

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL EN LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE
CRUCERO, NUÑO, AZÁNGARO Y RAMIS, PERIODO 2012-2013**

TESIS

PRESENTADA POR:

YONY LOPEZ CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN
LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE CRUCERO, NUÑO A,
AZÁNGARO Y RAMIS, PERIODO 2012-2013**

TESIS PRESENTADA POR:

YONY LOPEZ CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

Dr. JOSÉ JUSTINIANO VERA SANTAMARIA

PRIMER MIEMBRO

:

Ing. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

SEGUNDO MIEMBRO

:

M. Sc. ALCIDES HÉCTOR CALDERÓN MONTALICO

DIRECTOR

:

M. Sc. GERMAN BELIZARIO QUISPE

ASESOR

:

M. Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Otros temas relacionados a Recursos Hídricos.

LÍNEA: Recursos Hídricos.

FECHA DE SUSTENTACIÓN 30 NOVIEMBRE DEL 2015

DEDICATORIA

A nuestro padre celestial creador del universo y de la humanidad, que me ha dirigido por el buen camino para poder culminar mis estudios y realizar el presente trabajo de investigación.

*Con el más anegado y denotado amor y con justo orgullo, dedico este trabajo al esfuerzo inagotable por su constante apoyo y comprensión a madre; **Lucia Condori Mamani.***

*A mis hermanos **Luz Marina, Héctor Rolando, Sonia, Maruja, Yesenia y Arsenio,** quienes me brindaron un apoyo incondicional.*

A todos ellos los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento total a la Universidad Nacional del Altiplano, y a la Facultad de Ingeniería Agrícola por contribuir en mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por sus valiosas enseñanzas y transmisión de conocimiento que se han constituido en el pilar fundamental.

A todos mis compañeros y amigos que siempre estuvieron presente en los momentos difíciles durante la estadía en los claustros universitarios.

A la Administración Local de Agua Ramis (ALA-Ramis), por brindarme las facilidades durante el proceso de investigación.

Finalmente, un agradecimiento profundo a toda mi familia por su comprensión y por el apoyo económico y social, que me fortaleció para concluir la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2	PREGUNTAS DEL PROBLEMA	17
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5	HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	20
	1.5.1 Hipótesis general.....	20
	1.5.2 Hipótesis específicos.....	20
1.6	OBJETIVOS.....	21
	1.6.1 Objetivo general	21
	1.6.2 Objetivos específicos.....	21

CAPITULO II

II. REVISION DE LITERATURA

2.1	AGUA Y RECURSO HÍDRICO	22
2.2	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA.....	22
2.3	EL CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA.....	27
2.4	CONTAMINACIÓN DEL AGUA	30
	2.4.1 Contaminación natural	31
	2.4.2 Contaminación por factores antropogénicos.....	31
2.5	CALIDAD DEL AGUA	34

2.6	ASPECTOS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL AGUA	35
2.6.1	Climatología	36
2.6.2	Hidrología.....	36
2.6.3	Geología	37
2.6.4	Fisiografía.....	37
2.6.5	Usos del agua y vertimientos	38
2.7	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.....	38
2.7.1	Parámetros físicos	38
2.7.2	Parámetros químicos	40
2.7.3	Parámetros biológicos	45
2.7.4	Parámetros hidrológicos.....	47
2.8	ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).....	47
2.8.1	ICA, Fundación Nacional de Sanidad (NSF)	49
2.8.2	ICA, Adaptado al río Cauca por Rojas (1991).....	55
2.8.3	ICA, Adaptado por el CETESB (2002).....	56
2.8.4	ICA, Propuesto por Dinius (1987)	57
2.8.5	Índice Simplificado de calidad del agua (ISQA)	61
2.9	ASPECTOS LEGALES	63

CAPITULO III

III. MATERIALES Y METODO

3.1	MATERIALES	64
3.2	METODOLOGÍA	65
3.3	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	82
3.3.1	Ubicación geográfica.....	82
3.3.2	Ubicación política y extensión	82

3.3.3 Accesibilidad..... 83

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUCION

4.1 DESCRIPCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA 84

4.1.1 Temperatura 84

4.1.2 pH..... 86

4.1.3 Conductividad eléctrica (uS/cm)..... 88

4.1.4 Oxígeno disuelto (mg/l) 90

4.1.5 Solidos Totales Disueltos (mg/l)..... 92

4.1.6 Turbiedad (NTU)..... 94

4.1.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l) 96

4.1.8 Demanda Química de Oxigeno (mg/l) 98

4.1.9 Metales pesados..... 100

4.2 DESARROLLO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA 108

4.3 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES 117

4.3.1 Residuos sólidos..... 117

4.3.2 Vertimiento de aguas residuales..... 117

CONCLUSIONES 120

RECOMENDACIONES..... 121

BIBLIOGRAFIA 122

ANEXOS 124

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Estructura molecular del agua.....	22
<i>Figura 2.</i>	El ciclo hidrológico del agua	30
<i>Figura 3.</i>	Función del subíndice para los parámetros involucrados en el.....	52
<i>Figura 4.</i>	Identificación de los rangos de clasificación del ICA multiplicativo propuesto por Dinius (1987) en función del uso del agua.	59
<i>Figura 5.</i>	Funciones del subíndice para los parámetros involucrados ISQA.....	62
<i>Figura 6.</i>	Multiparámetro HQ40d.....	66
<i>Figura 7.</i>	Mapa de la red de puntos de muestreo.....	71
<i>Figura 8.</i>	Proceso de espacialización de datos.....	80
<i>Figura 9.</i>	Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	83
<i>Figura 10.</i>	Variación temporal de temperaturas (C°)	84
<i>Figura 11.</i>	Variación espacial de temperaturas (C°).....	85
<i>Figura 12.</i>	Variación temporal del pH.....	86
<i>Figura 13.</i>	Variación espacial del pH.	87
<i>Figura 14.</i>	Variación Temporal de la Conductividad eléctrica (uS/cm).....	88
<i>Figura 15.</i>	Variación espacial de la Conductividad eléctrica (uS/cm)	89
<i>Figura 16.</i>	Variación temporal de Oxígeno Disuelto (mg/l).....	90
<i>Figura 17.</i>	Variación espacial de Oxígeno Disuelto (mg/l).....	91
<i>Figura 18.</i>	Variación temporal de Solidos Totales Disueltos (mg/l).....	92
<i>Figura 19.</i>	Variación espacial de Solidos Totales Disueltos (mg/l)	93
<i>Figura 20.</i>	Variación temporal de Turbiedad (NTU).....	94
<i>Figura 21.</i>	Variación espacial de Turbiedad (NTU).....	95
<i>Figura 22.</i>	Variación temporal de DBO ₅ (mg/l)	96
<i>Figura 23.</i>	Variación espacial de DBO ₅ (mg/l)	97

<i>Figura 24.</i> Variación temporal de DQO (mg/l)	98
<i>Figura 25.</i> Variación espacial de DQO (mg/l).....	99
<i>Figura 26.</i> Variación temporal de Cobre (mg/l).....	100
<i>Figura 27.</i> Variación espacial de Cobre (mg/l).	101
<i>Figura 28.</i> Variación temporal de Plomo (mg/l).	102
<i>Figura 29.</i> Variación espacial de Plomo (mg/l).....	103
<i>Figura 30.</i> Variación temporal de Cromo (mg/l).....	104
<i>Figura 31.</i> Variación espacial de Cromo (mg/l).....	105
<i>Figura 32.</i> Variación temporal de Mercurio (mg/l).....	106
<i>Figura 33.</i> Variación temporal de Mercurio (mg/l).....	107

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Distribución continental de la escorrentía mundial según LINDH.....	28
<i>Tabla 2.</i> Distribución continental de la escorrentía mundial (SHIKLOMANOV). ...	29
<i>Tabla 3.</i> Solubilidad del oxígeno en agua a diferentes temperaturas.....	39
<i>Tabla 4.</i> Índices de calidad del agua reportados en la literatura.	48
<i>Tabla 5.</i> Ponderación o peso relativo usados en el ICA-NSF.....	54
<i>Tabla 6.</i> Clasificación de la calidad del agua, propuesta por Brown (1970).	55
<i>Tabla 7.</i> Parámetros y ponderaciones ICA adaptado al río Cauca por Rojas (1991)	55
<i>Tabla 8.</i> Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA	56
<i>Tabla 9.</i> Clasificación de la calidad del agua según el valor del ÍCA multiplicativo adaptado por el CETESB (1991).....	57
<i>Tabla 10.</i> Funciones de los subíndices de los parámetros del ICA de Dinius	58
<i>Tabla 11.</i> Rangos de clasificación del ICA multiplicativo en función del uso de agua, según Dinius (1987)	60

<i>Tabla 12.</i>	Rangos de clasificación del ISQA en función del uso del agua.....	63
<i>Tabla 13.</i>	Información auxiliar empleado para el procesamiento de datos.....	64
<i>Tabla 14.</i>	Itinerario de trabajo del 01 al 04 de julio del 2012.	65
<i>Tabla 15.</i>	Parámetros medidos en campo.....	66
<i>Tabla 16.</i>	Profundidades sugeridas para medir velocidades.	68
<i>Tabla 17.</i>	Red de puntos de muestreo.	70
<i>Tabla 18.</i>	Frecuencia de muestreo de parámetros de calidad del agua.	72
<i>Tabla 19.</i>	Clasificación de cuerpos de agua superficiales.....	74
<i>Tabla 20.</i>	Lista inicial de constituyentes para la determinación del ICA.....	75
<i>Tabla 21.</i>	Lista final de constituyentes para el ICA de este estudio.	76
<i>Tabla 22.</i>	Funciones de subíndices de cada parámetro para el cálculo del ICA.	77
<i>Tabla 23.</i>	Ponderación de cada uno de los parámetros del ICA.....	78
<i>Tabla 24.</i>	Clasificación del “ICA” propuesto por Dinius.	79
<i>Tabla 25.</i>	Rangos de clasificación del ICA en función del uso del agua.	79
<i>Tabla 26.</i>	Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	82
<i>Tabla 27.</i>	Demarcación política de la zona de estudio.....	82
<i>Tabla 28.</i>	Accesibilidad a la zona de estudio.	83
<i>Tabla 29.</i>	Identificación de residuos sólidos.....	117
<i>Tabla 30.</i>	Puntos de descargas de aguas residuales en la UH-Crucero.....	118
<i>Tabla 31.</i>	Puntos de descargas de aguas residuales en la UH- Nuñoa.....	119
<i>Tabla 32.</i>	Puntos de descargas de aguas residuales en la UH- Azángaro.	119
<i>Tabla 33.</i>	Puntos de descargas de aguas residuales en la en la UH- Ramis.....	119

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de los parámetros	125
ANEXO 2. Cálculos analíticos para la obtención del ICA.....	128
ANEXO 3. DS N° 002-2008-MINAM, establece “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”	137
ANEXO 4. Panel fotográfico.....	144

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

OMS	: Organización Mundial de la Salud
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
SIG	: Sistema de Información Geográfico
MP	: Metales Pesados
LMP	: Límite Máximo Permisible
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
MINAM	: Ministerio del Ambiente
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
AA	: Absorción Atómica
ANOVA	: Análisis de Varianza
NS	: No Significancia.
ICA	: Índice de Calidad del Agua.
ISQA	: índice Simplificado de Calidad de Aguas
D.S.	: Decreto Supremo.
U.H.	: Unidad Hidrográfica.
Ph	: Potencial de Hidrogeno.
CE	: Conductividad Eléctrica.
OD	: Oxígeno Disuelto.
STD	: Solidos Totales Disueltos.
DQO	: Demanda Química de Oxigeno
NMP	: Número Más Probable
Ppm	: Partes Por Millón
NSF	: Fundación Nacional de Sanidad
DBO	: Demanda Bioquímica de Oxigeno
MD	: Margen Derecho
MI	: Margen Izquierdo
UH	: Unidad Hidrográfica
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS84	: Sistema Geodésico Mundial 1984

RESUMEN

La alteración de la calidad de los cuerpos naturales de aguas superficiales, debido a las actividades humanas viene generando contaminación por vertimientos de aguas residuales municipales y mineras sin tratamientos, por lo que se propuso caracterizar la calidad del agua superficial en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis en el periodo 2012-2013. Los niveles de calidad se determinaron mediante 15 estaciones de monitoreo, así como los análisis de muestras en laboratorio durante seis campañas de muestreo, estimando así el comportamiento en el tiempo y espacio. Se desarrolló y aplicó el índice de calidad del agua (ICA) por el método de la Fundación Nacional de Sanidad, que varía desde mala calidad a excelente calidad, con lo que se determinó el grado de calidad comparando estándares de calidad ambiental para agua. En la Unidad Hidrográfica de Crucero el 75% de parámetros superan los ECAs, mientras un 25 % si cumplen con dicha normatividad; en la Unidad Hidrográfica de Nuñoa el 16.6% de parámetros exceden los ECAs respecto al 83.3% que si cumplen con la normatividad; en la Unidad Hidrográfica de Azángaro el 75 % de parámetros si cumplen con la normatividad mientras un 25% superan los ECAs y en la Unidad Hidrográfica de Ramis el 66 % de parámetros cumplen con los ECAs, mientras un 33.3% superan los ECAs. En relación el ICA, estos se caracterizan de la siguiente manera: 13 % de las estaciones de muestreo tiene una calidad muy pésima, 13% de las estaciones tiene una calidad mala, el 47 % de las estaciones tiene una calidad regular, el 27 % de las estaciones tiene una calidad buena y ninguna de las estaciones de monitoreo tiene una calidad excelente. En las unidades hidrográficas de estudio se identificó 25 fuentes de vertimiento de aguas residuales de diversos usos, del cual el 64% vierte directamente sin previo tratamiento, mientras el 36% con previo tratamiento.

Palabras clave: Calidad del agua, contaminación, unidad hidrografía, vertimientos.

ABSTRACT

The alteration of the quality of the natural bodies of surface water, due to human activities, has been generating pollution due to discharges of municipal and mining wastewater without treatment, so it was proposed to characterize the quality of the surface water in the Crucero hydrographic units, Nuñoa, Azángaro and Ramis in the period 2012-2013. The quality levels were determined through 15 monitoring stations, as well as the analysis of samples in the laboratory during six sampling campaigns, estimating the behavior in time and space. The water quality index (ICA) was developed and applied by the National Health Foundation's method, which varies from poor quality to excellent quality, with which the degree of quality was determined by comparing environmental quality standards for water. In the Cruise Hydrographic Unit 75% of parameters exceed the ECAs, while 25% if they comply with said regulations; in the Nuñoa Hydrographic Unit, 16.6% of parameters exceed the ECAs, compared to 83.3% that comply with the regulations; in the Azángaro Hydrographic Unit, 75% of parameters comply with regulations while 25% exceed ECAs and in the Ramis Hydrographic Unit, 66% of parameters comply with ECAs, while 33.3% exceed ECAs. In relation to the ICA, these are characterized as follows: 13% of the sampling stations have a very bad quality, 13% of the stations have a bad quality, 47% of the stations have a regular quality, 27% of the stations has a good quality and none of the monitoring stations has an excellent quality. In the study hydrographic units, 25 sources of wastewater discharge from different uses were identified, of which 64% were discharged directly without prior treatment, while 36% had previously been treated.

Keywords: Water quality, pollution, or affinity hydrography, vertimientos.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración del agua y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades como pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana y dañinas para la vida, lo que constituye uno de los problemas más críticos y es por ello que ha surgido la necesidad de la toma de conciencia en la búsqueda de alternativas de solución.

En razón a ello, en la presente investigación se efectuó la caracterización espacio-temporal de los posibles contaminantes y la observación de sus cambios en función al tiempo en cada una de las estaciones de muestreo. Este análisis permitió identificar los tramos del río donde se presentan las condiciones más desfavorables para cada uno de los parámetros, así como los periodos en que ocurre la mayor alteración.

