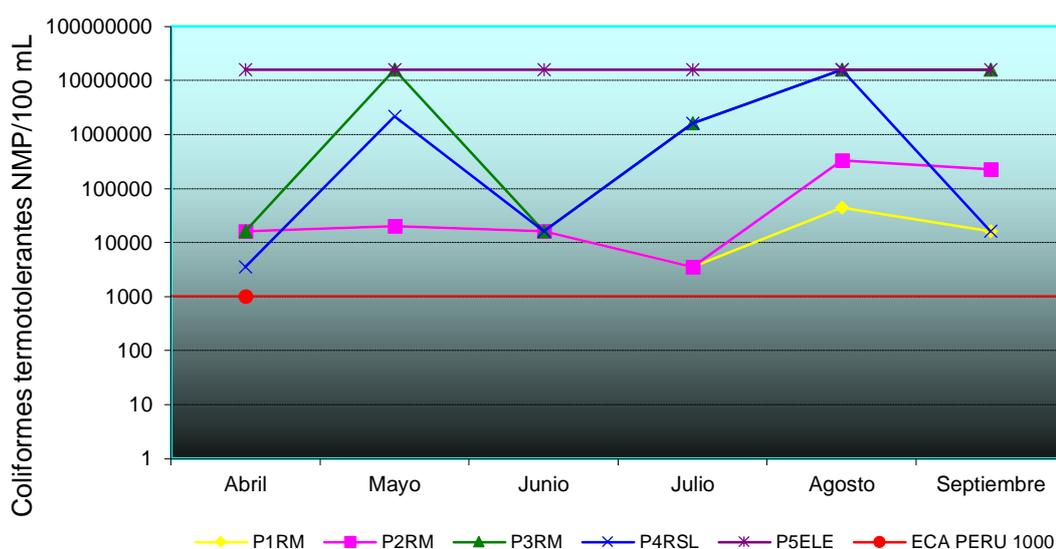
Para este parámetro no se realizó prueba de hipótesis debido a que no existe un valor de comparación en los ECAs nacionales para agua categoría 3.

## 5.19 Coliformes fecales (termotolerantes)

**Tabla 22.** Concentración de coliformes fecales termotolerantes (NMP/100 mL) presentes en el agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
P1RM	16000	20000	16000	3500	45000	16000	19 417
P2RM	16000	20000	16000	3500	330000	230000	102 583
P3RM	16000	1600000	16000	1600000	1600000	1600000	8 272 000
P4RSL	3500	2200000	16000	1600000	1600000	16000	3 305 917
P5ELE	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000	16 000 000

Fuente: Laboratorios NKAP SRL: Reporte de Ensayo N° C-329-27-YMC, C-414-27-YMC, C-515-27-YMC, C-566-27-YMC, C-682-27-YMC, C-787-27-YMC.



**Figura 20.** Variación de la concentración de los coliformes fecales termotolerantes en el agua de los puntos de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- Los valores promedio para coliformes fecales termotolerantes varía entre 19 417 NMP/100 mL (punto P1RM) y 16 000 000 NMP/100 mL (punto P5ELE), en todos los puntos de evaluación los valores están excesivamente por encima de los 1 000 NMP/100 mL, límite de cuantificación establecido para la categoría

3: *Riego de vegetales y bebidas de animales* del Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Agua - D.S. 015-2015-MINAM (tabla 22 y figura 20). Según el D.S. 002-2008-MINAM establece límites de cuantificación de 1 000 y 2 000 NMP/100 mL para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto respectivamente; aun así, los valores obtenidos superan los estándares para la categoría 3: *Riego de vegetales y bebida de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua. La bacteria *Escherichia coli* es de origen fecal; capaz de crecer y multiplicarse a 45 °C, por ello se las denomina termotolerantes a diferencia de otras bacterias de origen fecal.

Se considera que los altos valores de coliformes fecales termotolerantes encontrados en los puntos de monitoreo P3RM (8 272 000 NMP/100 mL) y P5ELE (16 000 000 NMP/100 mL) se debe a que por estos puntos pasa el agua proveniente de la descarga de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca, con concentraciones altas de este tipo de bacteria, además del río tributario San Lucas en el cual vierten aguas residuales domésticas de la ciudad a lo largo de su recorrido.

Según Rigola (1999) la bacteria *Escherichia coli*, y el grupo coliforme en su conjunto, son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal. Las bacterias coliformes son microorganismos de forma cilíndrica, capaces de fermentar la glucosa y la lactosa.

Los análisis bacteriológicos de aguas se realizan por el método de los tubos múltiples y se expresan en términos de el “número más probable” (índice NMP) en 100 mL de agua. Las aguas con un NMP inferior a 1, son satisfactoriamente potables (Rigola, 1999).

El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (Asano y Levine, 1998).

**- Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM); los coliformes termotolerantes deben ser menores o iguales a 1 000 NMP/100 mL para riego de cultivos y bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras correspondientes para coliformes termotolerantes; se pudo observar un valor promedio de 5 539 503,33 NMP/100 mL, lo que representa una cantidad bastante mayor a lo indicado por los ECAs (1 000 NMP/100 mL) para riego de cultivos, lo cual nos permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de coliformes termotolerantes es igual a 1 000 NMP/100 mL.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de coliformes termotolerantes es mayor a 1 000 NMP/100 mL.*

Test of  $\mu = 1000$  vs  $> 1000$   
 The assumed standard deviation = 7541937

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	99% Lower Bound	Z	P
Coliformes termotolerant	30	5539503	7541937	1376963	2336208	4.02	0.000

Con  $\alpha = 0,01$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,01$  se rechaza la  $H_0$ .

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,01$  por lo tanto se rechaza la  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : *La concentración de coliformes termotolerantes es mayor a 1 000 NMP/100 mL*, pero ahora de una forma altamente significativa.

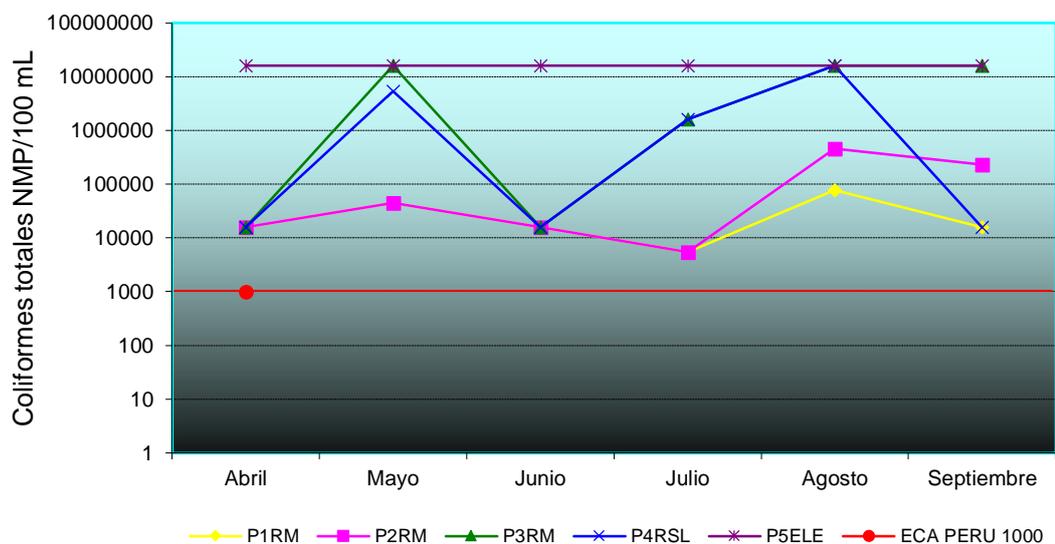
Por lo tanto, para el parámetro de concentración de coliformes termotolerantes, en riego de cultivos y bebida de animales es bastante mayor al límite permitido en los ECAs para agua categoría 3 (1 000 NMP/100 mL).

## 5.20 Coliformes totales

**Tabla 23.** Concentración de coliformes totales (NMP/100 mL) presentes en el agua en cada punto de muestreo (abril - septiembre 2007).

PUNTO DE MUESTREO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	PROMEDIO
<b>P1RM</b>	16000	45000	16000	5400	78000	16000	<b>29 400</b>
<b>P2RM</b>	16000	45000	16000	5400	460000	230000	<b>128 733</b>
<b>P3RM</b>	16000	16000000	16000	1600000	16000000	16000000	<b>8 272 000</b>
<b>P4RSL</b>	16000	5400000	16000	1600000	16000000	16000	<b>3 841 333</b>
<b>P5ELE</b>	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000	<b>16 000 000</b>

Fuente: Laboratorios NKAP SRL: Reporte de Ensayo N° C-329-27-YMC, C-414-27-YMC, C-515-27-YMC, C-566-27-YMC, C-682-27-YMC, C-787-27-YMC.



**Figura 21.** Variación de la concentración de los coliformes totales presentes en el agua en cada punto de muestreo entre los meses de abril a septiembre del año 2007, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) categoría 3.

- En lo referente a los valores promedio para coliformes totales, éstos varían entre 29 400 NMP/100 mL (punto P1RM) y 16 000 000 NMP/100 mL (punto P5ELE); como vemos, en todos los puntos de evaluación los valores están excesivamente por encima de los 1 000 y 5 000 NMP/100 mL, límite de cuantificación

establecido para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales* del Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Agua D.S. 015-2015-MINAM (tabla 23 y figura 21). Según el D.S. 002-2008-MINAM establece límites de cuantificación de 5 000 y 5 000 NMP/100 mL para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto respectivamente; aun así, los valores obtenidos superan los estándares para la *categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales* de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua.