El capítulo I, del problema de investigación, pone énfasis a la contaminación del agua por la actividad minera que está asentado en la parte alta de la unidad hidrográfica de Crucero y Nuñoa, se identificó vertimiento de aguas residuales municipales sin ningún tipo de tratamiento, continuando con el capítulo II, revisión de literatura, referente a temas de, agua como recurso hídrico, propiedades del agua, contaminación del agua, calidad del agua, desarrollo y aplicación del índice de calidad del agua en los ríos de Crucero, Nuñoa, Azángaro, y Ramis. En el capítulo III, se expone los materiales y metodología empleada referente a trabajos en campo y gabinete para la identificación de fuentes de contaminación, medición de parámetros in situ, registro de información, frecuencia de

muestreo, criterios de comparación respecto al D.S. N° 002-2008-MINAM, se determinaron constituyentes, subíndices para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA), con lo que se establecieron rangos de clasificación así como el análisis espacial de la calidad del agua utilizando ArcGIS 10.3 y en el capítulo IV, presenta los resultados respecto a la caracterización en el tiempo y el espacio durante el año hidrológico 2012-2013, el desarrollo del Índice de Calidad del Agua ICA, muestra resultados que confirman el grado de contaminación de los cuerpos de aguas superficiales en las unidades Hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis. Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación se identificó y georreferenció las fuentes de vertimientos de aguas residuales sin tratamiento.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La alteración de la calidad de los cuerpos naturales de aguas superficiales, debido a las actividades poblacionales y productivas, que generan vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, constituye un problema complejo, generando malestar en la población asentada en las unidades hidrográficas que usan el recurso hídrico para las diferentes necesidades.

El principal problema en el ámbito de estudio de las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, están representadas por la contaminación del río Lunar de Oro, Ananea-Crucero-Azángaro, ocasionada por la actividad minera informal de la Rinconada, Lunar de Oro, Chaquiminas, Pampa Blanca, Ananea, Ancocala y Solitario; además de la contaminación generada por vertimientos de aguas residuales municipales sin tratamiento, provenientes de las ciudades de Crucero, San Antón y Azángaro, Caminaca, Samán y Taraco.

En ese sentido, considerando el impacto negativo en la calidad de los recursos hídricos, se hace necesario, caracterizar la calidad de las aguas superficiales mediante la observación y descripción del comportamiento de niveles de calidad y poder cuantificar el grado de contaminación e identificar las fuentes de contaminación. Para lo cual nos planteamos una interrogante general, de ella se desprenden tres específicas.

1.2 PREGUNTAS DEL PROBLEMA

¿Como es el comportamiento de los niveles de calidad de las aguas superficiales en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, durante el periodo 2012-2013?

- ✓ ¿Cuál es el comportamiento espacial y temporal de la calidad del agua superficial en la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, durante el periodo 2012-2013?
- ✓ ¿Qué grado de contaminación existe en las aguas superficiales en la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, durante el periodo 2012-2013?
- ✓ ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación y qué pasará cuando estas cesen, en la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo investigación nace como una preocupación por creciente alteración de la calidad de aguas superficiales en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, que es producto de las actividades generadas por la minería informal y formal, cuyas aguas residuales generadas por esta actividad son dispuestas cerca a los cuerpos de agua, que en época de avenidas son arrastradas hacia los cuerpos de agua,

generando perjuicios a la salud y economía de las poblaciones asentadas en la parte baja de la cuenca que son las Unidades Hidrográficas de Azángaro y Ramis.

La falta de acciones de fiscalización y control por parte de las autoridades competentes y el alto costo de los análisis de la calidad de aguas en laboratorios acreditados, impide que se realicen investigaciones respecto a esta problemática que no solo es por la minería si no también, por el crecimiento demográfico de las poblaciones urbanas marginales, asentados en la cuenca, que no tienen un sistema de tratamiento de aguas residuales y que vierten directamente a los cuerpos naturales de aguas, agravando aún más el problema.

En ese entender, la caracterización de los niveles de calidad de aguas superficiales, permitirá contar con una línea base para focalizar las fuentes que tienen mayor índice de contaminación, y el grado en que están siendo alterados o en mucho de los casos exceden los estándares de calidad ambiental (ECAs), de esta manera el presente estudio será de utilidad para las instituciones gubernamentales de gestión ambientales a los interesados en iniciar investigaciones más complejas y la misma población que ha sido las más afectadas e interesada en conocer el grado y la causa que origina y las posibles soluciones a este problema complejo.

1.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se tiene estudios generales respecto a la problemática de la calidad del agua en el área la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, los cuales fueron realizados por diversos estudiantes e instituciones, que se detalla a continuación:

Mamani (2011), en el trabajo titulado “Evaluación de los recursos agua y suelo y sus alteraciones producido por la minería informal de Ananea”, demuestra la degradación

de los recursos agua y suelo y recomienda a las instituciones educativas de nivel superior investigar más acerca de los diferentes temas relacionados a la protección del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales, con miras a la generación de servicios ambientales, así mismo se debe de investigar acerca de la educación y fortalecimiento de capacidades a nivel de la cuenca del río Ramis, para incidir en las políticas públicas para el desarrollo sustentable de la cuenca y de la región.

Según SER (2007), la contaminación ambiental de la cuenca del río Ramis es producto de la explotación minera informal de distintos sectores del distrito de Ananea: La Rinconada y Cerro Lunar (donde actúan invasores de las concesiones mineras de la Corporación Minera Ananea), Pampa Blanca, Chaquiminas, Ancoccalá y Huacchani, concesiones de CENTROMIN Perú) y la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto (CECOMSAP). La explotación es de manera informal no considera ningún instrumento ni medida de gestión ambiental.

Salas (2012) menciona que; de acuerdo al análisis enviado a los laboratorios de Bolivia y del Perú, existe concentración de metales pesados en los meses de estiaje puesto que no hay presencia de lluvias y carece de mayor dilución en estos meses. La contaminación por metales pesados como (As, Cu, Cr, Zn y Pb), en los meses de estiaje, no solo contamina el agua sino también el suelo y las aguas subterráneas cercanas al río en estudio.

INGEMMET (2008), en el trabajo titulado “Implicaciones ambientales por la actividad minera de la zona de Ananea en la cuenca del río Ramis” presenta un estudio donde identifican aproximadamente 2500 operadores artesanales que realizan labores de explotación minera en Ananea y llegan a movilizar 45.000 m³/día generando material morrénico y menciona que con el tiempo es un grave problema que presenta por la

precipitación que ocurren tiene la capacidad de arrastre con consecuencias catastróficas en la parte baja, asimismo identifican la contaminación de cuenca hidrográfica de metales pesados como: Au, As, Mg, Pb, Zn y Cu.

1.5 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.5.1 Hipótesis general

- Existe elevados niveles de alteración de la calidad de aguas superficiales, por vertimiento de aguas residuales en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, en el periodo 2012-2013.

1.5.2 Hipótesis específicos

- La descripción espacial y temporal de los parámetros de calidad del agua, muestran un deterioro creciente y no cumplen con la normatividad.
- El índice de calidad del agua (ICA), muestra que las aguas superficiales de la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, tienen una mala calidad.
- Las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales en la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, son las actividades mineras informales.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Caracterizar el estado de calidad de las aguas superficiales en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, durante el año hidrológico 2012-2013.

1.6.2 Objetivos específicos

- a) Efectuar la descripción espacial y temporal de los parámetros de calidad del agua, respecto a la normatividad.
- b) Desarrollar un índice de calidad del agua ICA, para determinar el grado de calidad del agua superficial.
- c) Identificar las fuentes de contaminación de las aguas superficiales.

CAPITULO II

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Agua y recurso hídrico

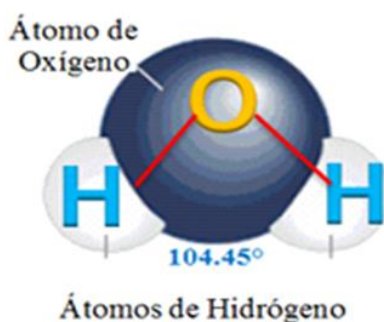
Para Aguilar (2009), el agua es un elemento que existe en abundancia sobre el planeta Tierra. Se presenta en tres estados: líquido (ríos, lagos, arroyos, mares), sólido (hielo) y gaseoso (nubes, niebla). Desde el punto de vista químico, el agua en estado puro es un compuesto binario de oxígeno e hidrógeno, algo que no se verifica siempre en la realidad puesto que el agua viene mezclada con otras sustancias. El agua ya sea en cualquiera de los estados, una vez utilizada (consumo humano, generación eléctrica, riego, turismo, recreación, industria, etc.) se considera un recurso.

2.2 Propiedades físicas y químicas del agua

a.- Estructura química

Según Wheaton (1987), químicamente la molécula de agua está constituida por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, unidos de tal forma que el átomo de hidrógeno comparte su electrón con el átomo de oxígeno. Este tipo de ligadura se llama unión covalente. Como los átomos de hidrógeno están separados por un ángulo de 104,45 grados, el agua es, entonces, una molécula polar.

Figura 1. Estructura molecular del agua



Fuente: Wheaton (1987)

b.- Disolvente

Para Miller (2007), el agua es descrita muchas veces como el solvente universal, porque disuelve muchos de los compuestos conocidos. Sin embargo, no lo es, porque no disuelve a todos los compuestos y de hacerlo, no sería posible construir ningún recipiente para contenerla.

El agua es un disolvente polar, más polar que el etanol. Como tal, disuelve bien sustancias iónicas y polares como la sal de mesa (cloruro de sodio). No disuelve de manera apreciable sustancias fuertemente apolares, como el azufre en la mayoría de sus formas alotrópicas, además, es inmisible con disolventes apolares, como el hexano. Esta cualidad es de gran importancia para la vida.

La capacidad disolvente es responsable de:

- Las funciones metabólicas.
- Los sistemas de transporte de sustancias en los organismos.

c.- Polaridad

Según Wheaton (1987), las moléculas de agua son muy polares, puesto que hay una gran diferencia electronegatividad entre el hidrógeno y el oxígeno. Los átomos de oxígeno son mucho más electronegativos (atraen más a los electrones) que los de hidrógeno, lo que dota a los dos enlaces de una fuerte polaridad eléctrica, con un exceso de carga negativa del lado del oxígeno, y de carga positiva del lado del hidrógeno. Los dos enlaces no están opuestos, sino que forman un ángulo de $104,45^\circ$ debido a la hibridación del átomo de oxígeno así que, en conjunto, los tres átomos forman una molécula angular, cargado negativamente en el vértice del ángulo, donde se ubica el oxígeno y, positivamente, en los extremos de la molécula, donde se encuentran los hidrógenos. Este hecho tiene una importante consecuencia, y es que las moléculas de agua se atraen

fuertemente, adhiriéndose por donde son opuestas las cargas. En la práctica, un átomo de hidrógeno sirve como puente entre el átomo de oxígeno al que está unido covalentemente y el oxígeno de otra molécula. La estructura anterior se denomina enlace de hidrógeno o puente de hidrógeno.

d.- Cohesión

Según Wheaton (1987), la cohesión es la propiedad con la que las moléculas de agua se atraen entre sí. Debido a esta interacción se forman cuerpos de agua por adhesión de moléculas de agua, las gotas.

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Estos puentes se pueden romper fácilmente con la llegada de otra molécula con un polo negativo o positivo dependiendo de la molécula, o, con el calor. La fuerza de cohesión permite que el agua se mantenga líquida a temperaturas no extremas.

e.- Adhesión

Para Miller (2007), el agua, por su gran potencial de polaridad, cuenta con la propiedad de la adhesión, es decir, el agua generalmente es atraída y se mantiene adherida a otras superficies.

f.- Tensión superficial

Para Miller (2007), por su misma propiedad de cohesión, el agua tiene una gran atracción entre las moléculas de su superficie, creando tensión superficial. La superficie del líquido se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla; esta propiedad contribuye a que algunos objetos muy ligeros floten en la superficie del agua aun siendo más densos que esta. La tensión superficial depende de la salinidad, aumentando junto con ella, y de la temperatura al

disminuir conforme esta se incrementa.

g.- Acción capilar

Para Miller (2007), el agua cuenta con la propiedad de capilaridad, que es la propiedad de ascenso, o descenso, de un líquido dentro de un tubo capilar. Esto se debe a sus propiedades de adhesión y cohesión.

Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende espontáneamente por el capilar como si trepase "agarrándose" por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua se equilibra con la presión capilar.

h.- Calor específico

Según Miller (2007), esta propiedad también se encuentra en relación directa con la capacidad del agua para formar puentes de hidrógeno intermoleculares. El agua puede absorber grandes cantidades de calor que es utilizado para romper los puentes de hidrógeno, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. El calor específico del agua se define como la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura, en un grado Celsius, a un gramo de agua en condiciones estándar y es de $1 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{g}$, que es igual a $4,1840 \text{ J}/\text{K}\cdot\text{g}$.

Esta propiedad es fundamental para los seres vivos (y la biosfera en general) ya que gracias a esto, el agua reduce los cambios bruscos de temperatura, siendo un regulador térmico muy bueno.

- La capacidad calorífica del agua es mayor que la de otros líquidos.

i.- Temperatura de fusión y evaporación

Según Miller (2007), presenta un punto de ebullición de 100°C ($373,15 \text{ K}$) a presión de 1 atmósfera (se considera como estándar para la presión de una atmósfera la

presión promedio existente al nivel del mar). El calor latente de evaporación del agua a 100 °C es 540 cal/g (ó 2260 J/g).

Tiene un punto de fusión de 0 °C (273,15 K) a presión de 1 atm, sin embargo, nuevos estudios por parte de un equipo de químicos de la Universidad de Utah (EE UU), han demostrado que el agua no se fusiona completamente a 0 °C sino que es a -13 °C que el hielo se solidifica por completo. El calor latente de fusión del hielo a 0 °C es 80 cal/g (ó 335 J/g). Tiene un estado de sobre enfriado líquido a -25 °C.

La temperatura crítica del agua, es decir, aquella a partir de la cual no puede estar en estado líquido independientemente de la presión a la que esté sometida, es de 374 °C y se corresponde con una presión de 217,5 atmósferas.

j.- Densidad

Para Miller (2007), la densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión.

A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad a los 100 °C, donde tiene 0,958 kg/L. Mientras baja la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/L) y ese aumento es constante hasta llegar a los 4,0 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/L. A esa temperatura (4,0 °C) alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente, hasta que a los 0 °C disminuye hasta 0,9999 kg/L. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/L a 0,917 kg/L.

k.- Transparencia

Para Wheaton (1987), la transparencia de los cuerpos naturales de agua varía esencialmente de cero a muy claro. La transparencia del agua depende de la naturaleza, tamaño y número de las partículas suspendidas; también de la concentración y

características químicas de sustancias disueltas, así como de la longitud de onda, intensidad y ángulo de incidencia de la luz que reciben estas aguas. La transparencia se mide con aparatos tales como el espectrofotómetro, que mide cuantitativamente la absorción de luz que pasa a través de una muestra de agua.

2.3 El ciclo hidrológico del agua

Según Aparicio (1996), denomina ciclo hidrológico al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc). Es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimientos de la hidrósfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico.

Según Aparicio (1996), los principales procesos implicados en el ciclo del agua son:

- **Evaporación:** El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre la superficie terrestre y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración en plantas y sudoración en animales. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera. En el mismo capítulo podemos situar la sublimación, cuantitativamente muy poco importante, que ocurre en la superficie helada de los glaciares o la banquisa.
- **Condensación:** El agua en forma de vapor sube y se condensa formando las nubes, constituidas por agua en pequeñas gotas.
- **Precipitación:** Se produce cuando las gotas de agua que forman las nubes se enfrían acelerándose la condensación y uniéndose las gotitas de agua para formar gotas mayores que terminan precipitarse a la superficie terrestre en razón a su mayor peso. La precipitación puede ser sólida (nieve o granizo) o líquida (lluvia).

- **Infiltración:** Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas.
- **Escorrentía:** Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y de transporte de sedimentos.

La escorrentía mundial ha sido cuantificada por varios autores, entre ellos Lindh y Shiklomanov, cuyos resultados pueden verse en los cuadros 2.01 y 2.02. Lindh encontró para la escorrentía mundial un valor de 38,820 km³/año, que presenta distribuido en siete áreas continentales del planeta.

Tabla 1. Distribución continental de la escorrentía mundial (LINDH).

REGIÓN	Escorrentía Km ³ /Año			(Esc. Persistente) / (Esc. Total) *100
	Total	Persistente	No Persistente	
África	4,225	1,905	2,320	45%
Asia (sin la ex URSS)	9,544	2,900	6,644	30%
Australia	1,965	495	1,470	25%
Europa (sin la ex URSS)	2,362	1,020	1,342	43%
Norte América	5,960	2,380	3,580	40%
Sud América	10,380	3,900	6,480	38%
La ex URSS	4,384	1,410	2,974	32%
Total, continental Sin regiones polares	38,820	14,010	24,810	36%
Caudal	1,230,974 m ³ /s	444,254 m ³ /s	786,720.00 m ³ /s	

Fuente: Introducción a la Hidráulica Fluvial; Rocha (1998).

Tabla 2. Distribución continental de la escorrentía mundial (SHIKLOMANOV)

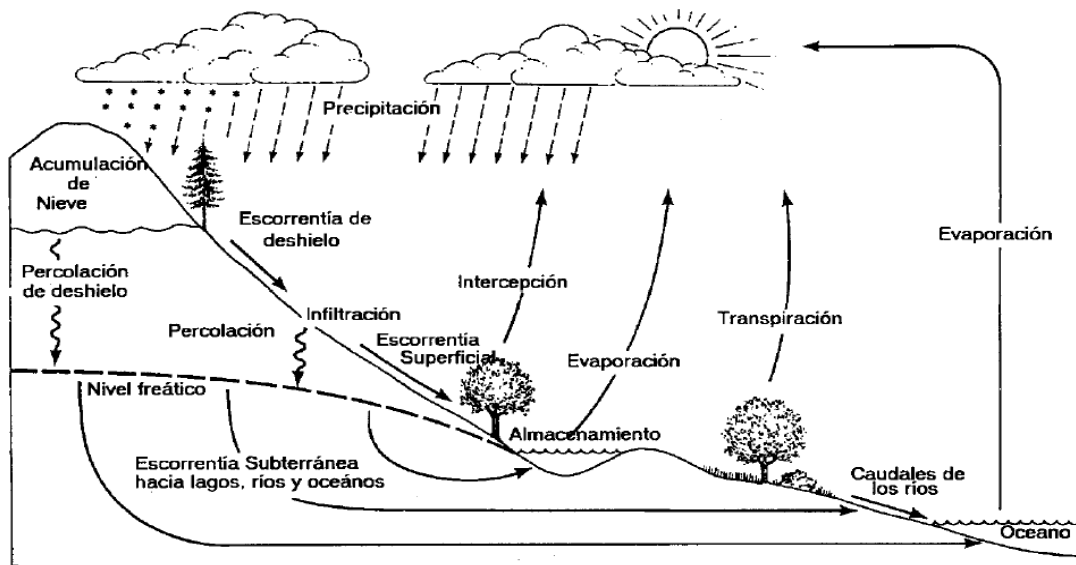
Territorio	Caudal Anual		Porcentaje de la escorrentía Total	Superficie 10 Km ²	Descarga Especifica l/s/km ²
	mm	Km ²			
Europa	306	3,210	7	10,500	9.70
Asia	332	14,410	31	43,475	10.50
África	151	4,570	10	30,120	4.80
América del Norte y Central	339	8,200	17	24,200	10.70
América del Sur	661	11,760	25	17,800	20.90
Australia y Tasmania	45	348	1	7,683	1.40
Oceanía	1,610	2,040	4	1,267	51.10
Antártida	160	2,230	5	13,977	5.10
Total, Mundial	314	46,768	100.00	149,022	10.00
Caudal			1483.004	m³/s	

Fuente: Introducción a la Hidráulica Fluvial; Rocha (1998).

- **Circulación subterránea:** Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades:
 - ✓ Primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas karstificadas.
 - ✓ Segundo, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable.
- **Fusión:** Este cambio de estado se produce cuando la nieve pasa a estado líquido al producirse el deshielo.
- **Solidificación:** Al disminuir la temperatura en el interior de una nube por debajo de 0° C, el vapor de agua o el agua misma se congelan, precipitándose en forma de nieve o granizo, siendo la principal diferencia entre los dos conceptos que en el caso de la nieve se trata de una solidificación del agua de la nube que se presenta por lo general a baja altura. Al irse congelando la humedad y las pequeñas gotas

de agua de la nube, se forman copos de nieve, cristales de hielo polimórficos, mientras que, en el caso del granizo, es el ascenso rápido de las gotas de agua que forman una nube lo que da origen a la formación de hielo, el cual va formando el granizo y aumentando de tamaño con ese ascenso.

Figura 2. El ciclo hidrológico del agua



Fuente: R. Villodas (2008), Guía de estudios para cátedra, UNC.

2.4 Contaminación del agua

Según Marzal (2000), la contaminación del agua debe entenderse como un concepto relativo asociado a las características físicas, químicas y biológicas que impiden o dificultan su uso según las aplicaciones a las que vayan destinadas. La contaminación de las aguas puede venir de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante sin duda es la provocada por el hombre. Las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación de origen antropogénico que las aguas subterráneas, por su exposición directa a la actividad humana. Por otra parte una fuente superficial puede restaurarse más rápidamente que una fuente subterránea a través de ciclos de escorrentía estacionales.

Para Gonzales (2010), es la modificación de la calidad del agua, provocada por el

hombre, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural.

2.4.1 Contaminación natural

Para Gonzales (2010), las aguas en condiciones naturales contienen materias extrañas en solución y suspensión, en proporciones muy variables, provenientes del terreno por donde discurren o de la atmósfera.

La atmósfera contiene, entre otros elementos, polvo en suspensión, materias disueltas y materias radioactivas, los que son lavados, por las lluvias, transportándose aproximadamente el 80% de dichos elementos del aire hacia la superficie terrestre.

2.4.2 Contaminación por factores antropogénicos

Para Ramos (2008), los factores antropogénicos que afectan la calidad de las fuentes de agua suelen categorizarse en dos tipos: puntuales y no puntuales. Las puntuales son aquellas fuentes de contaminación caracterizadas por descargas únicas o discretas, en las que los contaminantes se vuelcan desde una única área geográfica aislada o confinada. Por otra parte, las no puntuales involucran fuentes de contaminación difusas y comprenden actividades que abarcan un área mayor, pudiendo causar la contaminación general del agua subterránea, razón por la cual son más difíciles de controlar que las fuentes puntuales. Entre las fuentes puntuales podemos mencionar: Descargas de efluentes domésticos, descargas de efluentes industriales, operaciones con residuos peligrosos, drenaje en minas, derrames y descargas accidentales. Las fuentes no puntuales se pueden clasificar en las provenientes de: la agricultura y la ganadería, del drenaje urbano, de la explotación del suelo, de los rellenos sanitarios, de la deposición atmosférica y de distintas actividades recreativas.

a.- Contaminación doméstica

Según FAO (1997), las aguas domésticas son las que provienen de núcleos urbanos contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.). La contaminación del agua usada urbana se estima en función de su caudal, de su concentración en materias en suspensión y de su demanda biológica. Físicamente presentan color gris y diversas materias flotantes.

Químicamente contienen gran cantidad de materia orgánica, biológicamente contienen gran cantidad de microorganismos, algunos de los cuales pueden transmitir enfermedades.

Una de las características principales de un agua residual urbana es su biodegradabilidad, es decir, la posibilidad de depuración mediante tratamientos biológicos, siempre que pueda darse una alimentación equilibrada de las bacterias en nitrógeno y fósforo.

b.- Contaminación industrial

Según FAO (1997), el tipo de contaminación industrial de las aguas depende de los productos elaborados, así se tiene: sales inorgánicas, materias alcalinas y ácidos orgánicos, flotantes en suspensión, aguas calientes, colorantes y otros, que dan al agua un carácter turbio y de aspecto desagradable, impidiendo la oxigenación del cuerpo de agua.

Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química.

c.- Actividad transporte

Según FAO (1997), el transporte tiene un rol importante en la contaminación de las aguas, aunque en menor proporción que en la contaminación del aire. Las aguas ocupan las 4/5 partes de la superficie de la tierra y los contaminantes atmosféricos se depositan

sobre la superficie contaminándola.

Los barcos descargan en el mar sus desperdicios, tales como combustibles y aceites lubricantes. Estos flotan en las superficies de las aguas afectando la vida acuática por disminución del contenido de oxígeno. La película superficial que forman los productos petrolíferos impide o dificultan el paso de la luz, disminuyendo la fotosíntesis y como consecuencia el contenido de oxígeno disuelto.

d.- Actividad minera

Según MEM (2007), las aguas provenientes de las minas, del proceso de preparación del mineral, en especial de las concentradoras. Algunos productos químicos como por ejemplo los empleados para la flotación del mineral (tensoactivos), contienen sustancias que son altamente tóxicas y que son vertidas a los ríos, en la mayoría de los casos sin tratamiento o con un tratamiento deficiente. Todo esto afecta la calidad de las aguas disminuyendo la transparencia, cambiando el pH o actuando como tóxico.

Algunos ríos del Perú presentan contaminación de sus aguas por la intensa actividad minera; llegando a ser peligroso para las aguas inclusive los pequeños purificadores de oro y plata, que utilizan los contaminantes más peligrosos como cianuro o mercurio.

e.- Actividad agrícola

Según FAO (1997), los productos químicos usados en la agricultura como fertilizantes, plaguicidas y desinfectantes pueden llegar a las aguas de los ríos mediante las lluvias o en las aguas de retorno.

Los desinfectantes constituyen un problema muy serio, pues los más comunes están elaborados a base de fenoles que son venenosos para la vida acuática; en cuanto al consumo por el hombre.

Los fertilizantes son muy usados en la agricultura para incrementar la productividad de los cultivos, pero el uso indiscriminado y excesivo no sólo es antieconómico sino que favorece el crecimiento de otras plantas indeseables; además, los residuos son lavados por las aguas de riego y la lluvia y pueden ser conducidos a los ríos donde mediante el desarrollo de la flora y fauna acuática pueden ser causantes de ciertas enfermedades en el ser humano y pueden eutroficar los cuerpos de agua por exceso de nutrientes (nitrógeno, fósforo).

2.5 Calidad del agua

Para Aguilar (2009), la calidad del agua es un conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua en un estado natural o después de ser alterados por la acción del hombre. Conocer la calidad de aguas, solo se logra efectuando estudios sistemáticos que permitan identificar actividades que el hombre realiza, en tal sentido se puede considerar los principales usos referidos a la población, ganadería, agricultura, minería, industria, energía, y recreación o en todo caso la formación de los ecosistemas lénticos o lóticos, que dan lugar a la existencia de vida acuática (flora y fauna).

Según Quintanilla (2009), la calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo relativo, definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido; cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá. La calidad del agua obedece a múltiples factores como: la composición de los suelos de la cuenca, el régimen hidrológico, características hidráulicas del sistema fluvial, época del año. Además de esto, muchas veces las características del agua se ven afectadas por las actividades humanas que se realizan dentro de la cuenca y que por escorrentía superficial o descarga directa llegan a los cuerpos hídricos.

Según FAO (1997), la calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño.

En este contexto, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está libre de sustancias que transmitan sensaciones desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos.

Para MEN (2007), la calidad del agua superficial se encuentra condicionada por un conjunto variado de procesos naturales y de actividades antrópicas que interaccionan entre sí de manera directa o indirecta; por lo tanto, la misma se vincula o asocia con los diferentes usos del territorio que se desarrollan en una cuenca y del recurso hídrico en sí mismo.

2.6 Aspectos que influyen en la calidad del agua

Para MEN (2007), para lograr una clara comprensión de los aspectos físicos que influyen la calidad de las aguas es necesario conocer entre otros aspectos el clima, la hidrología, la geología, la fisiografía de la cuenca colectora. La información así obtenida permite definir la calidad natural de las aguas, la que se expresa mediante la temperatura, pH, contenido de oxígeno y otros gases disueltos, mineralización (salinidad, dureza, alcalinidad), etc., y sus variaciones en el tiempo.

Asimismo, es necesario conocer los usos del agua y las actividades que se desarrollan en la cuenca, ya que ello permite una apreciación inicial de las posibles alteraciones a la calidad natural de las aguas como consecuencia de la acción humana.

2.6.1 Climatología

Para MEN (2007), el clima puede influenciar en la calidad de las aguas de diversas maneras:

- La precipitación y los vientos pueden definir un régimen de erosión, removiendo o depositando materiales, lo que puede incidir en la turbidez de los ríos.
- La precipitación puede lixiviar elementos y compuestos químicos contenidos en el suelo y las rocas, transportándolas a los ríos.
- Las altas temperaturas promueven rápidos cambios químicos en el suelo por acción química directa y por los efectos en la descomposición de los tejidos de las plantas, lo que puede acelerar los procesos de lixiviación.
- El agua que penetra en las rocas y que disuelve y altera los minerales, puede expandirse por congelación ensanchando uniones y fracturas. Esta acción es en parte física y en parte química, es decir, desintegración y descomposición a la vez, lo que puede igualmente reflejarse en la calidad de las aguas. La información climática de interés para el estudio es, principalmente, la de precipitación y la de temperatura.

2.6.2 Hidrología

Según MEN (2007) las descargas de los ríos se originan de la escorrentía directa a partir de las precipitaciones, de los deshielos de áreas nevadas, de las descargas de lagunas y de los aportes subterráneos y de otras áreas como los pantanos. La calidad de las aguas

puede tener determinadas características en cada uno de ellos y su interacción se reflejará en la calidad de las aguas de un río.

La concentración de los componentes de la calidad del agua variará además de acuerdo al régimen hidrológico. En general, las mayores concentraciones corresponderán a los períodos de menores descargas (período de estiaje), excepto la turbidez, y las menores concentraciones a las mayores descargas (período de avenidas). La información hidrológica de interés para el estudio es la correspondiente al régimen de descargas de los ríos y a las características de las cuencas.

2.6.3 Geología

Para MEN (2007), la calidad de las aguas es también en gran medida, respuesta a las características geológicas de las cuencas. La mineralización de las aguas de los ríos, expresada en los componentes que definen los parámetros de salinidad, dureza, alcalinidad, etc., permite conocer las ventajas o limitaciones que pueden tener estos determinados usos. La presencia de dichos componentes puede ser, en gran medida, explicada por las características geológicas de la cuenca. La información geológica de interés para el estudio es la correspondiente a las formaciones geológicas.

2.6.4 Fisiografía

Según MEN (2007), la fisiografía de las cuencas influencia también la calidad de las aguas de los ríos; así por ejemplo, la fisiografía plana favorece la infiltración y retarda la respuesta de la cuenca a la precipitación, mientras que la fisiografía escarpada favorece una respuesta rápida a la precipitación. La información fisiográfica de interés para el estudio es la correspondiente a la extensión y pendiente de las cuencas y subcuencas.

2.6.5 Usos del agua y vertimientos

Según MEN (2007), las diversas actividades humanas en una cuenca, principalmente las usuarias de agua, pueden contaminar las aguas de los ríos, ya sea directamente por el vertimiento de sus efluentes o, indirectamente, al ser arrastrados los contaminantes por las lluvias.

La información del uso del agua de interés para el estudio es la correspondiente al uso agrícola y pecuario, al uso poblacional de las áreas servidas y no servidas, al uso minero, y al uso industrial.