De las tablas y figuras de coliformes fecales termotolerantes y coliformes totales respectivamente, los puntos P5ELE (16 000 000 NMP/100 mL) y P3RM (8 272 000 NMP/100 mL) muestran valores similares, puesto que por estos puntos pasa el agua proveniente de las lagunas de estabilización de la ciudad de Cajamarca y de todos los demás puntos de monitoreo. Por otro lado la diferencia entre estos dos parámetros es para conocer si la contaminación es sólo higiénica (coliformes totales) o si estamos en presencia de contaminación cloacal (coliformes fecales). El grupo de los coliformes totales se compone de *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* y otros. La diferencia entre coliformes totales y fecales es su capacidad o incapacidad de crecer a 45 °C. El coliforme intestinal dominante en climas moderados es *Escherichia Coli*, pero no así en climas tropicales (Kiely, 1999).

#### - **Prueba de hipótesis**

Según los ECAs para agua categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM), los coliformes totales deben ser menores o iguales a 1 000 NMP/100 mL para riego de cultivos y 5 000 NMP/100 mL para bebida de animales. Para probar lo antes indicado, se realizó una prueba de hipótesis.

Luego de realizar el análisis descriptivo de los datos de las muestras, correspondientes para coliformes totales, se puede observar un valor promedio de 5 649 480 NMP/100 mL, lo que representa una cantidad bastante mayor para lo indicado por los ECAs (1 000 NMP/100 mL) para riego de cultivos, lo cual permitió plantear la siguiente hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La concentración de coliformes totales es igual a 1 000 NMP/100 mL.*

*H<sub>1</sub>: La concentración de coliformes totales es mayor a 1 000 NMP/100 mL.*

Test of  $\mu = 1000$  vs  $> 1000$   
 The assumed standard deviation = 7513105

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	99% Lower Bound	Z	P
Coliformes Totales	30	5649480	7513105	1371699	2458431	4.12	0.000

Con  $\alpha = 0,01$

Cuando p - value es menor a  $\alpha = 0,01$  se rechaza la *H<sub>0</sub>*.

Al verificar el valor de p - value = 0,000 se observa que es menor a  $\alpha = 0,01$  por lo tanto se rechaza la *H<sub>0</sub>* y se acepta *H<sub>1</sub>: La concentración de coliformes totales es mayor a 1 000 NMP/100 mL*, pero ahora de una manera altamente significativa.

Por lo tanto, para la concentración de coliformes totales en riego de cultivos y bebida de animales es bastante mayor al límite permitido en los ECAs (1 000 NMP/100 mL y 5 000 NMP/100 mL respectivamente).

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

1. El valor promedio de la temperatura de las aguas de los puntos de muestreo fue de 12,6 °C, valor que está dentro del rango establecido por los ECAs nacionales. La dureza de las aguas de los puntos de muestreo en promedio tuvo un valor de 203,2 mg/L. El valor promedio de la alcalinidad en las aguas de los puntos de muestreo fue de 229,9 mg/L. Los valores promedio de los sólidos disueltos totales y de los sólidos en suspensión totales fue de 526 mg/L y 102 mg/L y en cuanto a los caudales se registró valores de 1 827,7 L/s para el río Mashcón, 546,3 L/s en el río San Lucas y 132,4 L/s en la descarga del canal de los efluentes de las lagunas de estabilización de la Ciudad de Cajamarca.
2. En todos los puntos de muestreo las concentraciones de los parámetros químicos evaluados estuvieron por debajo de los valores establecidos por los ECAs respectivos, por lo que cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 (D.S. 015-2015-MINAM), siendo la excepción los parámetros manganeso (0,22 mg/L en promedio), DBO<sub>5</sub> (102,32 mg/L en promedio) y DQO (204,09 mg/L en promedio), que no cumplen con lo establecido en la categoría 3: Bebida de animales y riego de cultivos de los ECAs para agua categoría 3.

3. En todos los puntos de evaluación las concentraciones de los parámetros biológicos como: coliformes totales (5 654 293,2 NMP/100 mg/L) y coliformes fecales termotolerantes (5 539 983,4 NMP/100 mg/L); no cumplen con lo establecido en la categoría 3: Bebida de animales y riego de vegetales de los ECAs para agua categoría 3 (D.S. 015-2015-MINAM).

## **Recomendaciones**

1. Realizar un monitoreo sistemático aguas arriba tomando un mayor número de puntos de muestreo durante todo un año, y cuyas muestras sean analizadas en laboratorios diferentes, para tener un registro más amplio, cruzar información y comparar resultados que determinen el estado medioambiental de estos ecosistemas acuáticos.
2. A las autoridades de Cajamarca, proponer y aprobar proyectos de inversión con la finalidad de utilizar métodos más modernos y eficientes en el tratamiento de aguas residuales con la finalidad de evitar cualquier tipo de contaminación ambiental.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Acosta, R. 2009. Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas. Tesis Docotoral, Universitat de Barcelona, Barcelona, 153 pp.
- Acosta, R; Ríos B; Rieradevall M; Prat N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1): 35-64.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). Consultado 10 de marzo 2016. Disponible en <http://www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf>.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). Consultado 20 de marzo 2016. Disponible en <http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-ndeg-251-2015-ana>.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). Consultado 20 de marzo 2016. Disponible en [http://www.ana.gob.pe/media/405984/rd\\_0182\\_2011\\_ana\\_dgcrh.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/405984/rd_0182_2011_ana_dgcrh.pdf).
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). Consultado 20 de marzo 2016. Disponible en <http://www.ana.gob.pe/normatividad/ds-no-001-2010-ag>.
- APHA (American Public Health Association). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington DC.
- Arce, O. 2000. Metales pesados presentes en el agua. Manual de prácticas. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia. Disponible en <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>.
- Asano, T; Levine, D. 1998. "Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and reuse". Takashi Asano (editor). Technomic Publishing. Lancaster. 1528 págs.
- Baird, C; Cann, M. 2014. Química Ambiental. 5 Edición. Buenos Aires. Argentina. Editorial Revete.
- Balmaceda, J; Zelada, W; Medina, C; Pelaez, F. 2009. Estudio del potencial hidrobiológico del río Huancabamba sector presa Limón. Estudio Preparado para el Proyecto Olmos-Tinajones. Lambayeque.
- Barrenechea, A. 2004. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En L. Canepa, Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I. (pág. 278). Lima: CEPIS/OPS.

- Boon, PJ; Howell, DL. (eds.). 1997. Freshwater quality: Defining the indefinable? The Natural Heritage of Scotland Series. Edinburgh. 552 pp.
- Briones, G; García, I. 1997. Aforo del Agua en canales y tuberías. Trillas - UAAAN. México, D.F.
- Buytaert, W; Celleri, R; Debievre, B; Cisneros, F; Wyseure, G; Deckers, J; Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Rev.*, 79(1-2): 53-72.
- Carrera, P; Gunkel, G. 2003. Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnologia Ecology and Management of Inland Waters*, 33: 29-43.
- Castro de Esparza, ML. 1987. Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima, CEPIS.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria) 2004. Programa de monitoreo de aguas. Lima – Perú.
- Chang, N; Chen, HW; Ning, SK. 2001. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach. *J. Environ. Manage.* 63: 293–305.
- Chapman, D. 1996. *Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring.* Chapman & Hall. 626 pp.
- Chávez Santa Cruz, GA. 2014. Probables efectos de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca en el sistema agua-suelo-planta de los caseríos de la victoria, Yanamarca y la Colpa. Tesis para optar el Grado de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.
- CIRA-UAEM (Centro Interamericano de Recursos del Agua-Universidad Autónoma del Estado de México, MX). 2005. Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Eds. Delgado, CD; Esteller, MV; López-Vera, F (eds.). Montevideo / Toluca, Piriguazú Ediciones. 747 pág.
- Corinne, PR; Zhao, FJ; McGrath S. 2006. Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. *Environ. Pollut.* 145, 596-605.
- Cortés-Lara, MC. 2003. Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Rev. Biomed* 14: 121-123.
- Custodio, E; Díaz, E. 2001. Sección 18: Calidad del agua subterránea. En: *Hidrología Subterránea.* (eds.). E. Custodio; M.R. Llamas. 2 ed. Tomo II. Barcelona, España, Omega. P. 18.28-18.31.

- Dollfus, O. 1996. Los Andes como memoria, pp. 11-29. En: Morlón, P. (eds.). *Comprender la Agricultura Campesina en los Andes Centrales, Perú- Bolivia*. IFEA & CBC, Lima.
- Domínguez-Granda, L; Goethals, M; Pauw, ND. 2005. Aspectos del ambiente físico-químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua. *Rev. Technol. ESPOL*, 18(1): 127-134.
- Eaton, AD; Clesceri, LS; Rice, EW; Greenberg, AE. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Estados Unidos, Centennial Edition. 167 pp.
- Echarri, L. 1998. Libro electrónico: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. TEMA11 Contaminación del agua. Ed. Teide. Disponible en <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de las Naciones Unidas). 1978. *In-depth Studies on Health and Environmental Impacts of Selected Water Pollutants*. EPA Contract 68-01-4646.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de las Naciones Unidas). 2000. *Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable*. EPA 815-F-00-007.
- Fawell, J; Nieuwenhuijsen, MJ. 2003. *Contaminants in Drinking Water*. *British Medical Bulletin* 68:199-208.
- Fontana, D. et al. (2012). *Intoxicación por Plomo y su Tratamiento Farmacológico*.
- Garbagnati, M; Gonzáles P; Antón, R; Mallea, M. 2005. Características físico-químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. *Ecología Austral* 15:59-71. Junio 2005 Asociación Argentina de Ecología.
- García Acosta, FM. 2014. *Calidad y uso del agua de la subcuenca del San Lucas (Cajamarca) en función del índice de Brown*. Tesis para optar el Grado de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.
- García I; Dorronsoro C. 2005. *Contaminación por metales pesados*. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es>.
- Gaston, KJ. 2000. *Global patterns in biodiversity*. *Nature*, 405(6783): 220-227.
- Gherardi, F; Panichi, C; Yock, A; Gerardo-Abaya, J. 2002. *Geochemistry of the Surface and Deep Fluids of the Miravalles Volcano Geothermal System (Costa Rica)*. *Geothermics* 31: 91-128.