2.7 Parámetros de calidad del agua

Según Ramos (2008), las sustancias contaminantes potenciales que alteran la calidad del agua, pueden ser clasificadas en 4 grandes grupos:

2.7.1 Parámetros físicos

Ramos (2008), dice que los parámetros físicos de calidad del agua son aquellas que pueden impresionar a los sentidos, color, temperatura, sabor y olor. Tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

a.- Temperatura

Para Miller (2007), la temperatura del agua, es un factor abiótico importante, que influye directamente en la regulación de los procesos vitales de los organismos acuáticos. Desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de un cuerpo de agua al regular o afectar otros factores abióticos del ecosistema como son: la solubilidad de nutrientes, solubilidad de gases, el estado físico de nutrientes, el grado de toxicidad de compuestos químicos cuya estructura química en la naturaleza es poco frecuente o inexistente debido a que son compuestos sintetizados por el hombre en el laboratorio (compuestos xenobióticos), y las propiedades físico-químicas del medio acuoso como: pH, potencial

redox, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad, la cual desempeña un rol importante en determinar la forma de peces y larvas de insectos presentes en cuerpo de agua (río o laguna).

La temperatura del agua superficial está condicionada por la latitud, altitud, estación del año. Hora, velocidad del flujo.

Un aumento de la temperatura ocasiona:

- Disminución del oxígeno disuelto
- Aumento de la actividad biológica, produciendo disminución de oxígeno disuelto, especialmente en aguas ricas en materia orgánica.
- Alteración en la solubilidad y velocidades de reacción de diversas sales.
- Alteración en el equilibrio de la flora y fauna.

Tabla 3. Solubilidad del oxígeno en agua a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
10	11.3
20	9.2
30	7.6

Fuente: IMTA (2003) citado por Ramos (2008).

b.- Turbiedad

Según Miller (2007), la turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez se presenta en las aguas superficiales debido a la presencia de arcilla y sílice en suspensión, material

orgánico e inorgánico, plancton y otros microorganismos.

2.7.2 Parámetros químicos

Para Ramos (2008), la contaminación química de aguas superficiales es considerada como el más grave del medio ambiente, problema que enfrentan muchos países. Es causada por diversos agentes contaminantes, tales como el nitrógeno, fósforo, metales pesados, sales, pesticidas, productos químicos tóxicos urbanos, el petróleo, ciertos isótopos radioactivos, así como los contaminantes orgánicos, tales como plaguicidas.

a.- pH

Según Wheaton (1987), el pH expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH del agua natural depende de la concentración de CO_2 , composición de los terrenos atravesados. El pH alcalino indica que los suelos son calizos y el pH ácido que son síliceos. El pH es un factor importante, interviene en la regulación de los procesos biológicos mediados por enzimas (fotosíntesis, respiración), en la movilidad de metales pesados; así mismo a nivel celular afecta o regula la estructura y función de macromoléculas y organelos tales como ácidos nucleicos, proteínas estructurales y sistemas de pared celular y membranas. Las marcadas variaciones de pH hacia cualquiera de los extremos de la escala, pueden tener efectos marcados sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel de ecosistemas.

b.- Conductividad eléctrica (CE)

Para Wheaton (1987), la conductividad eléctrica es indicadora de la salinidad de las aguas. Este es un parámetro que depende del grado de concentración de sólidos totales disueltos (STD), de la temperatura y de la capacidad conductora de los materiales disueltos; este parámetro es medido a 250°C (aunque también lo es a 20°C) y se expresa en micromhos/cm.

c.- Oxígeno disuelto (OD)

Según Wheaton (1987), define al oxígeno disuelto como un gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. La solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas dulces oscila entre 7mg/ a 35°C y 14.6 mg/l a 0°C, para una presión de una atmosfera. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. La concentración de saturación de OD, es función de la temperatura, presión atmosférica y de la salinidad del agua. Es un parámetro que indica el grado de frescura o ranciedad.

d.- Sólidos totales disueltos (STD)

Para Miller (2007), los sólidos disueltos es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, son todos los sólidos, que están en solución ionizados. El término STD describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Los STD y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos.

Las altas concentraciones de sólidos disueltos son debido al arrastre de materiales provocados por el aumento del caudal de los ríos. Es un índice importante en la determinación de los usos del agua.

e.- Metales pesados

Para Wheaton (1987), la importancia que tiene el estudio de metales pesados se debe a su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación en los organismos acuáticos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente en el corto plazo. La toxicidad de estos elementos es proporcional a la facilidad de ser absorbidos

por los organismos acuáticos. Un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si este se haya reducido, aumenta la posibilidad de su oxidación por los diversos microorganismos acuáticos.

Las altas concentraciones de metales pesados en los cuerpos de agua, generalmente están asociados a las actividades humanas que generan descargas industriales, mineros metalúrgicos, o también a la naturaleza geoquímica de la cuenca. Existen casos en que las altas concentraciones de metales pesados en los cuerpos de agua asociados a sulfuros tales como As, Cd, Cu, Pb y Zn puede atribuirse a la minería y son causa de fuerte impacto en el medio ambiente.

Además, las cantidades de muchos de estos metales pueden determinarse, a concentraciones muy bajas, empleando métodos instrumentales entre los que cabe destacar la polarografía y espectroscopia de absorción atómica.

Para Wheaton (1987), los metales pesados tienen tres vías de entrada a un cuerpo de agua, estas son:

- **La vía atmosférica**, la cual se produce debido la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antrópicos, principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales.
- **La vía terrestre**, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de suelos contaminados, (pasivos ambientales, lixiviación de botaderos de residuos sólidos, precipitaciones atmosféricas, etc.), o debido a la naturaleza geoquímica de los suelos de la cuenca.
- **La vía directa**, de entrada de metales pesados es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales, mineros metalúrgicos y urbanos.

f.- Cobre (Cu)

Para Wheaton (1987), se presenta principalmente en forma de sulfatos, carbonatos, de sulfuras de Fe y Cu calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4), cuprita (óxido de cobre), malaquita y azurita (carbonatos de cobre). Las concentraciones de cobre en distintos materiales del medio ambiente.

Es blando, maleable, dúctil y un buen conductor del calor. Se le considera semiprecioso. Pues solo es atacado directamente por los ácidos oxidantes. En presencia de O_2 es atacado por otros ácidos.

El cobre es uno de los elementos más importantes para las plantas y animales. Sin embargo, si las plantas y animales son expuestas a concentraciones elevadas de cobre biodisponible, puede ocurrir bioacumulación, con efectos tóxicos.

g.- Plomo (Pb)

Según Wheaton (1987), el plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16°C (61°F), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4°C (621.3°F) y hierve a 1725°C (3164°F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico.

Sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. La galena es la principal fuente de producción de plomo y se encuentra generalmente asociada con diversos minerales zinc y en pequeñas cantidades con el cobre, cadmio, hierro, etc.

Cuando el plomo se libera al ambiente tiene un largo tiempo de residencia en comparación con la mayoría de los contaminantes. Como resultado tiende a acumularse

en tierra y sedimentos. Ahí debido a su baja solubilidad, puede permanecer accesible a la cadena alimentaria y al metabolismo humano por mucho tiempo.

El plomo puede inhibir el crecimiento celular de plantas a concentraciones muy altas de lo establecido.

h.- Cromo (Cr)

Según Wheaton (1987), el cromo es un elemento natural ubicuo, que se encuentra en las rocas, plantas, suelos, animales y en los humus y gases volcánicos. Puede funcionar con distintas valencias y en el ambiente se encuentra en varias formas; las más comunes son las derivadas del cromo trivalente o cromo III y las cromo hexavalente o cromo VI. En el ambiente existen varios estados de oxidación del cromo, solo las formas trivalentes y hexavalentes son consideradas como de importancia biológica. En los ambientes acuáticos el cromo IV estará presente predominantemente en una forma soluble.

La exposición a corto plazo a altos niveles puede resultar en la ulceración de la piel expuesta, perforaciones de superficies respiratorias e irritación del tracto gastrointestinal: También se han reportado daños al riñón e hígado. Además, la Agencia Internacional para la Investigación de Cáncer (IARC) clasifica a los compuestos de cromo (VI) como cancerígenos conocidos. La exposición profesional a largo plazo al cromo transportado por el aire a niveles más altos que los que hay en el ambiente natural se ha asociado con el cáncer de pulmón.

i.- Mercurio (Hg)

Para Wheaton (1987), el mercurio no es un elemento esencial para la vida, sin embargo, siempre ha estado presente en la naturaleza en concentraciones a que los seres vivos están adaptados. Sus fuentes naturales son el vulcanismo, la desgasificación de la corteza terrestre, la erosión y la disolución de los minerales de las rocas debido a la

penetración del agua a través de estas por tiempo muy prolongado.

Las fuentes antropogénicas son la minería, el uso industrial y la agrícola.

Es de color gris claro, como plateado y bastante brillante. Es el único metal líquido a temperatura ambiente. Es además muy volátil.

Su dilatación es uniforme a cualquier temperatura. Se solidifica a $-38,87^{\circ}\text{C}$, hierve a $356,95^{\circ}\text{C}$ y tiene un punto de fusión de -39°C . Su densidad es de $13,59\text{ g/cm}^2$, que es bastante elevada. Es muy difícil que le afecten los ácidos minerales. Es buen conductor de la electricidad, y tiene un elevado coeficiente de dilatación térmica.

Los compuestos de mercurio que se fabrican para fines agrícolas pasan al ambiente cuando se aplican en forma de fungicidas sobre semillas, raíces, bulbos e incluso sobre la planta misma.

El mercurio en los ecosistemas acuáticos y en presencia de oxígeno se ioniza y se reduce para dar mercurio metálico.

2.7.3 Parámetros biológicos

Según Ramos (2008), los agentes biológicos son muy importantes ya que son de prioridad en lo relacionado a la salud, y también pueden ser significativos a la hora de modificar las características tanto físicas, como químicas del agua.

a.- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Para Miller (2007), la DBO es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media

(tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

La DBO de una muestra de agua expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

b.- Demanda química de oxígeno (DQO)

Para Miller (2007), el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato de potasio proporciona excelentes resultados en este sentido. El ensayo debe hacerse a altas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de plata).

El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre DBO y DQO. Ello puede ser de gran utilidad puesto que la primera necesita 5 días para ser determinado frente a las tres horas que necesita la DQO para ser determinada. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

2.7.4 Parámetros hidrológicos

Según Ramos (2008), la importancia de una descarga sobre un cuerpo receptor no está conferida solo por sus concentraciones toxicas, sino por la cantidad total del contaminante en un volumen dado. El caudal es un parámetro hidrológico que permite cuantificar la carga del contaminantes en el agua, el cual es el producto de la concentración del toxico por el caudal de la descarga de la fuente de contaminación.

a.- Caudal (Q).

Para Wheaton (1987), el caudal es un parámetro hidrológico que permite cuantificar la carga de los contaminantes en el agua, el cual es el producto de la concentración del toxico por el caudal de la descarga de la fuente de contaminación.

2.8 Índices de calidad del agua (ICA)

Para Brown (1970), los índices de calidad del agua, son indicadores del nivel de calidad del agua, surge a partir de la necesidad de dar una interpretación a los datos obtenidos por medio del análisis de laboratorio. Este índice, intenta mostrar el comportamiento de los parámetros de calidad del agua a lo largo del cauce, para un periodo determinado y a su vez estimar su evolución en el tiempo en cada una de las estaciones del río.

Tabla 4. Índices de calidad del agua reportados en la literatura.

PARÁMETROS	ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA- ICA							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Temperatura	XX	XX	XX		XX	XX		
Conductividad		XX		XX	XX			
PH	XX	XX	XX	XX		XX		XX
Alcalinidad		XX	XX	XX				
Oxígeno Disuelto	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
DBO	XX	XX	XX	XX		XX	XX	XX
DQO			XX		XX			
Solidos Totales	XX			XX		XX		XX
Solidos Suspendidos			XX	XX	XX			
Turbiedad	XX			XX		XX		XX
Color		XX		XX				
Dureza Total		XX	XX	XX				
Coliformes Totales		XX	XX	XX				
Coliformes Fecales	XX	XX	XX	XX		XX	XX	XX
Nitrógeno Total						XX		
Nitrógeno Amoniacal			XX	XX				
Nitratos	XX	XX	XX	XX				
Fosforo Total						XX		
Fosfatos	XX		XX	XX				
Cloruros		XX	XX	XX				
Grasas y Aceites				XX				
Detergentes				XX				
Fenoles			XX					
Número Total de Parámetros	9	12	15	18	5	9	3	6

Fuente: CVC. (2004).

I: Fundación Nacional de sanidad (1970), desarrolló el ICA-NSF ampliamente utilizado en diversas investigaciones.

II: Dinius (1987), desarrolló un ICA multiplicativo que tiene en cuenta los diferentes usos del recurso hídrico.

III: León (1998), desarrolló un ICA multiplicativo a partir de la adaptación y modificación del ICA de Dinius (1987), en la cuenca Lerma-Chapala en México.

IV: Montoya (1997), desarrolló un ICA de tipo aditivo en el estado de Jalisco México.

V: Queralt (1982), desarrolló el índice simplificado de calidad de aguas (ISQA), para las cuencas de Cataluña en España.

VI: CETESB (2002), Modificó el ICA-NSF y lo adaptó para los ríos del estado de Sao Pablo en Brasil.

VII: Bechar, Zúñiga y Rojas (1997), modificaron el ICA-NSF aditivo para los ríos Cali y Meléndez en al departamento del valle del Cauca en Colombia.

VIII: Rojas (1991), desarrolló un ICA de tipo multiplicativo adaptado al río del Cauca en el departamento del valle del Cauca en Colombia.

A continuación, se hace la descripción detallada de algunos de los índices presentados en la Tabla 4. (Extraído de CVC. 2004).

2.8.1 ICA, Fundación Nacional de Sanidad (NSF)

Para CVC. (2004), los índices de tipo numérico fueron propuestos por primera vez de una manera formal y demostrada a finales de los años sesenta. Es así como Horton (1965) y Liebman (1969) son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA.

Posteriormente Brown (1970) apoyados por la “Fundación Nacional de Sanidad en sus siglas en inglés - NSF” de los Estados Unidos, propusieron el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), el cual se basó en la estructura del índice de Horton y en un procedimiento fundamentado en el método Delphi. Este método consistió en combinar la opinión de un panel de 142 expertos en el tema de calidad del agua, los cuales fueron encuestados por correo usando varios cuestionarios, buscando la forma de realizar un consenso de los parámetros que deberían ser incluidos en el índice y las transformaciones que debían ser realizadas para que todos los parámetros se convirtieran en subíndices en una escala similar. Este último con el fin de resolver la dificultad que representaba la heterogeneidad de las unidades de medida y la ponderación de la importancia de cada subíndice.

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ en mg/L)
2. Oxígeno disuelto (OD en % saturación)
3. Potencial de hidrógeno (en unidades de pH)

4. Turbiedad (Turb. En UNT)
5. Fosfatos (PO_4^{-3} en mg/L)
6. Nitratos (NO_3^{-2} en mg/L)
7. Cambio de la Temperatura (en °C)
8. Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
9. Sólidos totales (ST, mg/ L)

Para determinar el valor del índice existen dos técnicas básicas; las denominadas aditivas y las multiplicativas.

ICA Aditivo:

El Índice de Calidad Aditivo, ICA_a – NSF de una fuente de agua se obtiene de la suma de los productos resultantes entre los subíndices de cada parámetro de calidad y los pesos o porcentajes asignados a cada parámetro.

$$\text{ICA}_a = \sum_{i=1}^n I_i W_i \quad (1)$$

ICA Multiplicativo:

El Índice de Calidad Multiplicativo ICA_m –NSF de una fuente de agua se calcula multiplicando los subíndices de cada parámetro de calidad, afectados previamente por un exponente (el peso o porcentaje asignado a cada parámetro) según la siguiente expresión:

$$\text{ICA}_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = (I_1^{W_1})(I_2^{W_2}) \dots \dots (I_n^{W_n}) \quad (2)$$

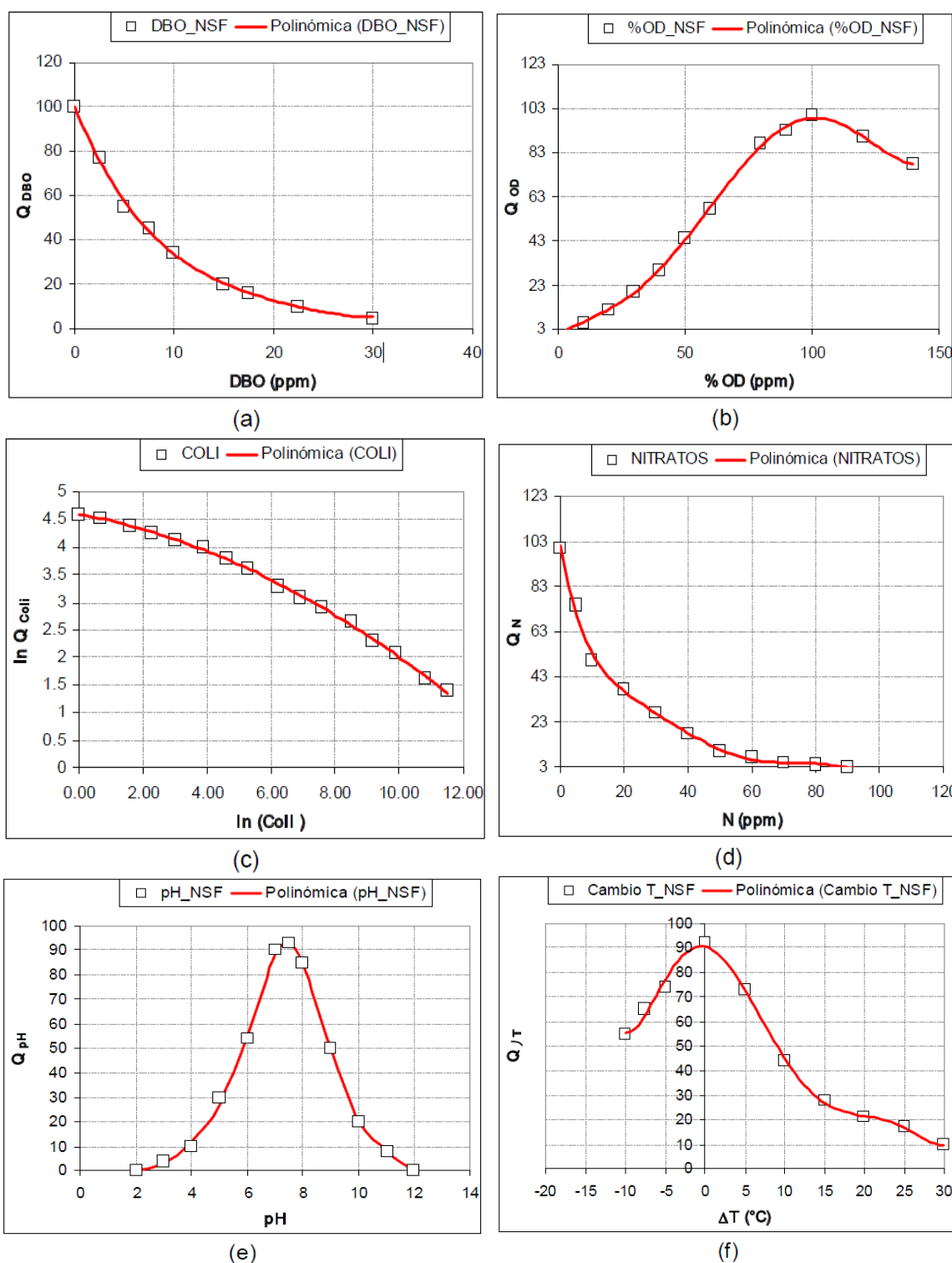
Donde, “ i ” corresponde a cada uno de los parámetros de calidad elegidos (OD, DBO_5 , ST, pH, temperatura, turbiedad, nitratos, fosfatos y coliformes fecales), “ I_i ” corresponde al subíndice del parámetro “ i ”; (se encuentra entre 0 y 100), y “ W_i ”

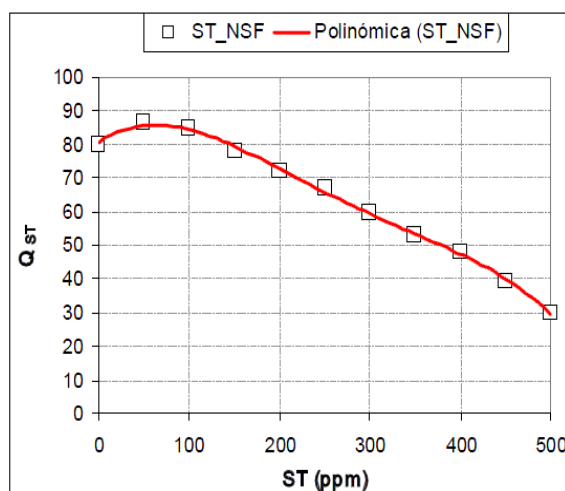
corresponde al peso o porcentaje asignado a cada parámetro “i”.

Según CVC. (2004), cuando algunos de los subíndices toman valores extremos, la NSF sugiere la aplicación del Índice Multiplicativo, el cual es más sensible a valores extremos. De esta forma cuando un subíndice se aproxima a cero, el valor final del índice se aproxima a cero.

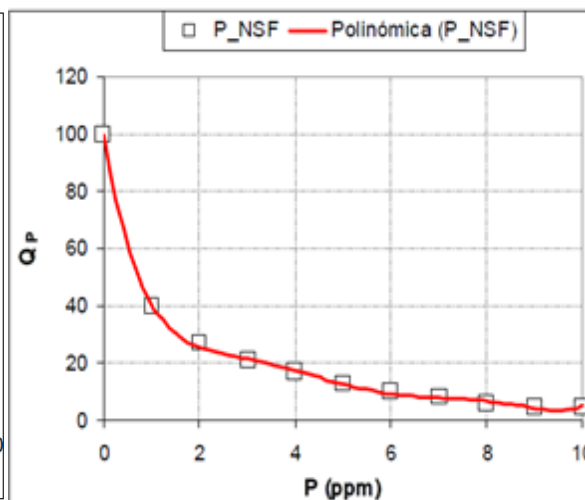
El panel de expertos expresó la importancia de las 9 variables o parámetros empleados en el cálculo del ICA-NSF de manera gráfica, asignando una curva específica a cada parámetro. A partir del valor del parámetro se puede obtener el valor del subíndice correspondiente (I_i), logrando de esta forma una curva donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable en particular y en el eje de las ordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, el cual se encuentra entre 0 y 100. Las curvas promedias para cada parámetro se pueden observar en la figura 3.

Figura 3. Función del subíndice para los parámetros involucrados en el ICA

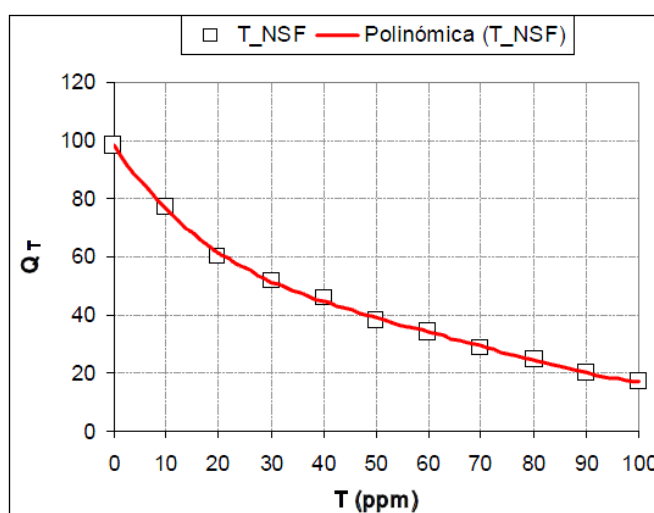




(g)



(h)



(i)

Fuente: Adaptado de NSF (2003) mencionado por, CVC (2004).

- (a) Función del subíndice para; DBO (si $DBO_5 > 30\text{mg/l}$, $I_{DBO_5}=2$)
- (b) Función del subíndice para; Oxígeno Disuelto (si $\%OS > 140$, $I_{OS}=50$)
- (c) Función del subíndice para; Coliformes fecales (si $Colf > 10^5/100\text{ml}$, $I_{COLF}=2$)
- (d) Función del subíndice para; Nitratos (si Nitratos > 100 , $I_{Nitratos}=1$)
- (e) Función del subíndice para; Potencial de Hidrógeno (si $\text{pH} < 2$ ó $\text{pH} > 12$ und, $I_{\text{pH}}=0$)
- (f) Función del subíndice para; Cambio de Temperatura (si $\Delta T > 15^\circ\text{C}$, $I_T=5$)
- (g) Función del subíndice para; Solidos Totales (si $ST > 500\text{ mg/l}$, $I_{ST}=20$)
- (h) Función del subíndice para; Fosfatos (si Fosfatos $> 10\text{ mg/l}$, $I_P=2$)
- (i) Función del subíndice para; Turbiedad (si Turbiedad $> 100\text{ UNT}$, $I_T=5$)

Según Behar, Zúñiga y Rojas (1997) mencionado por CVC. (2004); las estructuras de los subíndices que se construyen asociados con cada una de las variables seleccionadas

involucran las condiciones ambientales específicas del río, para así determinar una medida de lo que sería el máximo asignable a un parámetro según unas condiciones determinadas. Por ejemplo, el nivel de oxígeno disuelto que merecería una calificación del subíndice del 100 % (óptimo) depende, entre otras condiciones, de la temperatura del sitio y la altura sobre el nivel del mar; por esta razón, el óptimo no puede corresponder a una cifra absoluta de concentración de oxígeno disuelto, sino que lo relaciona con la concentración de oxígeno de saturación para unas condiciones específicas.

Posteriormente los expertos determinaron el peso relativo (W_i) o ponderación según la importancia de cada variable o parámetro en la calidad del agua. Estos pesos se aplican a los subíndices correspondientes a cada parámetro para generar la media ponderada que constituye el ICA-NSF. Las ponderaciones aplicadas a cada uno de los parámetros se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Ponderación o peso relativo usados en el ICA-NSF.

Parámetro	Peso Relativo (W_i)
Oxígeno Disuelto	17%
Coliformes Fecales	15%
pH	12%
DBO5	10%
Fosfatos	10%
Nitratos	10%
Temperatura	10%
Sólidos Totales	8%
Turbiedad	8%

Fuente: Rojas (1991).

Finalmente, para realizar la clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA-NSF, los expertos propusieron unos rangos teniendo en cuenta las características que debe presentar el agua para ser considerada como fuente de captación para el consumo humano. Dicha clasificación se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua, propuesta por Brown (1970).

Índice de Calidad	Clasificación
90-100	Excelente calidad
70-90	Buena calidad
50-70	Mediana calidad
25-50	Mala calidad
0-25	Muy mala calidad

Fuente: Rojas (1991).

2.8.2 ICA, Adaptado al río Cauca por Rojas (1991)

Rojas (1991), mencionado por CVC. (2004); propuso una modificación al ICA multiplicativo de la NSF, ajustado a las condiciones específicas del río Cauca. Mediante un análisis del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos encontró que la incidencia de los parámetros Nitratos y Fosfatos era despreciable en la calidad del agua del río debido a las bajas concentraciones en que se encontraban. Adicionalmente determinó que la variable Temperatura (ΔT) no debía tenerse en cuenta en el cálculo del ICA del río Cauca, debido a que en este río no existían descargas que pudiesen afectar significativamente la temperatura del agua. De esta forma Rojas O. (1991), propuso un Índice de tipo multiplicativo adaptado a las condiciones específicas del río Cauca, conformado por los parámetros y ponderaciones mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros y ponderaciones ICA adaptado al río Cauca por Rojas (1991)

Parámetro	Peso Relativo (W)
Oxígeno Disuelto	25%
Coliformes Fecales	21%
pH	17%
DBO5	15%
Sólidos Totales	11%
Turbiedad	11%

Fuente: Rojas (1991).

Adicionalmente Rojas (1991) planteó una clasificación de la calidad del agua del río Cauca, de acuerdo con el valor del índice obtenido, considerando el uso para el cual es destinada la fuente, que en ese estudio fue el abastecimiento humano. Dicha clasificación se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA

Índice de Calidad	Clasificación
80-100	Óptima calidad
50-80	Buena calidad
35-50	Aceptable calidad
20-35	Inadecuada calidad
0-20	Muy mala calidad

Fuente: Rojas (1991).

2.8.3 ICA, Adaptado por el CETESB (2002)

CVC. (2004), Menciona que; otra adaptación del ICA-NSF para ríos de condiciones tropicales fue la realizada por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil – CETESB (2002), la cual propuso una modificación al ICA multiplicativo de la NSF, ajustado a las condiciones específicas de los ríos del estado de Sao Paulo. Dicha modificación consistió en el cambio de los parámetros Nitratos y Fosfatos por Nitrógeno total y Fósforo Total respectivamente, manteniendo las mismas funciones de los subíndices y las ponderaciones específicas de cada parámetro establecido en el ICA-NSF. Adicionalmente el CETESB modificó la clasificación de la calidad del agua de los ríos de acuerdo con el valor del índice obtenido, considerando la destinación del recurso para el abastecimiento humano. Dicha clasificación se puede observar en el Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación de la calidad del agua según el valor del ÍCA multiplicativo adaptado por el CETESB (1991)

Índice de calidad	Clasificación
79-100	Excelente calidad
51-79	Buena calidad
36-51	Regular calidad
19-36	Mala calidad
0-19	Pésima calidad

Fuente: Rojas (1991).