- Gil. 2009. Aterrizaje minero. Cultura, conflicto, negociaciones y lecciones para el desarrollo desde la minería en Ancash, Perú. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- González M; Orozco C; Pérez A. 2011. Contaminación ambiental: Una visión desde la química. 2da ed. Madrid, Paraninfo, pp 31-86.
- González, EJ; Carrillo, V; Peñaherrera, C. 2004. Características físicas y químicas del embalse agua fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda, Venezuela). *Acta Cient. Venez.*, 55: 225-236.
- Griet Eeckhout, S. 2006. Mercure: une solution qui nous empoisonne. Laboratorio Europeo de Radiación del Sincrotrón en Grenoble, Francia. Disponible en <http://www.scienceinschool.org/2007/issue7/mercury/spanish>.
- Guillén, O; Aquino, R; Jacinto, M. 1986. Distribución de trazas de metales en el puerto del Callao. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 10(8):118- 210.
- Gunnar, N. 2007. Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad.
- Herrera Núñez, J; Rodríguez Corrales, J; Coto Campos, JM; Salgado Silva, V; Alpizar Herrera, HB. 2013. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro-Costa Rica *Tecnología en Marcha*. Vol. 26, Nº 1. Pág. 27-36.
- Horna Hernández, I. 2011. Efecto de la precipitación pluvial sobre los sólidos suspendidos aluminio, hierro y manganeso totales de las aguas superficiales de dos cuencas con actividad minera a tajo abierto en Cajamarca. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias- Universidad Nacional de Cajamarca.
- IPCS (Internacional Programme on Chemical Safety). 2004. Concise International Chemical Assessment Document 63, Manganese and its compounds: environmental aspects, World Health Organization, Geneva, Suiza.
- Jacobsen, D. 1998. The Effect of Organic Pollution on the Macroinvertebrate Fauna of Ecuadorian Highland Streams. *Arch. Hydrobiol.* 143(2): 179-195.
- Jacobsen, D. 2004. Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biol.*, 49(10): 1293-1305.
- Jacobsen, D. 2008. Tropical high-altitud streams. In: D. Dudgeon (eds.). *Tropical streams ecology*. Academic Press, San Diego, pp. 219-256.
- Jacobsen, D; Brodersen, KP. 2008. Are altitudinal limits of equatorial stream insects reflected in their respiratory performance? *Freshwater Biol.*, 53: 2295-2308.

- Kitula, AGN. 2006. "The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods in Tanzania: a case study of Geita District." *Journal of Cleaner Production*, N° 14: 405-414.
- Kosnett, MJ. 1997. Quelantes e intoxicación por metales pesados. En: *Farmacología Básica y Clínica: 1121-1129*, Manual Moderno, México.
- Kowalkowski, T; Radoslaw, Z; Jacek, S; Boguslaw, B. 2006. Application of chemometrics in river water classification. *Water Res.* 40: 744 - 752.
- Krause, TL; Stover, EL. 1982. Evaluating water treatment techniques for barium removal. *Journal of the American Water Works Association* 74, pp. 478-485.
- Lopes, JF; Dias, JM; Cardoso, AC; Silva, CIV. 2005. The water quality of the Ria de Aveiro lagoon, Portugal: From the observations to the implementation of a numerical model. *Mar. Environ. Res.* 60: 594-628.
- Lucho CA; Prieto, F; Del Razo, LM; Rodríguez, R; Poggi, H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 57-71.
- Maddock, I. 1999. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biol.*, 41(2): 373-391.
- Mahler, RL. 2003. General overview of nutrition for field and container crops. En: *National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations*. Riley, L. E., Dumroese R. K., Landis, T. D. Tech. Coords. June 9-12; Coeur d'Alene, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33.
- Mancilla-Villa, OR. et al. 2012. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient* [online]. vol. 28, n. 1 [citado 2016-04-08], pp.39-48. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018849992012000100004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992012000100004&lng=es&nrm=iso)>.ISSN 0188-4999.
- Marín, B. 2009. *Manual de química del agua. Teoría y práctica*. Editorial: Universidad del Magdalena.
- Marín, R. 2003. *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. 1ra Edición. Madrid, Díaz de Santos, pp 1-70.
- Martínez Rodríguez, LA. 2002. Estudio de contaminación del río La Laja, Jalisco 1996-1998. Tesis de grado. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Cs. Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara, Jalisco.
- Medina, C; Balmaceda, J; Puhe, J. 2006. Caracterización físico-química y microbiológica del río Chicama. Regiones La Libertad y Cajamarca. Perú. *Revista Sciendo*, 10(2): 41-52.

- Mena, P; Hofstede, R. 2006. Los páramos ecuatorianos. In: M. Moraes, B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). Botánica económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 557 pp.
- Metcalf & Eddy. 1995. "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización", 3ª ed. Mc Graw-Hill, Madrid.
- MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica); MINSAL (Ministerio de Salud de Costa Rica). 2007. Decreto No. 33903-MINAE-S Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. San José, Costa Rica.
- MINAG (Ministerio de Agricultura). 2016. Consultado el 20 de marzo. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2015/13248-decreto-supremo-n-013-2015-minagri>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2008. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprueban los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para aguas. Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2015. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Consultado el 10 de marzo. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-nro-023-2009-minam/>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Consultado el 10 de marzo. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-generaldelambiente.pdf>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Consultado el 20 de marzo. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Consultado el 20 de marzo. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2012-minam/>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Consultado el 20 de marzo. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Consultado el 22 de marzo. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/Ley-creaci%C3%B3n-MINAM.pdf>.

- MINEM (Ministerio de Energía y Minas). 2016. Consultado el 20 de marzo. Disponible en <http://www.munizlaw.com/normas/2012/Abril/22-04-12/ANEXO%20R.M.%20N%C2%BA%20154-2012-MEM-DM.pdf>.
- MINSA (Ministerio de salud). 2011. Guía de Práctica clínica para el diagnóstico de arsénico. Lima.
- Nalco Chemical Company. 1998. Manual del agua su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. McGraw Hill.
- NAS (National Academy of Sciences). 1977. Drinking water and health. Safe drinking-water committee, National Academy of Sciences, U. S. National Research Council, Washington, D.C.
- Normas Legales El Peruano. 2016. Consultado el 22 de febrero. Disponible en <http://busquedas.elperuano.com.pe/normaslegales/aprueban-el-protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-cali-resolucion-jefatural-no-010-2016-ana-1332776-1>.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2016. Consultado 10 de marzo. Disponible en [http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/07/MJ006\\_L293251.pdf](http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/07/MJ006_L293251.pdf).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1996. Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health criteria and other supporting information. Segunda edición. Ginebra.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. Total dissolved solids in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud. (WHO/SDE/WSH/03.04/16).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Agua, saneamiento y salud: Enfermedades relacionadas con el agua (en línea). Consultado el 20 octubre. Disponible en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diseasefact/es/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/index.html).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Guías para la calidad del agua potable primer apéndice a la tercera edición Volumen 1 Recomendaciones Organización Mundial de la Salud.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). 2003. Calidad del Agua Potable en Costa Rica: Situación actual y perspectiva. San José, C. R., OPS. 40 p.
- Orozco, BC; Pérez, SA; González, DMN; Rodríguez, VF; Alfayate, B J M. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Madrid, España, Thomson. 97-100.

- Osores, F; Grández, A; Fernández, JL. 2010. Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. (En línea) 20 de febrero de 2010. (Citado el: 25 de enero de 2018).
- Osorio, A; Céspedes, R. 2000. Efecto de Métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en Vid de Mesa: Conductividad Eléctrica, Sodio, Cloro y Boro en distintos puntos del perfil. *Agric. Téc.* 60: 178-194.
- Oyarzun, R; Higuera, P. 2009. *Minerales, Metales, Compuestos Químicos, y Seres Vivos: Una Difícil Pero Inevitable Convivencia*. Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad. [http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia\\_Minias/Mineria\\_toxicidad.htm](http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia_Minias/Mineria_toxicidad.htm).
- Pacheco Ávila, J; Pat Canul, R; Cabrera Sansores, A. 2002. Análisis del ciclo de nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *México. Ingeniería Revista Académica* 6(3): 73-81.
- Pak-EPA. 2005. *Compendium of Environmental Law*, Pakistan Environmental Protection Agency, Islamabad.
- Pakistan Sugar Mills Association. *Annual Report*. 2004. Islamabad: 2004. (Accessed July 4).
- Parra, O. 1992. Escenario del sistema cuenca del río Biobío y aporte del proyecto EULA a su desarrollo sustentable. pp. 91-103. Volumen 2. En: F. Faranda & O. Parra (Eds.) *Del suelo y manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Biobío*. Monografías EULA-Chile: Serie Actas de Seminarios Científicos.
- Pereda Hora, M; Ascencio Gabriel, I. 2008. Caracterización físico-química de los ríos de las cuencas Perejil, Caballo Moro y Chuyugual, en el Alto Chicama. *La Libertad Revista Sciendo*. Vol. 15, núm. 2 (2012) > Consultado el 15 marzo de 2016. Disponible <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/493>.
- Plasencia Alvarado, C. 2010. *Relación entre la Calidad del Agua y la Dinámica Poblacional del Fitoplancton de los ríos Grande y Porcón – Cajamarca durante el período 2008 – 2009*. Tesis para optar el Grado de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Poma, P. 2008. *Intoxicación por plomo en humanos Lead effects on humans*. University of Illinois. Chicago, EE UU, Profesor en Medicina Clínica.
- Prat, N; Ríos, B; Acosta, R; Rieradevall, M. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. In: E. Domínguez & H. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, pp. 631-654.

- Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica. 2005. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. (2005). Decreto No. 32327-S. La Gaceta No. 84, revisado 1 jul 2005. No. 84: 1-16. 150.
- Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica. 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. La Gaceta No. 178. 7 pp.
- Pringle, CM; Scatena, FN; Paaby-Hansen, P; Núñez Ferrera, M. 2000. River conservation in Latin America and the Caribbean, pp: 41-77. En: P. J. Boon; B. R Davies & G. E. Petts (Eds.) Global Perspectives on River Conservation. Science, Policy and Practice. John Wiley and Sons Ltd. Durham.
- Puentes, A. 2011. October Home Inspections. Disponible en <http://www.octoberhome.com/water-esp>.
- Ramírez, A. 2002. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos.
- Ramírez, B. 2005. “El enclave minero y el desmejoramiento de los niveles de vida de los pueblos de la cuenca alta del río Rímac.” Investigaciones Sociales, N° 14: 179-211.
- Rigola Lapeña, M. 1999. Tratamiento de aguas industriales aguas de proceso y residuales. Editorial Alfaomega. Colombia. Pág.157.
- Rolim Mendonça, S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización, como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. McGraw Hill Interamericana. Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia.
- Romero Rojas, JA. 1999. Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Alfaomega. Segunda edición.
- Romero Rojas, JA. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Alfaomega. Tercera edición.
- Romero Rojas, JA. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Alfaomega. Tercera edición.
- Rosas Rodríguez, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Sawyer, C; McCarty, L; Parkin, G. 2000. Química para Ingeniería Ambiental. Editorial McGraw Hill, Cuarta edición.

- Schinitman, N. 2008. Metales pesados, ambiente y salud. Disponible en <http://ecoportal.net/content/view/full/37424>.
- Segnini, S; Chacón, MM. 2005. Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Merida, Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1): 38-61.
- Sorg, TJ. 1978. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulation for organics. *Journal of the American Water Works Association* 70, pp. 105-112.
- Sorg, TJ. 1979. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulation for organics: Part 4. *Journal of the American Water Works Association* 71, pp. 454-466.
- Sorg, TJ; Logsdon, GW. 1980. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulations for inorganics: Part 5. *Journal of the American Water Works Association* 72, pp. 411-422.
- Spiro, T. 2004. *Química Medioambiental*. 2ª. Edición. Pearson Educación. Madrid, España. 504 pp.
- Torres, F. 2009. Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico (Order No. 1468715). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (305071499). Tesis. Msc. Consultado el día 15 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://search.proquest.com/docview/305071499?accountid=37045>.
- Trelles, RA. 1978. El problema sanitario de las aguas destinadas a la bebida humana con altos contenidos de arsénico, vanadio y flúor. *Saneamiento* 34 (217). pp. 31-38.
- U.S.G.S. (United States Geological Survey). 2006. National field manual for the collection of water-quality data: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations (en línea). Ed. F.D. Wilde. Versión 2.1, Libro 9, capítulo A6. Consultado 1 jul. 2007. Disponible en <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>.
- UNEP (United Nations Environmental Programme). 2002. Latin America and the Caribbean. *Global Environment Outlook 3 (GEO)* Nairobi, Kenya. 416 pp.
- Vargas, L; Maldonado, V; Barrenechea, A; Aurazo, M. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo 1. CEPIS. Lima. Perú.
- Vera Hernández, LE. 2001. Análisis de Aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.

## **APÉNDICES/ANEXOS**

**Tabla 24.** Parámetros físico-químicos y metales totales por ICP, la unidad y la categoría 3. Riego de vegetales y bebidas de animales. Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, establecida en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>C3:RV</b>
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NR
Sólidos sedimentables	mg/L	NR
Cianuro libre	mg/L	NR
Cianuro wad	mg/L	0,1
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	< 2 000
Sulfuros	mg/L	0,05
Oxígeno disuelto	mg/L	$\geq$ 4
pH	Unidad de pH	6.5-8.5
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15
Demanda química de oxígeno	mg/L	40
Nitratos	mg/L	10
Nitritos	mg/L	0,06
Fenoles	mg/L	0,001
SAAM (detergentes)	mg/L	1
Aceites y grasas	mg/L	1
Fluoruros	mg/L	1
Temperatura	$^{\circ}$ C	< 40 1
Coliformes totales	NMP/100mL	5000
Coliformes fecales ( <i>Escherichia coli</i> )	NMP/100mL	100
Aerobios mesófilas	UFC/100mL	
Mohos	UFC/100mL	NR
Levaduras	UFC/100mL	NR
<b>Metales totales por ICP</b>	<b>Unid</b>	<b>C3:RV</b>
Aluminio	mg/L	5
Antimonio	mg/L	0,005 2
Arsénico	mg/L	0,05
Bario	mg/L	0,7
Berilio	mg/L	0,1 2
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Calcio	mg/L	200 3
Cerio	mg/L	NR
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo	mg/L	0,1
Estaño	mg/L	NR
Estroncio	mg/L	NR
Fósforo	mg/L	NR
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5

Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Molibdeno	mg/L	0.012
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Potasio	mg/L	NR
Selenio	mg/L	0,05
Silicio	mg/L	NR
Sodio	mg/L	1403
Talio	mg/L	NR
Titanio	mg/L	NR
Vanadio	mg/L	NR
Zinc	mg/L	2

**FUENTE:** Decreto Supremo 002-2008-MINAM.

**C3: RV** : *Categoría 3. Riego de vegetales y bebidas de animales.* Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua. Decreto Supremo 002-2008-MINAM.

**NR** : Límites no reportados en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua. Decreto Supremo 002-2008-MINAM.

**APV** : Ausencia de película visible.

<sup>1</sup> : Estándares de calidad ambiental de Pakistán (NEQS).

<sup>2</sup> : OMS - EPA

<sup>3</sup> : Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de Agua de Venezuela.

**Tabla 25.** Tabla comparativa de parámetros físicos, según los Decretos Supremos para ECA agua categoría 3.

PARAMETRO	UNIDAD	ECA agua categoría 3 (DS N° 002-2008-MINAM)		ECA agua categoría 3 (DS N° 015-2015-MINAM)		ECA agua categoría 3 (DS N° 004-2017-MINAM)	
		VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES	VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES	VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES
Bicarbonatos	mg/L	370		518	**	518	10
Calcio	mg/L	200					
Carbonatos	mg/L	5					
Cloruros	mg/L	100 - 700		500	**	500	**
DBO	mg/L	15	≤ 15	15	15	15	15
DQO	mg/L	40	40	40	40	40	40
Fluoruros	mg/L	1	2	1	**	1	**
Fosfatos-P	mg/L	1					
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10	50				
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.06	1	10	10	10	10
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	> 5	≥4	≥5	≥4	≥5
pH	Unidad de Ph	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	6.5 - 8.5	6.5 - 8.4
Conductividad	μS/cm	< 2000	≤ 5000	2500	5000	2500	5000
Temperatura	°C			Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
Sodio	mg/L	200					
Sulfatos	mg/L	300	500	1000	1000	1000	1000
Sulfuros	mg/L	0.05	0.05				

**FUENTE:** Decretos Supremos: 002-2008-MINAM, 015-2015-MINAM y 004-2017-MINAM.

**Tabla 26.** Tabla comparativa de parámetros inorgánicos, según los Decretos Supremos para ECA agua categoría 3.

PARAMETRO	UNIDAD	ECA Agua Categoría 3 (DS N° 002-2008-MINAM)		ECA Agua Categoría 3 (DS N° 015-2015-MINAM)		ECA Agua Categoría 3 (DS N° 004-2017-MINAM)	
		VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES	VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES	VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES
Aluminio	mg/L	5	5	5	5	5	5
Arsénico	mg/L	0.05	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Bario	mg/L	0.7		0.7	**	0.7	**
Boro	mg/L	0.5 - 6	5	1	5	1	5
Cadmio	mg/L	0.005	0.01	0.01	0.05	0.01	0.05
Cobalto	mg/L	0.05	1	0.05	1	0.05	1
Cobre	mg/L	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2	0.5
Cromo	mg/L	0.1	1	0.1	1	0.1	1
Hierro	mg/L	1	1	5	**	5	**
Litio	mg/L	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	150	150	**	250	**	250
Manganeso	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.01
Níquel	mg/L	0.2	0.2	0.2	1	0.2	1
Plata	mg/L	0.05	0.05				
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05
Zinc	mg/L	2	24	2	24	2	24
Berilio	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

**FUENTE:** Decretos Supremos: 002-2008-MINAM, 015-2015-MINAM y 004-2017-MINAM.

**Tabla 27.** Tabla comparativa de parámetros biológicos, según los Decretos Supremos para ECA agua categoría 3.

PARAMETRO	UNIDAD	ECA Agua Categoría 3 (DS N° 002-2008-MINAM)		ECA Agua Categoría 3 (DS N° 015-2015-MINAM)		ECA Agua Categoría 3 (DS N° 004-2017-MINAM)	
		VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES	VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES	VALOR PLANTAS	VALOR ANIMALES
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	TB1000 - TA2000	1000	1000	1000	1000 - 2000	1000
Coliformes totales	NMP/100 mL	TB5000 - TA5000	5000	1000	5000		