2.8.4 ICA, Propuesto por Dinius (1987)

CVC (2004), menciona que; otro ICA propuesto en la literatura y de uso general es el de Dinius (1987), quien utilizó el método Delphi de encuestas mencionado anteriormente, con un panel de siete reconocidos expertos norteamericanos en el tema de calidad del agua. Dinius creó un índice de tipo multiplicativo con 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, estableciendo valores límites o medidas aconsejables del ICA de acuerdo con el uso a que se destine el recurso hídrico. Los resultados de dicho procedimiento permitieron elegir los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a tener en cuenta en el cálculo del índice:

1. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5 en mg/l)
2. Oxígeno Disuelto, expresado como % de saturación (OD en %Sat)
3. Potencial de hidrógeno (pH en unidades)
4. Nitratos (NO_3^{-2} en mg/l)
5. Temperatura (T), expresada como la desviación de la temperatura desde el equilibrio (ΔT).
6. Coliformes Fecales (Coli. F en NMP/100 ml)
7. Coliformes Totales (Coli. F en NMP/100 ml)
8. Alcalinidad (mg/l)

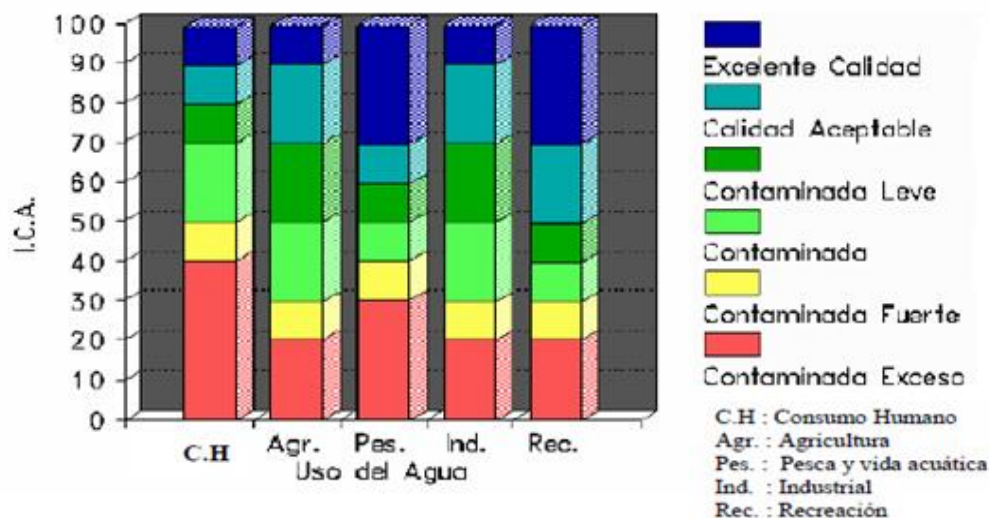
9. Dureza (mg/l)
10. Cloruros (Cl- mg/l)
11. Conductividad (µs/cm)
12. Color (UPC)

Tabla 10. Funciones de los subíndices de los parámetros del ICA de Dinius

Parámetro	Función del Subíndice (I)	Peso Relativo (W)
Coliformes Fecales	$I_{coliF} = 106(CF)^{-0.1286}$	11.6
Oxígeno Disuelto	$I_{OD} = 0.82(OD) + 10.56$	10.9
DBO5	$I_{DBO5} = 108(DBO5)^{-0.3494}$	9.7
Coliformes Totales	$I_{coliT} = 136(CT)^{-0.1311}$	9.0
Nitratos	$I_{NO3} = 125(NO_3)^{-0.2718}$	9.0
Conductividad	$I_{Cond} = 506(Cond)^{-0.3315}$	7.9
Temperatura	$I_T = 10^{2.004-0.0382\Delta T}$	7.7
pH	Si: $pH < 6.9 \rightarrow I_{pH} = 10^{0.6803+0.1856(pH)}$	
	Si: $6.9 \leq pH \leq 7.1 \rightarrow I_{pH} = 100$	
	Si: $pH > 7.1 \rightarrow I_{pH} = 10^{3.65-0.2216(pH)}$	7.7
Cloruros	$I_{CL^-} = 391CL^{-0.3480}$	7.4
Dureza Total	$I_{Dur} = 552(Dur)^{-0.4488}$	6.5
Alcalinidad	$I_{Alc} = 110(Alc)^{-0.1342}$	6.3
Color	$I_{color} = 127(Color)^{-0.2394}$	6.3

Fuente: CVC. 2004.

Figura 4. Identificación de los rangos de clasificación del ICA multiplicativo propuesto por Dinius (1987) en función del uso del agua.



Fuente: Adaptado de León Vizcaíno L. (2000) citado por CVC. (2004).

Adicionalmente Dinius, propuso las funciones y porcentajes mostrados en el Tabla 11, para realizar el cálculo de los subíndices y determinar el valor de las ponderaciones respectivas de cada parámetro. Dinius asoció el valor numérico del ICA a 6 rangos de clasificación de la calidad del agua, teniendo en cuenta las características que debe presentar el recurso hídrico de acuerdo con el uso a que se destine, los cuales son: (E) Excelente, (A) Aceptable, (LC) Levemente Contaminada, (C) Contaminada, (FC) Fuertemente Contaminada y (EC) Extremadamente Contaminada. En la Tabla 11. Se presentan los rangos de clasificación del ICA multiplicativo propuesto por Dinius (1987) en función del uso del agua.

Tabla 11. Rangos de clasificación del ICA multiplicativo en función del uso de agua, según Dinius (1987)

Consumo Humano		Agricultura		Pesca y vida acuática		Recreación	
Rango	Descripción	Rango	Descripción	Rango	Descripción	Rango	Descripción
E (90-100)	No requiere tratamiento	90-100	No requiere purificación para riego	70-100	Pesca y vida acuática abundante	70-100	Cualquier tipo de deporte acuático
A (80-90)	Tratamiento menor requerido	70-90	purificación menor para cultivos que requieran alta calidad de agua	60-70	Límite para peces muy sensitivos	50-70	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias
LC (70-80)	Dudoso consumo sin tratamiento	50-70	No requiere de tratamiento para la mayoría de cultivos	50-60	Dudosa la pesca sin riesgo a la salud	40-50	Dudosa para el contacto con el agua
C (50-70)	Tratamiento de potabilización necesario	30-50	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos	40-50	Vida acuática limitada a especies muy resistentes	30-40	Evitar contacto, solo con lancha
FC (40-50)	Dudoso para consumo	20-30	Uso solo en cultivo resistentes	30-40	Inaceptable para actividad pesquera	20-30	Contaminación visible, evitar cercanía
EC (0-40)	Inaceptable para consumo	0-20	Inaceptable para riego	0-30	Inaceptable para la vida acuática	0-20	Inaceptable para recreación

Fuente: Fuente Adaptado de León Vizcaíno L. (2000) citado por CVC. (2004).

Nomenclatura;

- (E) Excelente.
- (A) Aceptable.
- (LC) Levemente Contaminada.
- (C) Contaminada.
- (FC) Fuertemente Contaminada.
- (EC) Extremadamente Contaminada.

2.8.5 Índice Simplificado de calidad del agua (ISQA)

Para CVC (2004), el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) fue desarrollado por Queralt (1982) para las cuencas de Cataluña en España. Este índice tiene en cuenta la clasificación de la calidad del agua para usos específicos del recurso e incluye los siguientes parámetros fisicoquímicos:

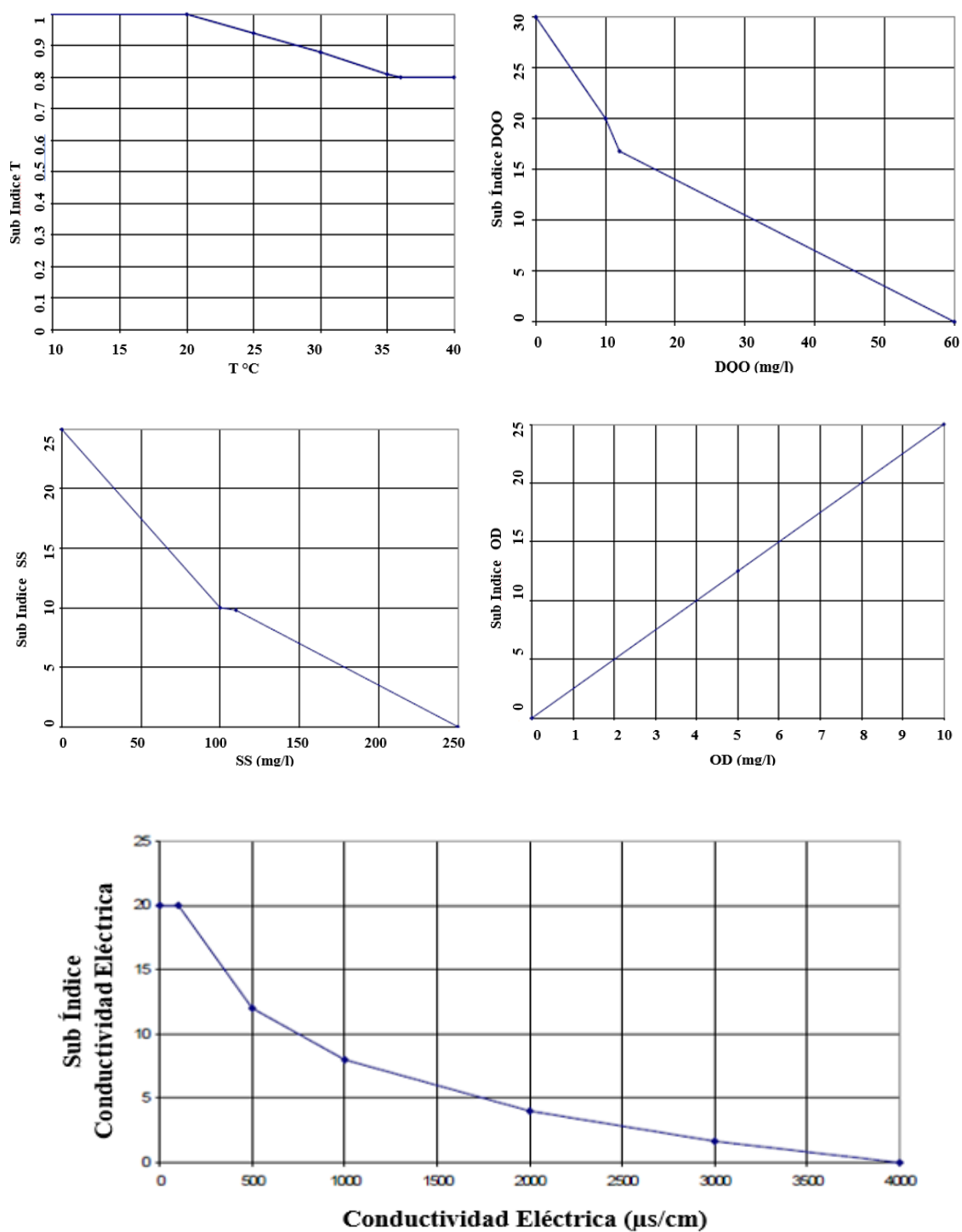
1. Temperatura (T): corresponde a la temperatura del agua en el río.
2. DQO (mg/l).
3. Material suspendido o Sólidos Suspendidos (SS) (mg/l).
4. Oxígeno disuelto (OD) (mg/l).
5. Conductividad eléctrica (cond): medida a 18° C. ($\mu\text{s/cm}$)

Para determinar el valor del índice, Queralt (1982) propuso la siguiente ecuación:

$$ISQA = T(DQO + SS + OD + Cond) \quad (3)$$

En forma similar al ICA-NSF, la importancia de los 5 parámetros empleados en el cálculo del ISQA se expresa de manera gráfica, asignando una curva específica a cada uno, mediante la cual a partir de los valores del parámetro, se puede obtener el valor del subíndice correspondiente. De esta forma se logra una curva en donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable en particular y en el eje de las ordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice. Las curvas correspondientes a cada parámetro se pueden observar en la Figura 5.

Figura 5. Funciones del subíndice para los parámetros involucrados ISQA



Fuente: Rubio S. (2000), citado por CVC. (2004).

Para realizar la clasificación según el valor numérico del ISQA Queralt propuso 5 rangos de calidad, de acuerdo con el uso al que se destine.

Tabla 12. Rangos de clasificación del ISQA en función del uso del agua.

Índice de calidad	Clasificación de calidad
85-100	Todos los Usos
60-85	Abastecimiento para consumo humano, recreación por contacto directo, piscicultura.
45-60	Riego, industria, abastecimiento para consumo humano con tratamiento especial
30-45	Recreación por contacto indirecto (navegación) y refrigeración industrial
0-30	No puede usarse

Fuente: Rubio S. (2000), citado por CVC. (2004).

2.9 Aspectos legales

Existen actualmente normas legales que están a favor del mantenimiento del estado óptimo de los cuerpos de agua ya sean mar, lagos, lagunas, ríos y otros. Dichas normas legales regulan el uso y la calidad de las aguas en el Perú los cuales son:

- ✓ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua.
- ✓ Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, que aprueban las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua.
- ✓ Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos”.
- ✓ Decreto Supremo N° 001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- ✓ Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, que aprueba la clasificación de cuerpos de aguas superficiales y marino - costeros.
- ✓ Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional de Muestreo de calidad de los recursos hídricos superficiales.

CAPITULO III

III. MATERIALES Y METODO

3.1 MATERIALES

a.-Materiales de dibujo y escritorio

- Papel bond (Formato A-4, A-3, A-2, A-1).
- Materiales de Impresión
- Cds.
- Otros.

b.- Hardware y software

- Computadora Estacionaria Intel Core i5
- Impresora Multifuncional a color EPSON L380.

c.- El Software que se uso fue:

- ArcGIS (versión 10.3).
- AutoCAD 2010 (versión en inglés).
- Microsoft Office 2010.

Tabla 13. Información auxiliar empleado para el procesamiento de datos

INFORMACIÓN	ENTIDAD
Limites geopolíticos	MINAM
Información cartográfica	IGN
Información hidrometeorológica	SENAMHI
Red de puntos de control	ANA-ALA-RAMIS
Resultados del laboratorio	ANA-ALA-RAMIS
Equipo Multiparámetro marca HQ40d	ANA-ALA-RAMIS

Fuente: Elaboración propia

3.2 METODOLOGÍA

El estudio se organizó en una serie de fases en las que se realizaron varias actividades preparatorias para el recojo, compilación, análisis e interpretación de la información.

3.2.1 Fase de campo

3.2.1.1 Identificación de fuentes de contaminación

Para la identificación de fuentes contaminantes se realizó un recorrido por la red hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, para identificar los puntos de descarga de aguas residuales; domésticas, municipales, mineros, industriales y pasivos ambientales con influencia directa e indirecta sobre los cuerpos naturales de agua, como también se identificó botaderos de residuos sólidos en el cauce de los ríos del ámbito de estudio.

El itinerario seguido para la ejecución del trabajo en campo, se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 14. Itinerario de trabajo del 01 al 04 de julio del 2012.

FECHA	RIOS	LOCALIDADES
Domingo 01 de julio, 2012	Río Ramis, Pucara y Azángaro	Taraco, Samán, Caminaca, Achaya, Calapuja, Azángaro,
Lunes 02 de julio, 2012	Río Grande, Antauta, San Juan Condoriri, Ajoyani y Crucero) (Quebradas Quecani y Chojñacota).	Asillo, San Antón, Antauta, Ajoyani, Carlos Gutiérrez, Potoni y Crucero,
Martes 03 de julio, 2012	(Ríos Crucero, Toroccocha, Yanamayo, Grande Inambari, Ananea y Lunar de Oro), (Lagunas, Rinconada, Sillacunca, Lunar de Oro)	Huacchani, Oriental, Ananea, Rinconada, Lunar de Oro,
Miércoles 04 de julio, 2012	(Ríos Condoriri, Nuñoa, Vilacota, Cachiuno y Santa Rosa), (Lagunas, Asillo y Orurillo).	Larimayo Ccoroca, Asillo, Orurillo, Nuñoa, Santa Rosa y Quishuara,

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Registro de información espacial

Se registró la ubicación de fuentes de contaminación y los puntos de muestreo con GPS (Geographical Position System) marca Garmín, en coordenadas UTM en el sistema WGS-84

zona 19, Para geo referenciar en los mapas de la carta nacional a escala 1/100,000 del IGN digitalizados bajo el entorno de GIS con equidistancia mínima de curvas de nivel de 50 m.

3.2.1.3 Medición de parámetros in situ

En todos los puntos de la red de muestreo se realizó la medición in situ los parámetros que se detallan en la Tabla 15, para medir los parámetros se trabajó con el equipo Multiparámetro marca HQ40d, de propiedad de la Autoridad Nacional del Agua.

Tabla 15. Parámetros medidos en campo.

Parámetro	Unidad	Método de análisis	Lugar de análisis	TOTAL, MUESTRAS
Temperatura	°C	lectura directa	in situ	90
pH	pH	Lectura directa	in situ	90
Conductividad eléctrica	us/cm	Lectura directa	in situ	90
Oxígeno Disuelto	mg/L	Lectura directa	in situ	90

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Multiparámetro HQ40d.



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento del equipo Multiparámetro marca HQ40d.

1. Calibrar de acuerdo a especificaciones del fabricante.
2. Antes de realizar la medición, enjuagar los electrodos con la muestra de agua, estando el equipo agitar ligeramente el sensor antes de medir.

3. Registrar cuando se establezca la lectura
4. Terminada la medición, lavar los electrodos con agua destilada, secar y guardar adecuadamente.
5. El electrodo de pH conservarlo en solución salina.
6. Las mediciones se realizarán directamente en el cuerpo de agua siempre y cuando las condiciones lo permitan, de lo contrario tomar una muestra en un recipiente apropiado (balde transparente limpio), priorizar la medición de O.D.

3.2.1.4 Medición de caudal

Es importante determinar el caudal y condiciones hidrodinámicas de los cuerpos de agua, porque permite contar con información que ayude a determinar la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua y los cambios que se presentan en las características de la calidad del agua.

Se utilizó el método de velocidad y sección, que es uno de los métodos más utilizados; para determinar el caudal se requiere medir el área de la sección transversal del flujo de agua y la velocidad media, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = A * V \quad (4)$$

Dónde:

Q = Caudal del agua (m³/s)

A = Área de la sección transversal (m²)

V = Velocidad media del agua (m/s)

Para determinar la velocidad del agua se utilizó:

a) Correntómetro.

Se usó correntómetro de hélice modelo TS 1001.

Fórmula general:

$$V = a * n + b \quad (5)$$

Dónde:

v = velocidad del agua (m/s)

n = número de vueltas de la hélice por segundo.

a = paso real de la hélice en metros.

b = velocidad de frotamiento (m/s)

Para obtener la velocidad media de un curso de agua se deben medir la velocidad en dos o más puntos, ubicados a diversas profundidades de la sección.

Tabla 16. Profundidades sugeridas para medir velocidades.

Tirante de agua (d), Cm	Profundidad de lectura del correntómetro, Cm
< 15	d / 2
15 < d < 45	0,6 d
> 45	0,2 d y 0.8 d o 0.2 d, 0.6 d y 0.8 d

Fuente: PSI (2005), Manual de hidrometría.

3.2.2 Fase de gabinete

3.2.2.1 Diseño de la red de puntos de muestreo

Los criterios que se tomaron en cuenta para establecer los puntos fueron los siguientes:

- ✓ **Vertimientos.** - Se tomó en cuenta las zonas de vertimientos o zonas de descargas de aguas residuales, se tomó como referencia la información de la identificación de fuentes de contaminación de los ríos de las unidades hidrográficas en estudio, ya que estos son los principales factores de alteración de la calidad del agua.
- ✓ **Aguas limpias.** - Constituye un buen punto de referencia respecto de la calidad de las aguas limpias, por tanto, a partir de este punto y aguas abajo se podrá estudiar las

variaciones de la calidad en función a los diversos vertimientos que se presentase aguas abajo de este punto.

- ✓ **Puntos antes y después de las confluencias de ríos afluentes.** Con el objetivo de determinar la calidad de agua, así como estimar el aporte de carga contaminante.
- ✓ **Influencia de la actividad antrópica.** - La alteración de la calidad del agua, está directamente relacionada con las actividades humanas, sean estas urbanas, industriales, agrícolas o mineras, por ende, es un criterio que ha sido tomado en cuenta para fijar los puntos de muestro en el río Crucero, Grande y Ananea.
- ✓ **Caudal.** - El régimen del caudal es un factor determinante en la calidad del agua. A caudales mayores, la capacidad de dilución de contaminantes aumenta, mientras que caudales pequeños, el comportamiento es inverso.
- ✓ **Acceso.** - No se puede fijar un punto de muestro de la red, sin que este no tenga una vía de acceso.
- ✓ **Representatividad.** Para evitar zonas de turbulencia, el punto de muestro deberá estar ubicado en el cauce regular y uniforme.
- ✓ **Estación hidrométrica.** Para poder realizar la medición simultanea del caudal.

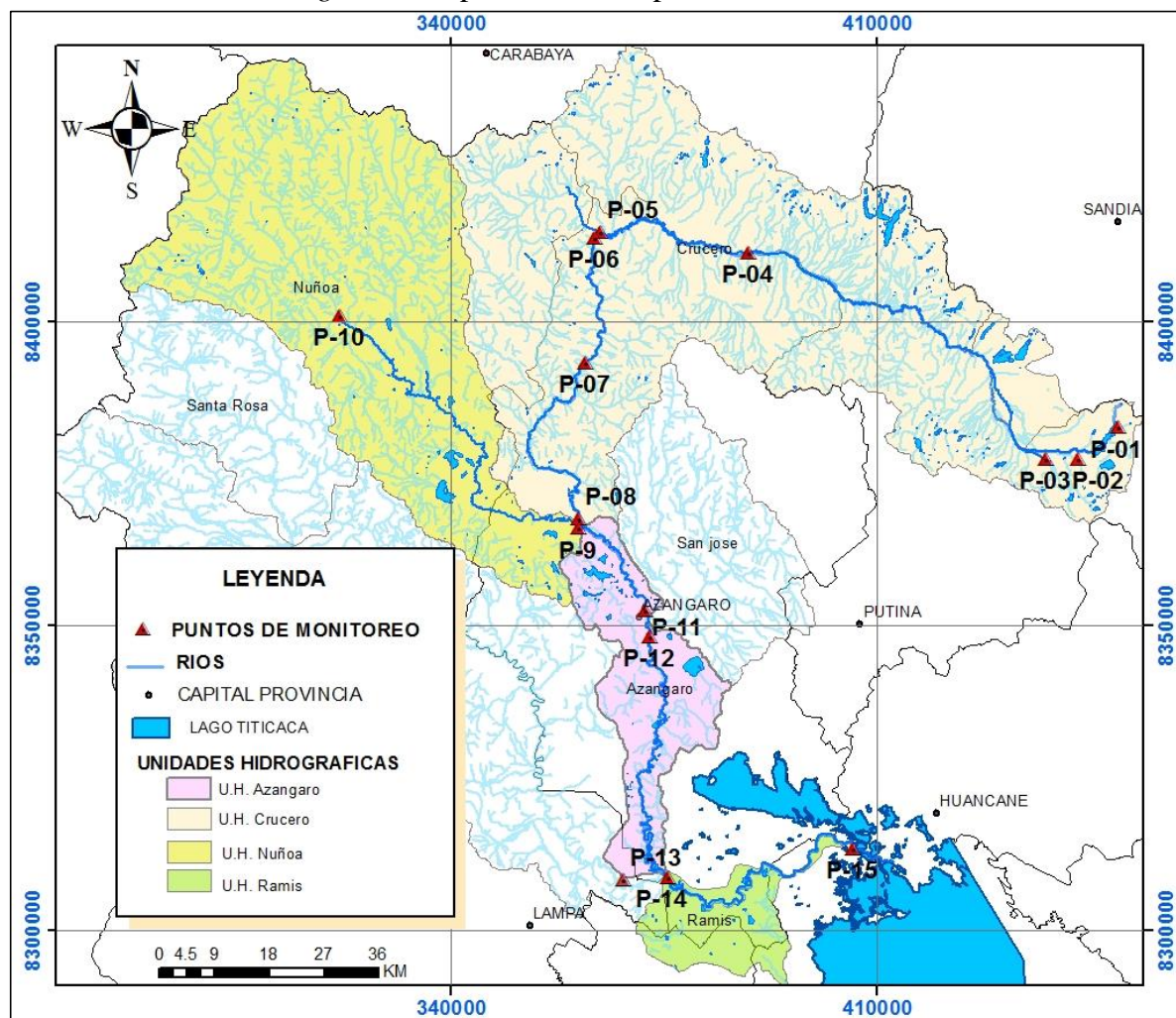
La red de muestro está conformada por 15 puntos de muestro, distribuidos de la siguiente manera: 08 estaciones de muestro en la unidad hidrográfica de Crucero cabecera de la cuenca Ramis, donde se encuentra instalada la minería Informal, 02 puntos en la unidad hidrográfica de Nuñoa, 02 puntos en la unidad hidrográfica de Azángaro, 02 puntos en la unidad hidrográfica de Ramis y 01 punto en el río Pucará 8 (100 m. abajo del puente Calapuja).

Tabla 17. Red de puntos de muestreo.

PTO	CÓDIGO	COORDENADAS UTM (WGS84)			DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORTE	ALT	
UNIDAD HIDROGRÁFICA DE CRUCERO					
P-01	195 R LUOR	449711	8382573	4664	Río Lunar de Oro
P-02	195 R ANAN	442965	8377345	4686	Riachuelo Ananea
P-03	195 R GRAN	437828	8377370	4575	Río Grande, sector Chaquinminas - Sandia
P-04	195 R CRUC 1	388910	8411341	4135	Río Crucero, despues del vertimiento poblacional
P-05	195 R ANTA	364624	8414698	4080	Río Antauta, aguas abajo del puente Antauta
P-06	195 R CRUC 2	363671	8413795	4060	Río Crucero, 100 m aguas arriba antes de la Bocatoma el Carmen
P-07	195 R CRUC 3	362226	8393253	4010	Río Crucero, 300 m aguas debajo de Quilca (Baños Termales)
P-08	195 R CRUC 4	361101	8367654	3880	Río Crucero, antes de la unión con el río Grande
UNIDAD HIDROGRÁFICA DE NUÑO A					
P-9	019 R NUÑO 1	361084	8366006	3880	Río Nuñoa, antes de la unión con el río Crucero
P-10	019 R NUÑO 2	321889	8400873	4045	Río Nuñoa, aguas arriba del vertimiento poblacional de Nuñoa
UNIDAD HIDROGRÁFICA DE AZÁNGARO					
P-11	019 R AZAN 1	371897	8352565	3860	Río Azángaro, antes del vertimiento poblacional
P-12	019 R AZAN 2	372663	8348189	3845	Río Azángaro, 250 m aguas abajo del punto de vertimiento
UNIDAD HIDROGRÁFICA DE RAMIS					
P-13	0183 R PUCA	368369	8308318	3840	Río Pucará aguas abajo del puente Calapuja
P-14	0179 R RAM 1	375811	8308637	3834	Río Ramis, 300 m aguas abajo del puente Achaya
P-15	0179 R RAM 2	406156	8313266	3820	Río Ramis, 50 m aguas arriba del puente Ramis

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Mapa de la red de puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo se estableció para medir los cambios sustanciales que ocurren durante el año hidrológico 2012-2013, llevados a cabo con periodo de tiempos bimestrales a fin de hacer el seguimiento respecto a las variaciones de los parámetros. El factor que se tomó en cuenta para el muestreo es la estacionalidad de la cuenca.

Tabla 18. Frecuencia de muestreo de parámetros de calidad del agua.

Periodo	Año-2012						Año-2013					
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1°: Campaña	xxx											
2°: Campaña			xxx									
3°: Campaña					xxx							
4°: Campaña							xxx					
5°: Campaña									xxx			
6°: Campaña											xxx	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3 Selección de parámetros

Los parámetros fueron seleccionados en función de los usos de agua y además las características de las principales fuentes contaminantes identificadas en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis. Los parámetros de análisis son los necesarios para el cálculo de los distintos índices de calidad de aguas y parámetros establecidos en la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, los cuales serán descritos a continuación.

- ✓ Parámetros de campo
 - pH
 - Temperatura (°C)
 - Conductividad eléctrica (CE)
 - Oxígeno disuelto (OD)
 - Caudal (Q)
- ✓ Parámetros de laboratorio
 - Turbiedad (UNT)
 - Sólidos totales disueltos (STD)

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Metales pesados (cobre, plomo, cromo, mercurio).

3.2.2.4 Laboratorio de análisis del agua

Los análisis de las muestras de agua superficial fueron procesados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006, que incluye la acreditación de métodos de análisis, límites de detección e incertidumbre y la calidad del servicio, el cual incluye entrega de materiales para el muestreo, preservantes y reporte de resultados oportuno a la Autoridad Local del Agua Ramis.

3.2.2.5 Caracterización de la calidad del agua

La caracterización de la calidad del agua se realizó comparando los resultados de análisis físico, químico y biológicos de las muestras de agua en el laboratorio, con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y se desarrolló el Índice de Calidad de Agua (ICA), para simplificar el análisis de la gran cantidad de información, interrelacionando los elementos o parámetros involucrados en dicho análisis, sin necesidad de estudiar el comportamiento de éstos en forma individual, permitiendo el entendimiento y comparando la calidad del agua de diferentes ríos, esta prueba sirvió para describir cómo es la aporte de cada tributario.

3.2.2.6 Criterios de comparación– D.S. N°002-2008-MINAM

De acuerdo a lo establecido la R.J N° 202-2010-ANA, clasificación de cuerpos de aguas superficiales y marino costeros del Perú. El río Crucero, Antauta, Azángaro y Ramis está clasificado en la “Categoría 3: “Riego de vegetales y bebida de animales”. Por consiguiente, para esta categoría de uso de agua el DS N° 002-2008-MINAM, establece “Estándares

Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”.

Tabla 19. Clasificación de cuerpos de agua superficiales.

CUERPO DE AGUA	CATEGORÍA	CLASE	CÓDIGO	U. HIDROGRÁFICA
Río Crucero	Categoría 3	Clase 3	195	U.H. Crucero
Río Antauta	Categoría 3	Clase 3	196	U.H. Nuñoa
Río Azángaro	Categoría 3	Clase 3	19	U.H. Azángaro
Río Ramis	Categoría 3	Clase 3	179	U.H. Ramis

Fuente: R.J N° 202-2010-ANA.

3.2.2.7 Cálculo del índice de calidad del agua

El Índice de calidad del agua indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura.

Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA $\approx 0\%$, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del ICA $\approx 100\%$.

El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas:

- ✓ Selección de constituyentes
- ✓ Determinación de valores para cada constituyente: subíndices
- ✓ Ponderación de la importancia de cada constituyente en el cálculo del ICA.
- ✓ Determinación del índice por la agregación de los subíndices.
- ✓ Establecimiento de rangos de clasificación de la calidad del agua mediante la aplicación del ICA.

3.2.2.7.1 Determinación de constituyentes para el cálculo de (ICA)

El primer paso necesario para la preparación de este índice fue decidir qué constituyentes debían considerarse en el análisis. En este caso los constituyentes representan propiedades físicas, químicas y biológicas del agua. Para comenzar con esta valoración inicialmente se tuvo

la mayoría de los constituyentes que están comprendidos en los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (DS N° 002-2008-MINAM).

Tabla 20. Lista inicial de constituyentes para la determinación del ICA.

N°	Constituyentes	Muestreo	N°	Constituyentes	Muestreo
1	pH	U, M	13	Demanda Bioquímica de Oxígeno	U, M
2	Temperatura (T)	U, M	14	Demanda Química de Oxígeno	U, M
3	Conductividad (Cond.)	U, M	15	Coliformes totales	U
4	Sólidos totales disueltos	U, M	16	Coliformes termotolerantes	U
5	Turbiedad	U, M	17	Cromo Hexavalente (Cr ⁺⁶)	M
6	Salinidad	U, M	18	Hierro total (Fe tot)	M
7	Oxígeno disuelto (O ₂)	U, M	19	Cobre total (Cu tot)	M
8	Porcentaje de oxígeno	U, M	20	Níquel total (Ni tot)	M
9	Nitratos	U, M	21	Cobalto total (Co tot)	M
10	Nitritos	U, M	22	Cadmio total (Cd tot)	M
11	Sulfatos	U, M	23	Plomo total (Pb tot)	M
12	Fosfatos	U, M	24	Mercurio total (Hg tot)	M

U= Valoración por contaminación urbana.

M= Valoración por contaminación minera.

Fuente: Elaboración propia.

En la selección de los parámetros incluidos, se consideraron aquellos que debido a condiciones naturales y/o antropogénicas inciden en el deterioro de la calidad del agua en forma permanente o eventual, limitando la utilización del recurso hídrico según los requerimientos.

Finalmente, la selección de constituyentes utilizados para el desarrollo del ICA, fue resultado de una evaluación de acuerdo a su disponibilidad y a la calidad de sus datos.

Tabla 21. Lista final de constituyentes para el ICA de este estudio.