**FUENTE:** Decretos Supremos: 002-2008-MINAM, 015-2015-MINAM y 004-2017-MINAM.

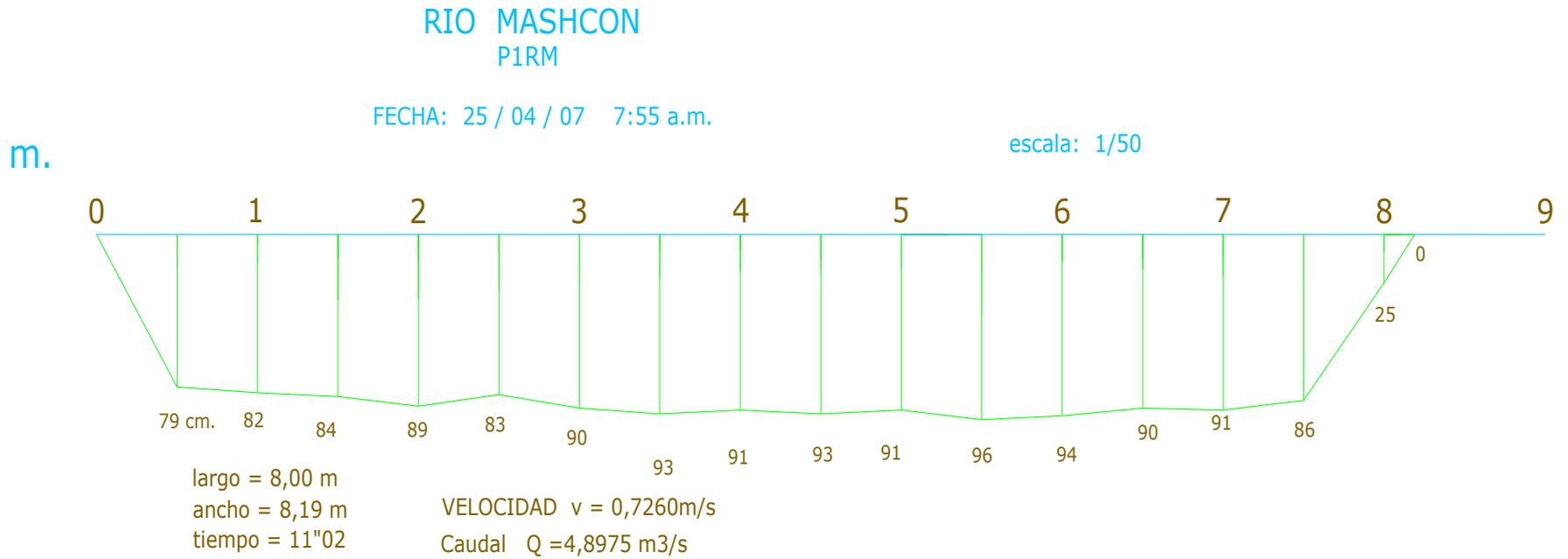
**\*\* :** No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

**TA:** Plantas de tallo alto

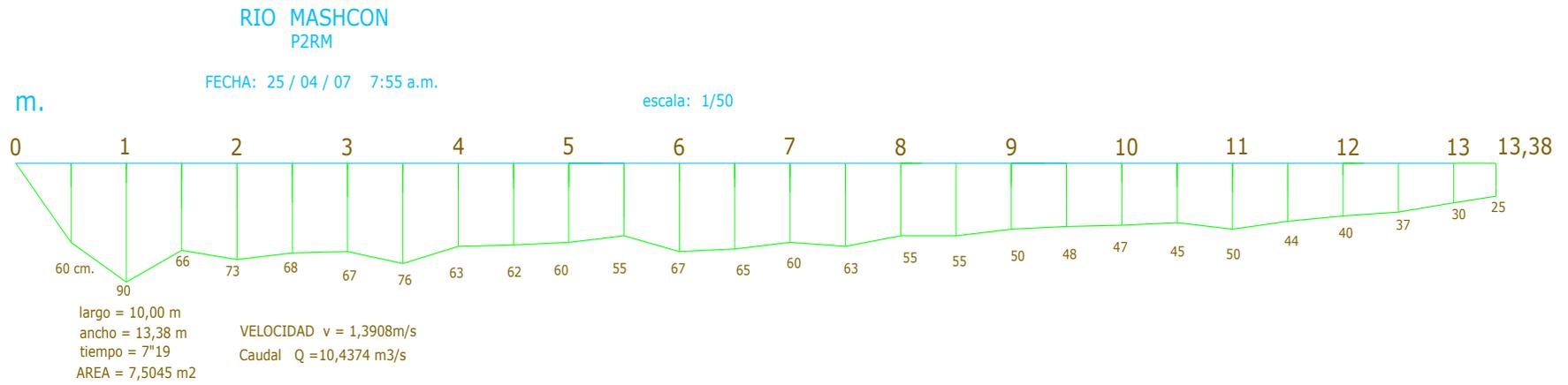
**TB:** Plantas de tallo bajo

**Δ 3:** Variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Figura 22.** Cálculo del caudal en el P1RM.



**Figura 23.** Cálculo del caudal en el P2RM.



**Figura 24.** Cálculo del caudal en el P3RM.

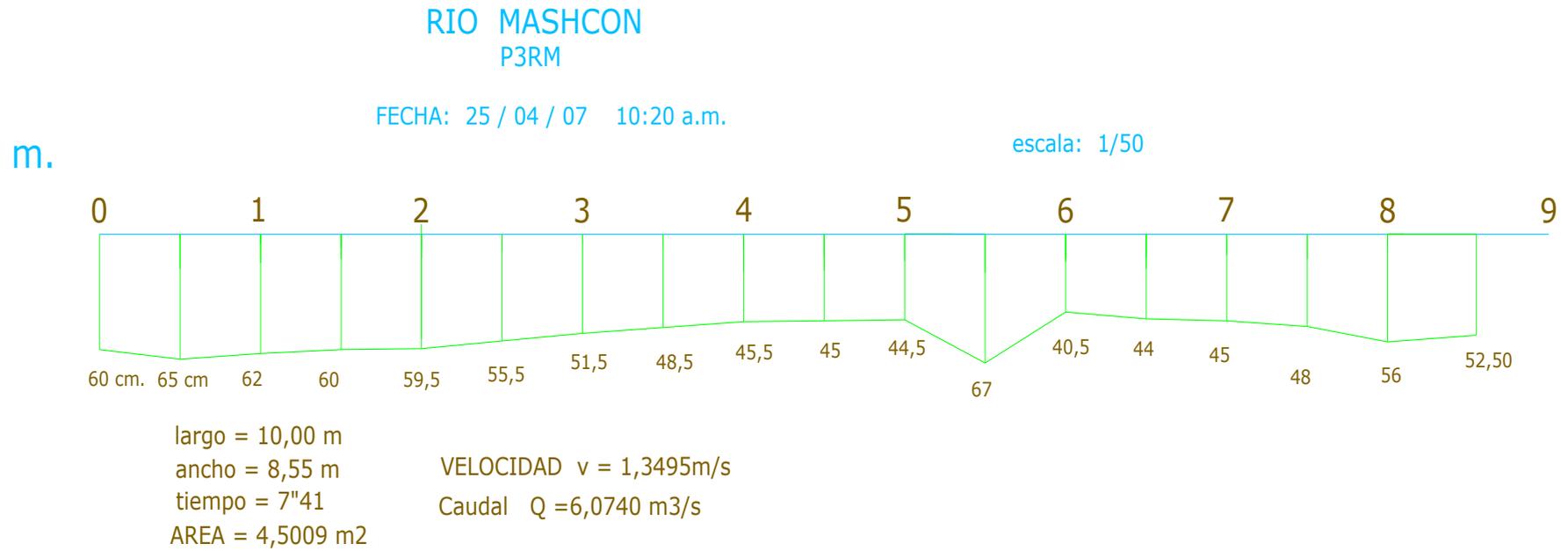


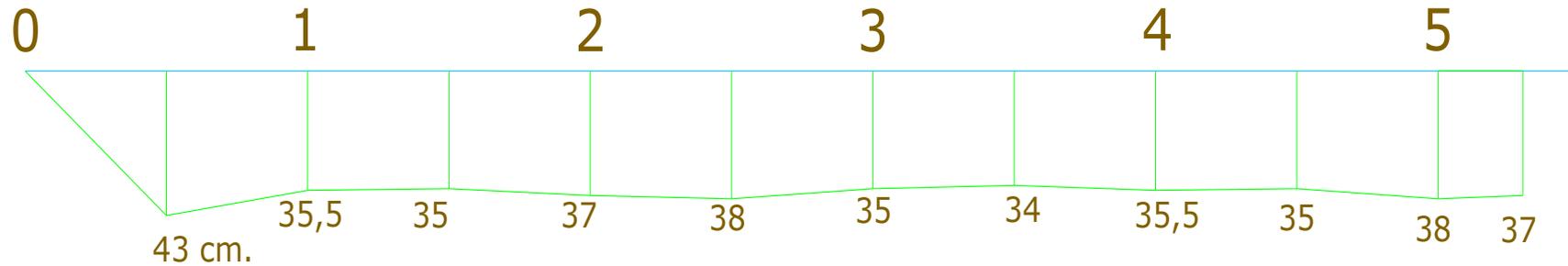
Figura 25. Cálculo del caudal en el P4RSL.

## RIO SAN LUCAS P4RSL

FECHA: 25 / 04 / 07 7:25 a.m.

escala: 1/25

m.



largo = 10,00 m  
ancho = 5,30 m  
tiempo = 7" 67  
AREA = 1,8525 m<sup>2</sup>

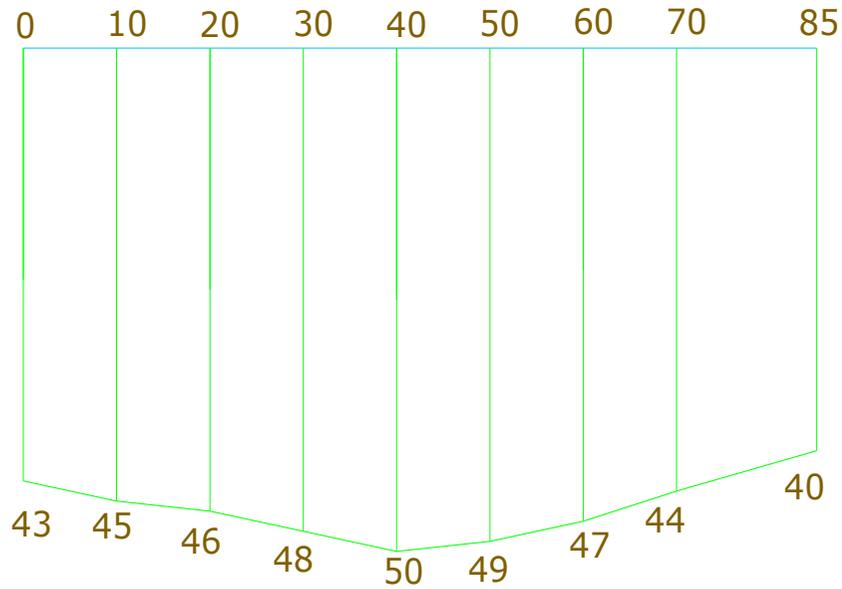
VELOCIDAD  $v = 1,3038$  m/s  
Caudal  $Q = 2,4153$  m<sup>3</sup>/s

**Figura 26.** Cálculo del caudal en el P5ELE.

LAGUNAS ESTABILIZACION  
P5ELE

FECHA: 25 / 04 / 07 9:40 a.m.

cm.



escala : 1 / 10

largo = 2,70 m  
ancho = 85 cm  
tiempo = 2" 67  
AREA = 0,3917 m<sup>2</sup>

VELOCIDAD  $v = 1,0112$  m/s  
Caudal  $Q = 0,3961$  m<sup>3</sup>/s

**Figura 27.** Punto de muestreo P1RM en el río Mashcón.



**Figura 28.** Punto de muestreo P2RM en el río Mashcón.



**Figura 29.** Punto de muestreo P3RM en el río Mashcón.



**Figura 30.** Punto de muestreo P4RSL en el río San Lucas.



**Figura 31.** Punto de muestreo P5ELE en la descarga del efluente de las laguna de estabilización.



Reporte de laboratorio Envirolab – Perú S.A.C. – P1RM



**ENVIROLAB-PERU S.A.C.**

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA  
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y  
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 705245



Registro N° LE-011

Código de Lab.:	Método de Referencia		Límite de Cuantificación	Resultado	Incertidumbre (±)	Unidad	Fecha de Análisis
705245-04	EPA 200.7		0.02	0.40	0.05	mg/L	05/27/07
Aluminio Total	EPA 200.7		0.02	0.40	0.05	mg/L	05/27/07
Arsénico Total	ICP-GH		0.002	N.D.	...	mg/L	05/28/07
Boro Total	EPA 200.7		0.03	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Bario Total	EPA 200.7		0.006	0.064	0.004	mg/L	05/27/07
Berilio Total	EPA 200.7		0.002	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Calcio Total	EPA 200.7		0.006	36.63	3.52	mg/L	05/27/07
Cadmio Total	EPA 200.7		0.003	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Cobalto Total	EPA 200.7		0.01	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Cromo Total	EPA 200.7		0.004	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Cobre Total	EPA 200.7		0.010	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Hierro Total	EPA 200.7		0.005	0.691	0.077	mg/L	05/27/07
Potasio Total	EPA 200.7		0.20	2.58	0.27	mg/L	05/27/07
Litio Total	EPA 200.7		0.04	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Magnesio Total	EPA 200.7		0.002	2.973	0.172	mg/L	05/27/07
Manganeso Total	EPA 200.7		0.002	0.098	0.007	mg/L	05/27/07
Molibdeno Total	EPA 200.7		0.02	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Sodio Total	EPA 200.7		0.04	7.25	0.68	mg/L	05/27/07
Niquel Total	EPA 200.7		0.001	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Fósforo Total	EPA 200.7		0.3	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Piomo Total	EPA 200.7		0.010	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Antimonio Total	ICP-GH		0.005	N.D.	...	mg/L	05/28/07
Selenio Total	ICP-GH		0.002	N.D.	...	mg/L	05/28/07
Talio Total	EPA 200.7		0.04	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Vanadio Total	EPA 200.7		0.015	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Zinc Total	EPA 200.7		0.002	0.065	0.007	mg/L	05/27/07
Plata Total	EPA 200.7		0.010	N.D.	...	mg/L	05/27/07
Mercurio Total	EPA 1631		0.0002	N.D.	...	mg/L	05/27/07

\*\*\*

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel de confianza aproximado del 95%.

Condición y Estado de la Muestra Ensayada:

La muestra llegó preservada al Laboratorio.

La fecha de muestreo, es dato proporcionado por el Cliente.

  
**LUIS BUENO CARBAJAL**  
 Gerente General  
 C.I.P. N° 6618  
 Lima, Perú,



07/06/07

Nota:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.
- El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra dependiendo del parámetro a ser analizado.
- Si envío muestra dirimente, puede solicitar al Indecopi la dirimencia de los resultados hasta 10 días antes del vencimiento de tiempo de custodia.

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Page 12 / 17

Tel.: (51) 578-1186 Telefax: (51) 578-1063 E-Mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe

# Reporte de laboratorio Envirolab – Perú S.A.C. – P2RM



## ENVIROLAB-PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA  
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y  
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 705245



Registro N° LE-011

**Solicitante:** Cía. Minera Yanacocha S.R.L.  
**Domicilio Legal:** Av. Camino Real 348 Torre El Pilar - 10° piso  
San Isidro  
**Tipo de Muestra:** Agua Superficial  
**Plan de Muestreo:** ...  
**Solicitud de Análisis:** MAY-245  
**Procedencia de la Muestra:** Cajamarca  
**Fecha de Ingreso:** 05/26/07  
**Código ENVIROLAB PERU:** 705245  
**Referencia:** Guía de Envío de fecha : May/24/2007

Código de Lab.:	Método de Referencia	Límite de Cuantificación	Resultado	Incertidumbre (±)	Unidad	Fecha de Análisis
705245-03						05/24/07
						P2RM
<b>Análisis</b>	<b>Método de Referencia</b>	<b>Límite de Cuantificación</b>	<b>Resultado</b>	<b>Incertidumbre (±)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha de Análisis</b>
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1	10	202	7	mg/L	05/28/07
Sólidos Totales en Suspensión	SM 2540-D	5	43	4	mg/L	05/28/07
Alcalinidad Total	SM 2320-B	0.1	49.0	0.8	mg/L	05/29/07
Dureza Total	EPA 130.2	1.0	106.2	1.8	mg/L	06/01/07
Cloruros	EPA 325.3	1	5	0.1	mg/L	05/28/07
Fluoruros	EPA 340.2	0.01	0.10	0.003	mg/L	05/28/07
Cromo Hexavalente	SM 3500 Cr-D	0.01	R N.D.	...	mg/L	05/26/07
N - Nitrato	EPA 352.1	0.10	0.54	0.05	mg/L	05/29/07
N - Nitrito	EPA 354.1	0.005	R 0.113	0.005	mg/L	05/26/07
N - Amoniacal	SM 4500NH3-F	0.01	0.28	0.02	mg/L	05/28/07
Sulfatos	EPA 375.4	0.5	75.5	4.6	mg/L	05/28/07

\*\*\*

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel de confianza aproximado del 95%.  
Condición y Estado de la Muestra Ensayada: La muestra llegó preservada al Laboratorio.

**Nota:** La fecha de muestreo, es dato proporcionado por el Cliente.  
"R" Resultado referencial, tiempo de vida vencido.

LUIS BUENO CARBAJAL  
Gerente General  
C.I.P. N° 6618  
Lima, Perú,



**Nota:**  
-Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.  
-Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
-El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra dependiendo del parámetro a ser analizado.  
-Si envío muestra dirimente, puede solicitar al Indecopi la dirimencia de los resultados hasta 10 días antes del vencimiento de tiempo de custodia.

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Page 7 / 17

Telf.: (511) 578-1186 Telefax: (511) 578-1063 E-Mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe

# Reporte de laboratorio Envirolab – Perú S.A.C. P3RM



## ENVIROLAB-PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA  
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y  
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 705245



Solicitante: **Cía. Minera Yanacocha S.R.L.**  
 Domicilio Legal: Av. Camino Real 348 Torre El Pilar - 10° piso  
 San Isidro  
 Tipo de Muestra: Agua Superficial  
 Plan de Muestreo: ...  
 Solicitud de Análisis: MAY-245  
 Procedencia de la Muestra: Cajamarca  
 Fecha de Ingreso: 05/26/07  
 Código ENVIROLAB PERU: 705245  
 Referencia: Guía de Envío de fecha : May/24/2007

Código de Lab.:	705245-01	Fecha de Muestreo:	05/24/07	Descripción: P3RM		
Análisis	Método de Referencia	Límite de Cuantificación	Resultado	Incertidumbre (±)	Unidad	Fecha de Análisis
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1	10	274	10	mg/L	05/28/07
Sólidos Totales en Suspensión	SM 2540-D	5	107	9	mg/L	05/28/07
Alcalinidad Total	SM 2320-B	0.1	104.0	1.7	mg/L	05/29/07
Dureza Total	EPA 130.2	1.0	126.2	2.1	mg/L	06/01/07
Cloruros	EPA 325.3	1	13	0.3	mg/L	05/28/07
Fluoruros	EPA 340.2	0.01	0.09	0.003	mg/L	05/28/07
Cromo Hexavalente	SM 3500 Cr-D	0.01	R N.D.	...	mg/L	05/26/07
N - Nitrate	EPA 352.1	0.10	0.24	0.02	mg/L	05/29/07
N - Nitrite	EPA 354.1	0.005	R N.D.	...	mg/L	05/26/07
N - Amoniacal	SM 4500NH3-F	0.01	4.24	0.38	mg/L	05/28/07
Sulfatos	EPA 375.4	0.5	52.8	3.2	mg/L	05/28/07

\*\*\*

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel de confianza aproximado del 95%.  
 Condición y Estado de la Muestra Ensayada: La muestra llegó preservada al Laboratorio.

Nota: La fecha de muestreo, es dato proporcionado por el Cliente.  
 \*R\* Resultado referencial, tiempo de vida vencido.

*Luis Bueno Carabajal*  
**LUIS BUENO CARBAJAL**  
 Gerente General  
 C.I.P. N° 6618  
 Lima, Perú.



Nota: -Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.  
 -Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
 -El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra dependiendo del parámetro a ser analizado.  
 -Si envío muestra dirimente, puede solicitar al Indecopi la dirimencia de los resultados hasta 10 días antes del vencimiento de tiempo de custodia.