N°	Constituyentes	Parámetro	Parámetro	Parámetro
		Físico	Químico	Biológico
1	pH		x	
2	Sólidos totales disueltos		x	
3	Turbiedad	x		
4	Porcentaje de oxígeno		x	
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)			x

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que en el cálculo del ICA no se han incluido parámetros relacionados con el grupo de pesticidas y sustancias tóxicas, tales como fenoles, cianuros, metales pesados, que, en concentraciones superiores a los límites establecidos para el consumo humano o el uso agrícola y pecuario, son determinantes en la evaluación final de la calidad del agua. Razón por la cual en el cálculo del ICA debe tenerse en cuenta los valores límites de estos parámetros establecidos por la normativa y lo sugerido por Rojas (1991), quien dice que cuando se presentan valores superiores a los valores límites reportados en la normativa se le asigna el valor de cero (0) al índice sin importar el obtenido en el cálculo realizado a partir de los parámetros citados anteriormente.

3.2.2.7.2 Determinación de los subíndices para los constituyentes seleccionados

Para la determinación de los subíndices para cada uno de los constituyentes seleccionados se utilizó las funciones matemáticas que se presentan en el Anexo N° 02, estas funciones corresponden al ICA-NSF y a las empleadas por Rojas (1991), las que han sido satisfactoriamente empleadas en diferentes estudios a nivel internacional.

Tabla 22. Funciones de subíndices de cada parámetro para el cálculo del ICA.

Parámetro	Unidad	Función Subíndice (I)
pH	Unidades	$I_{pH} = e^{(-7.6434pH+18.5352*\frac{1}{pH}+14.625[Ln(pH)]^2)}$ <p>si $pH < 2$ o $pH > 12$ Unid, $I_{pH} = 0$</p>
DBO ₅	mg/l	$I_{DBO_5} = e^{(4.5824-0.1078DBO_5+2.4581*10^{-14}e^{DBO_5})}$ <p>Si $DBO_5 > 30$ mg/l, $I_{DBO_5} = 2$</p>
Oxígeno Disuelto (OD)	% Sat	$I_{\% Sat} = e^{(1.3663+0.063\%Sat-0.000303\%Sat^2)}$ <p>Si $\% Sat > 140$, $I_{\% Sat} = 50$</p>
Turbiedad (Turb)	UNT	$I_{Turb} = e^{(4.561-0.0196Turb+2.4167*10^{-5}Turb^2)}$ <p>Si Turbiedad > 100 UNT, $I_{Turb} = 5$</p>
Solidos totales (ST)	mg/l	$I_{ST} = \frac{1}{0.0123 - 1.3545 * 10^{-5}ST + 9.265 * 10^{-8}ST^2}$ <p>Si $ST > 500$ mg/l, $I_{ST} = 20$</p>

Fuente: CVC, 2004.

3.2.2.7.3 Ponderación de la importancia de cada constituyente en el cálculo del índice de calidad del agua (ICA)

Para la adaptación de un ICA al río Ramis, Azángaro, Nuñoa y Crucero que consistió en determinar el peso relativo (Wi) o ponderación según la importancia de cada variable o parámetro en la calidad del agua. En este sentido se consideraron los resultados del análisis de sensibilidad de cada parámetro seleccionado, los valores específicos reportados por la literatura en cada índice aplicado, la evaluación de la variación de las características de los parámetros de calidad para las diferentes condiciones.

Tabla 23. Ponderación de cada uno de los parámetros del ICA.

Subíndice (I)	Ponderación (Wi)
I _{pH}	5
I _{DBO5}	55
I _{%Sat}	15
I _{Turb}	20
I _{ST}	5
Total	100

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.7.4 Determinación del ICA por la agregación de los subíndices

Con base en el análisis de los comportamientos los índices de tipo aditivo y multiplicativo de las recomendaciones reportadas en la literatura consultada, se decidió adoptar para el cálculo del ICA, la ecuación de los índices aditivos, que se presentan a continuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i \quad (6)$$

Dónde:

n = Parámetros

q_i = Subíndice del parámetro “i”, (se encuentra entre 0 y 100).

w_i = Pesos relativos asignado a cada parámetro “i”

3.2.2.7.5 Establecimiento de rangos de clasificación

Finalmente, el valor obtenido de la función ponderada multiplicativa se interpreta mediante la clasificación del ICA propuesta por Dinius.

Tabla 24. Clasificación del “ICA” propuesto por Dinius.

CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		70-100
Buena		50-70
Regular		30-50
Mala		20-30
Pésima		0-20

Fuente: Romero J. 2002.

Según la bibliografía revisada de CVC. (2004), ICA-NSF, CETESB (2002), Dinius (1987). Se establece los siguientes rangos de clasificación de acuerdo con el uso al que se destine.

Tabla 25. Rangos de clasificación del ICA en función del uso del agua.

Índice de calidad	Clasificación de calidad
70-100	Todos los Usos
50-70	Consumo humano, recreación por contacto directo, piscicultura.
30-50	Riego, industria, abastecimiento para consumo humano con tratamiento especial
20-30	Recreación por contacto indirecto (navegación) y refrigeración industrial
0-20	No puede usarse

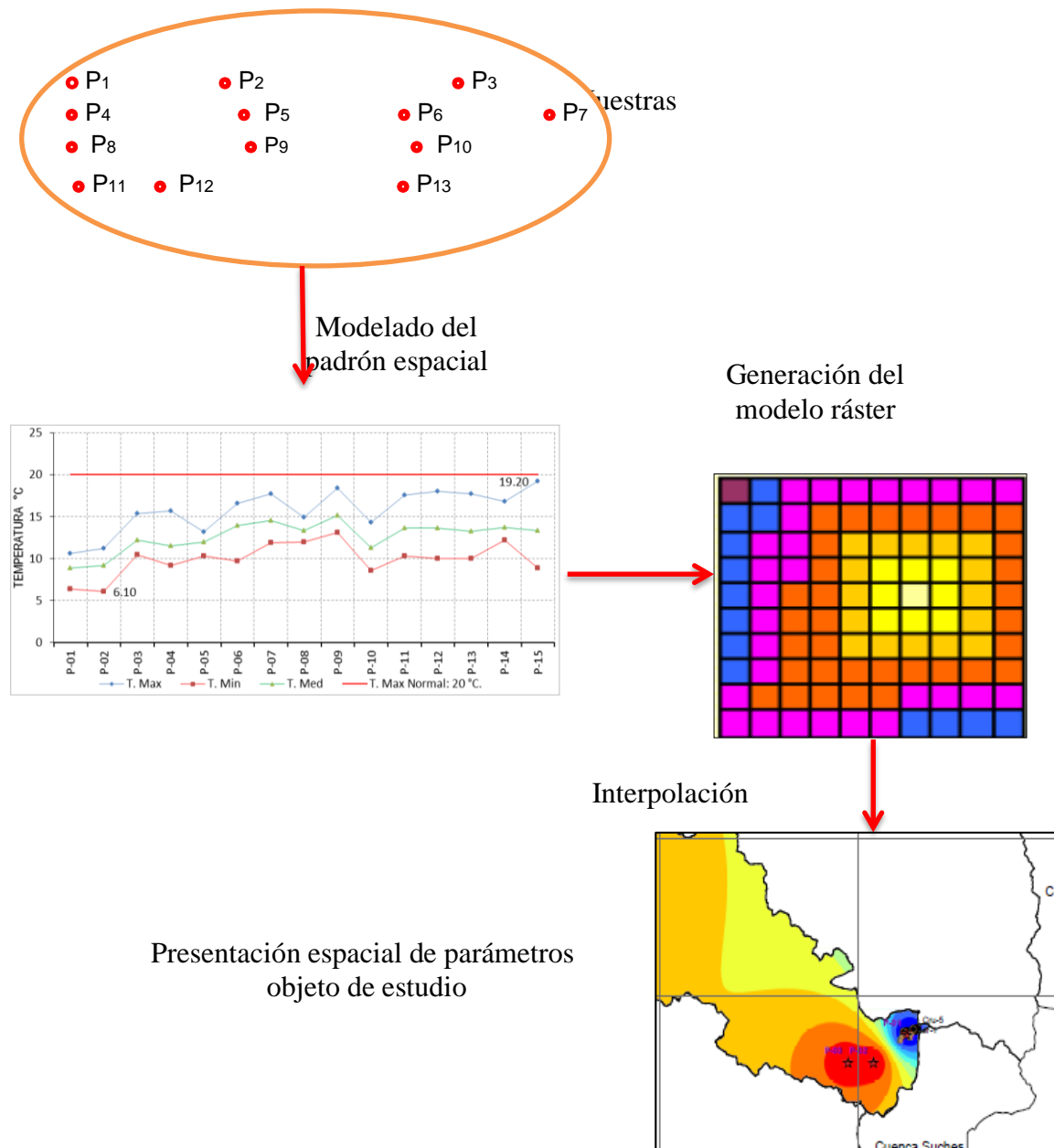
Fuente: CVC. (2004), ICA-NSF, CETESB (2002),

3.2.2.8 Espacialización de parámetros de control

Para Quintanilla (2009), en un contexto general las herramientas de interpolación son utilizadas para estudiar y evaluar algún fenómeno que ocurre en un medio natural que nos interesa (por ejemplo, la contaminación del suelo, del agua o del aire o el contenido de oro u otro metal en un área). Los estudios exhaustivos son muy costosos y requieren mucho tiempo,

así que el trabajo se caracteriza en general por la toma de muestras en diferentes lugares. Las técnicas de interpolación se utilizan para generar las predicciones de los valores y estructura del fenómeno en las restantes áreas no muestreada.

Figura 8. Proceso de espacialización de datos.



Fuente: Elaboración propia.

Se elaboró mapas usando herramientas de interpolación en ambiente SIG (ArcGIS10.3), de esa forma los porcentajes del índice de calidad obtenidos, se espacializan a través de una

técnica de interpolación matemática denominada IDW (Ponderación de distancia inversa).

Para Quintanilla (2009), la herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

$$Z^*(X) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i * Z(x)_i) \quad (7)$$

Dónde:

$Z^*(x)$ = valor estimado de la variable.

$Z^*(x)_i$ = valor de la variable en el punto conocido i .

λ_i = peso de la estación i .

n = número de estaciones vecinas.

Los pesos se calculan en función de la distancia entre las estaciones y el punto a interpolar, de la siguiente forma:

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \quad (8)$$

Dónde:

λ_i = Peso de la estación i .

d_{ij} = Distancia entre la estación y el punto a interpolar.

β = Coeficiente de ponderación.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.3.1 Ubicación geográfica

La zona de estudio se encuentra inmersa dentro de la cuenca hidrográfica del río Ramis específicamente objeto de caracterización del presente estudio son las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, tienen la siguiente ubicación geográfica:

Tabla 26. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM (WGS84)		
	Norte	Este	Variación altitudinal
Crucero	8366395 - 8445589	339513 - 454336	5750-3875 m.s.n.m.
Nuñoa	8353229 - 8443335	285817 - 361549	5550-3875 m.s.n.m.
Azángaro	8308975 - 8367970	357851 - 386192	4560-3825 m.s.n.m.
Ramis	8290626 - 8315898	370496 - 412783	4350-3802 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Ubicación política y extensión

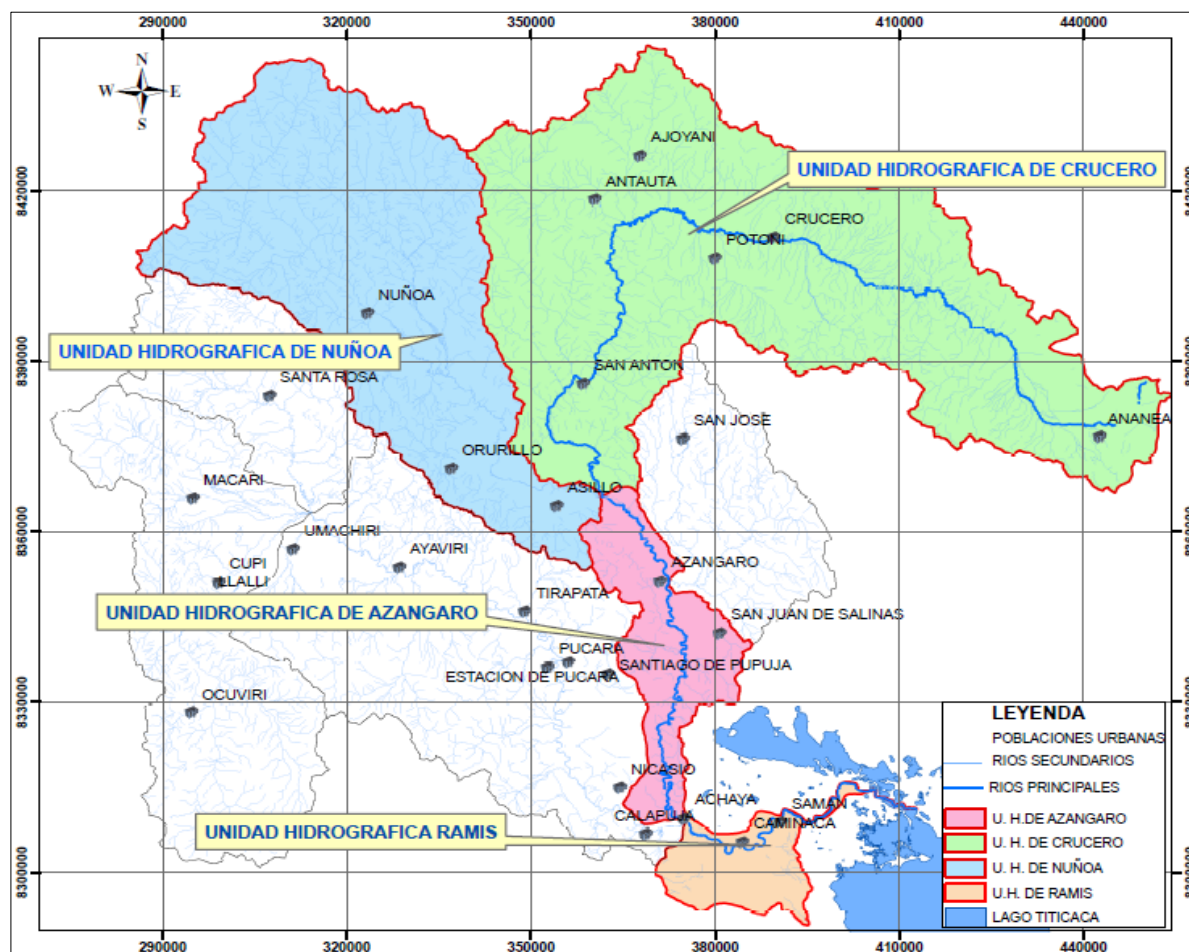
Políticamente las unidades hidrográficas en estudio se localizan en la región Puno, territorialmente abarca las provincias que se ilustran en la Tabla 27.

Tabla 27. Demarcación política de la zona de estudio.

Departamento	Provincia	Distrito	Área Km ²	%	
PUNO	Carabaya	Crucero	855.51	5.82	
	Sandia	Cuyocuyo	176.76	1.2	
	San Antonio de Putina	Ananea	460.24	3.13	
		Putina	454.05	3.09	
		Antauta	652.86	4.44	
	Melgar	Nuñoa	2197.39	14.94	
		Orurillo	397.03	2.7	
		Potoni	621.07	4.22	
		San Antón	514.67	3.5	
		Azangaro	Asillo	402.86	2.74
			Achaya	85.72	0.58
			Caminaca	87.57	0.6
	Samán		73.12	0.5	
Huancané	Taraco	23.74	0.16		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Mapa de ubicación de la zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Accesibilidad

Tabla 28. Accesibilidad a la zona de estudio.

Tramo	Tipo De Vía	Distancia (Km)	Tiempo (Minutos)	Observaciones
Puno – Juliaca	Asfaltada	45	45	Vía de Alto Trafico
Juliaca – Azángaro	Asfaltada	95	120	Vía de Alto Trafico
Azángaro – Crucero	Asfaltada	110	315	Vía de Mediano Trafico
Crucero – Ananea	Afirmada	76	70	Vía de Bajo Trafico
Azángaro – Ñuñoa	Afirmada	73	60	Vía de Bajo Trafico
Azángaro – Orurillo	Afirmada	39	20	