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Page 1 / 17

Tel: (51) 578-1186 Telefax: (51) 578-1063 E-Mail: [envirolab@envirolabperu.com.pe](mailto:envirolab@envirolabperu.com.pe) Web: [www.envirolabperu.com.pe](http://www.envirolabperu.com.pe)

Reporte de laboratorio Envirolab – Perú S.A.C. – P4RSL



**ENVIROLAB-PERU S.A.C.**

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA  
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y  
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 705245



Registro N° LE-011

Código de Lab.:	705245-05	Fecha de Muestreo:	05/24/07	Descripción:			P4RSL
Análisis	Método de Referencia	Límite de Cuantificación	Resultado	Incertidumbre (±)	Unidad	Fecha de Análisis	
Aluminio Total	EPA 200.7	0.02	0.63	0.08	mg/L	05/27/07	
Arsénico Total	ICP-GH	0.002	N.D.	...	mg/L	05/28/07	
Boro Total	EPA 200.7	0.03	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Bario Total	EPA 200.7	0.006	0.061	0.004	mg/L	05/27/07	
Berilio Total	EPA 200.7	0.002	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Calcio Total	EPA 200.7	0.006	60.60	5.82	mg/L	05/27/07	
Cadmio Total	EPA 200.7	0.003	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Cobalto Total	EPA 200.7	0.01	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Cromo Total	EPA 200.7	0.004	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Cobre Total	EPA 200.7	0.010	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Hierro Total	EPA 200.7	0.005	1.068	0.120	mg/L	05/27/07	
Potasio Total	EPA 200.7	0.20	3.58	0.37	mg/L	05/27/07	
Litio Total	EPA 200.7	0.04	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Magnesio Total	EPA 200.7	0.002	4.320	0.251	mg/L	05/27/07	
Manganeso Total	EPA 200.7	0.002	0.144	0.010	mg/L	05/27/07	
Molibdeno Total	EPA 200.7	0.02	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Sodio Total	EPA 200.7	0.04	10.36	0.97	mg/L	05/27/07	
Niquel Total	EPA 200.7	0.001	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Fósforo Total	EPA 200.7	0.3	0.7	0.05	mg/L	05/27/07	
Piomo Total	EPA 200.7	0.010	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Antimonio Total	ICP-GH	0.005	N.D.	...	mg/L	05/28/07	
Selenio Total	ICP-GH	0.002	N.D.	...	mg/L	05/28/07	
Talio Total	EPA 200.7	0.04	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Vanadio Total	EPA 200.7	0.015	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Zinc Total	EPA 200.7	0.002	0.059	0.006	mg/L	05/27/07	
Plata Total	EPA 200.7	0.010	N.D.	...	mg/L	05/27/07	
Mercurio Total	EPA 1631	0.0002	N.D.	...	mg/L	05/27/07	

\*\*\*

La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura  $k = 2$  para un nivel de confianza aproximado del 95%.  
Condición y Estado de la Muestra Ensayada: La muestra llegó preservada al Laboratorio.

Nota: La fecha de muestreo, es dato proporcionado por el Cliente.

*Luis Bueno Carbajal*  
LUIS BUENO CARBAJAL  
Gerente General  
C.I.P. N° 6618  
Lima, Perú,



Nota:  
-Los resultados presentados corresponden a la muestra indicada.  
-Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
-El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra dependiendo del parámetro a ser analizado.  
-Si envío muestra dirimente, puede solicitar al Indecopi la dirimencia de los resultados hasta 10 días antes del vencimiento de tiempo de custodia.

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU

Page 15 / 17

Tel: (51) 578-1186 Telefax: (51) 578-1063 E-Mail: envirolab@envirolabperu.com.pe Web: www.envirolabperu.com.pe

Reporte de Laboratorio Envirolab – Perú S.A.C. – P5ELE



**ENVIROLAB-PERU S.A.C.**

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA  
COMISION DE REGLAMENTOS TECNICOS Y  
COMERCIALES CON REGISTRO N° LE-011

INFORME DE ENSAYO N° 705245



Solicitante: **Cía. Minera Yanacocha S.R.L.**  
Domicilio Legal: Av. Camino Real 348 Torre El Pilar - 10° piso  
San Isidro  
Tipo de Muestra: Agua Superficial  
Plan de Muestreo: ...  
Solicitud de Análisis: MAY-245  
Procedencia de la Muestra: Cajamarca  
Fecha de Ingreso: 05/26/07  
Código ENVIROLAB PERU: 705245  
Referencia: Guía de Envío de fecha : May/24/2007

Código de Lab.:	705245-02		Fecha de Muestreo:	05/24/07			
Análisis	Método de Referencia	Límite de Cuantificación	Descripción:	Resultado	Incertidumbre (±)	Unidad	Fecha de Análisis
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1	10		1006	37	mg/L	05/28/07
Sólidos Totales en Suspensión	SM 2540-D	5		442	39	mg/L	05/28/07
Alcalinidad Total	SM 2320-B	0.1		525.0	8.4	mg/L	05/29/07
Dureza Total	EPA 130.2	1.0		199.2	3.3	mg/L	06/01/07
Cloruros	EPA 325.3	1		97	2	mg/L	05/28/07
Fluoruros	EPA 340.2	0.01		0.14	0.005	mg/L	05/28/07
Cromo Hexavalente	SM 3500 Cr-D	0.01		R N.D.	...	mg/L	05/26/07
N - Nitrato	EPA 352.1	0.10		0.12	0.01	mg/L	05/29/07
N - Nitrito	EPA 354.1	0.005		R N.D.	...	mg/L	05/26/07
N - Amoniacal	SM 4500NH3-F	0.01		57.50	5.19	mg/L	05/28/07
Sulfatos	EPA 375.4	0.5		77.8	4.7	mg/L	05/28/07

\*\*\*  
La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura  $k = 2$  para un nivel de confianza aproximado del 95%.  
Condición y Estado de la Muestra Ensayada: La muestra llegó preservada al Laboratorio.  
Nota: La fecha de muestreo, es dato proporcionado por el Cliente.  
"R" Resultado referencial, tiempo de vida vencido.

  
LUIS BUENO CARBAJAL  
Gerente General  
C.I.P. N° 6618  
Lima, Perú,  
07/06/05



Nota: -Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.  
-Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
-El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra dependiendo del parámetro a ser analizado.  
-Si envío muestra dirimente, puede solicitar al Indecopi la dirimencia de los resultados hasta 10 días antes del vencimiento de tiempo de custodia.

Av. La Marina 3059 San Miguel - Lima 32 PERU  
Telf.: (51) 578-1186 Telefax: (51) 578-1063 E-Mail: [envirolab@envirolabperu.com.pe](mailto:envirolab@envirolabperu.com.pe) Web: [www.envirolabperu.com.pe](http://www.envirolabperu.com.pe)

Reporte de Laboratorio NKAP Cajamarca – abril 2007

**INFORME DE ENSAYO**

N° C-329-27-YMC

Pag 02 de 02

Código de Laboratorio			329-1	329-2	329-3
Código del Cliente			P1RM	P2RM	P3RM
Fecha de muestreo			25-abr-07	25-abr-07	25-abr-07
Hora de muestreo			07:25	08:20	10:20
Parámetro	Simbolo	Unidad			
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	7.08	7.40	7.24
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	2.5	6.8	22.6
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	12.59	15.73	26.74
Coliformes Fecales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>

Código de Laboratorio			329-4	329-5
Código del Cliente			P4RSL	P5ELE
Fecha de muestreo			25-abr-07	25-abr-07
Hora de muestreo			07:55	09:40
Parámetro	Simbolo	Unidad		
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.07	0.65
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	14.0	412.5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	17.31	511.29
Coliformes Fecales	NMP/100ml		35 x 10 <sup>2</sup>	16 x 10 <sup>6</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		16 x 10 <sup>7</sup>	>16 x 10 <sup>6</sup>

DETERMINACIÓN		MÉTODO DE ENSAYO
Nombre	Simb	NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Oxígeno Disuelto	O <sub>2</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 4500-O A,B,C 21th/2005 Azide Modification
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 5210 A,B 21th/2005 Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	DQO	APHA -AWWA-WEF Part 5220 A,C 21th/2005 Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method
Coliformes Fecales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E1 21th/2005 Fecal coliform procedure
Coliformes Totales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 21th/2005 Standard total coliform fermentation technique

**NOTA:** El resultado de Coliformes fecales y totales <1.8 NMP/ 100ml, significa cero de crecimiento, para la serie de tubos 0-0-0

Cajamarca, 30 de Abril del 2007

\_\_\_\_\_  
GARI R. PASCUAL CUCHO  
Jefe de Laboratorio  
CBP N° 5615

C-329-27-YMC

Reporte de Laboratorio NKAP Cajamarca – mayo 2007

**INFORME DE ENSAYO**

N° C-414-27-YMC

Pag 02 de 02

Código de Laboratorio			414-1	414-2	414-3
Código del Cliente			P3RM	P2RM	P1RM
Fecha de muestreo			24-may-07	24-may-07	24-may-07
Hora de muestreo			10:30	08:30	08:00
Parámetro	Simbolo	Unidad			
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.11	6.48	6.81
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	97.3	24.0	12.1
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	119.88	26.13	15.37
Coliformes Fecales	NMP/100ml		$>16 \times 10^3$	$46 \times 10^4$	$20 \times 10^3$
Coliformes Totales	NMP/100ml		$>16 \times 10^3$	$70 \times 10^4$	$45 \times 10^3$

Código de Laboratorio			414-4	414-5
Código del Cliente			P5ELE	P4RSL
Fecha de muestreo			24-may-07	24-may-07
Hora de muestreo			09:30	07:30
Parámetro	Simbolo	Unidad		
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	1.27	6.11
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	535.9	26.0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	899.11	32.28
Coliformes Fecales	NMP/100ml		$16 \times 10^6$	$22 \times 10^5$
Coliformes Totales	NMP/100ml		$>16 \times 10^6$	$54 \times 10^5$

DETERMINACIÓN		MÉTODO DE ENSAYO
<u>Nombre</u>	<u>Simb</u>	<u>NORMA/REFERENCIA/NOMBRE</u>
Oxígeno Disuelto	O <sub>2</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 4500-O A,B,C 21th/2005 Azide Modification
Sólidos Suspendedos Totales	TSS	APHA -AWWA-WEF Part 2540 A,D 21th/2005 Total Suspended solids dried at 103 - 105°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 5210 A,B 21th/2005 Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	DQO	APHA -AWWA-WEF Part 5220 A,C 21th/2005 Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux , Titrimetric Method
Coliformes Fecales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E1 21th/2005 Fecal coliform procedure
Coliformes Totales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 21th/2005 Standard total coliform fermentation technique

**NOTA:** El resultado de Coliformes fecales y totales  $<1.8$  NMP/ 100ml, significa cero de crecimiento, para la serie de tubos 0-0-0

Cajamarca, 29 de Mayo del 2007

GARI R. PASCUAL CUCHO  
Jefe de Laboratorio  
CBP N° 5615

C-414-27-YMC

Reporte de Laboratorio NKAP Cajamarca – junio 2007

**INFORME DE ENSAYO**

Nº C-515-27-YMC

Pag 02 de 02

Código de Laboratorio			515-1	515-2	515-3
Código del Cliente			P2RM	P3RM	P4RSL
Fecha de muestreo			27-jun-07	27-jun-07	27-jun-07
Hora de muestreo			08:50	10:40	07:50
Parámetro	Simbolo	Unidad			
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.88	6.13	3.93
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	16.9	68.5	58.3
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	22.17	116.79	59.13
Coliformes Fecales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>

Código de Laboratorio			515-4	515-5
Código del Cliente			P1RM	P5ELE
Fecha de muestreo			27-jun-07	27-jun-07
Hora de muestreo			08:20	09:30
Parámetro	Simbolo	Unidad		
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	8.90	1.91
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	10.6	107.3
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	63.57	266.10
Coliformes Fecales	NMP/100ml		16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>6</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>6</sup>

<b>DETERMINACIÓN</b>		<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>
<b>Nombre</b>	<b>Simb</b>	<b>NORMA/REFERENCIA/NOMBRE</b>
Oxígeno Disuelto	O <sub>2</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 4500-O A,B,C 21th/2005
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	Azide Modification APHA -AWWA-WEF Part 5210 A,B 21th/2005
Demanda Química de Oxígeno	DQO	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test APHA -AWWA-WEF Part 5220 A,C 21th/2005
Coliformes Fecales	NMP	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E1 21th/2005
Coliformes Totales	NMP	Fecal coliform procedure APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 21th/2005 Standard total coliform fermentation technique

**NOTA:** El resultado de Coliformes fecales y totales <1.8 NMP/ 100ml, significa cero de crecimiento, para la serie de tubos 0-0-0

Cajamarca, 02 de Julio del 2007

GARI R. PASCUAL CÚCHO  
Jefe de Laboratorio  
CBP Nº 5615

C-515-27-YMC

## Reporte de Laboratorio NKAP Cajamarca julio 2007

### INFORME DE ENSAYO

N° C-566-27-YMC

Pag 02 de 02

Código de Laboratorio			566-1	566-2	566-3
Código del Cliente			P2RM	P3RM	P5ELE
Fecha de muestreo			20-jul-07	20-jul-07	20-jul-07
Hora de muestreo			09:10	10:30	10:00
Parámetro	Símbolo	Unidad			
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.99	5.79	0.81
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	5.9	130.5	354.3
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	27.18	241.94	761.17
Coliformes Fecales	NMP/100ml		35 x 10 <sup>2</sup>	>16 x 10 <sup>5</sup>	>16 x 10 <sup>5</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		54 x 10 <sup>2</sup>	>16 x 10 <sup>5</sup>	>16 x 10 <sup>5</sup>

Código de Laboratorio			566-4	566-5
Código del Cliente			P1RM	P4RSL
Fecha de muestreo			20-jul-07	20-jul-07
Hora de muestreo			08:30	08:00
Parámetro	Símbolo	Unidad		
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.95	5.81
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	15.6	6.1
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	24.47	17.67
Coliformes Fecales	NMP/100ml		35 x 10 <sup>2</sup>	>16 x 10 <sup>5</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		54 x 10 <sup>2</sup>	>16 x 10 <sup>5</sup>

#### DETERMINACIÓN

Nombre	Símb	MÉTODO DE ENSAYO
Oxígeno Disuelto	O <sub>2</sub>	NORMA/REFERENCIA/NOMBRE APHA -AWWA-WEF Part 4500-O A,B,C 21th/2005 Azide Modification
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 5210 A,B 21th/2005 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	DQO	APHA -AWWA-WEF Part 5220 A,C 21th/2005 Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Titrimetric Method
Coliformes Fecales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E1 21th/2005 Fecal coliform procedure
Coliformes Totales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 21th/2005 Standard total coliform fermentation technique

#### NOTA :

El resultado de Coliformes fecales y totales <1.8 NMP/ 100ml, significa cero de crecimiento, para la serie de tubos 0-0-0

Cajamarca, 25 de Julio del 2007

GARI R. PASCUAL CUCHO  
Jefe de Laboratorio  
CBP N° 5615

C-566-27-YMC

# Reporte de Laboratorio NKAP Cajamarca agosto 2007

## INFORME DE ENSAYO

N° C-682-27-YMC

Pag 02 de 02

Código de Laboratorio			682-1	682-2	682-3
Código del Cliente			PSELE	P2RM	P1RM
Fecha de muestreo			23-ago-07	23-ago-07	23-ago-07
Hora de muestreo			09:30	08:50	06:20
Parámetro	Simbolo	Unidad			
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	<0,07	1.28	3.02
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	136.6	6.5	7.5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	253.15	27.78	30.87
Coliformes Fecales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>6</sup>	33 x 10 <sup>4</sup>	45 x 10 <sup>3</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>6</sup>	46 x 10 <sup>4</sup>	78 x 10 <sup>3</sup>

Código de Laboratorio			682-4	682-5
Código del Cliente			P3RM	P4RSL
Fecha de muestreo			23-ago-07	23-ago-07
Hora de muestreo			10:00	07:50
Parámetro	Simbolo	Unidad		
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	0.90	1.32
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	143.6	12.7
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	271.67	37.05
Coliformes Fecales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>6</sup>	>16 x 10 <sup>6</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>6</sup>	>16 x 10 <sup>6</sup>

<b>DETERMINACIÓN</b>		<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>
<b>Nombre</b>	<b>Simb</b>	<b>NORMA/REFERENCIA/NOMBRE</b>
Oxígeno Disuelto	O <sub>2</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 4500-O A,B,C 21th/2005 Azide Modification
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 5210 A,B 21th/2005 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	DQO	APHA -AWWA-WEF Part 5220 A,C 21th/2005 Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Titrimetric Method
Coliformes Fecales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E1 21th/2005 Fecal coliform procedure
Coliformes Totales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C, 21th/2005 Standard total coliform fermentation technique

**NOTA:** El resultado de Coliformes fecales y totales <1.8 NMP/ 100ml, significa cero de crecimiento, para la serie de tubos 0-0-0

Cajamarca, 28 de Agosto del 2007

RONALD A. CACEDA CUBA  
Jefe de Laboratorio  
Coordinador de Microbiología  
CBP N° 4995

NERY C. RODRIGUEZ SANCHEZ  
Jefe de Laboratorio ( i )  
Coordinador de Química  
CIP N° 76313

C-682-27-YMC

# Reporte de Laboratorio NKAP Cajamarca septiembre 2007

## INFORME DE ENSAYO

N° C-787-27-YMC

Pag 02 de 02

Código de Laboratorio			787-1	787-2	787-3
Código del Cliente			P3RM	P5ELE	P2RM
Fecha de muestreo			21-sep-07	21-sep-07	21-sep-07
Hora de muestreo			10:50	10:20	09:40
Parámetro	Simbolo	Unidad			
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	2.58	0.30	6.63
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	307.3	484.9	10.5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	493.04	1638.41	30.34
Coliformes Fecales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>	23 x 10 <sup>4</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>	23 x 10 <sup>4</sup>

Código de Laboratorio			787-4	787-5
Código del Cliente			P1RM	P4RSL
Fecha de muestreo			21-sep-07	21-sep-07
Hora de muestreo			09:00	06:10
Parámetro	Simbolo	Unidad		
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	6.51	4.83
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/L	4.7	27.5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	10.62	53.10
Coliformes Fecales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>
Coliformes Totales	NMP/100ml		>16 x 10 <sup>3</sup>	>16 x 10 <sup>3</sup>

<b>DETERMINACIÓN</b>		<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>
<u>Nombre</u>	<u>Simb</u>	<u>NORMA/REFERENCIA/NOMBRE</u>
Oxígeno Disuelto	O <sub>2</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 4500-O A,B,C 21th/2005 Azide Modification
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	APHA -AWWA-WEF Part 5210 A,B 21th/2005 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	DQO	APHA -AWWA-WEF Part 5220 A,C 21th/2005 Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Titrimetric Method
Coliformes Fecales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E1 21th/2005 Fecal coliform procedure
Coliformes Totales	NMP	APHA -AWWA-WEF Part 9221 A,B,C 21th/2005 Standard total coliform fermentation technique

**NOTA :** El resultado de Coliformes fecales y totales <1.8 NMP/ 100ml, significa cero de crecimiento, para la serie de tubos 0-0-0

Cajamarca, 26 de Setiembre del 2007

\_\_\_\_\_  
**NERY C. RODRIGUEZ SANCHEZ**  
 Coordinador de Química  
 CIP N° 76313

\_\_\_\_\_  
**NELIDA COLUNCHE QUINTANA**  
 Coordinador de Microbiología  
 CBP N° 6751

C-787-27-YMC

Figura 32. Acreditación del Laboratorio Envirolab Perú S.A.C.



**Figura 33.** Acreditación Laboratorio NKAP - Cajamarca

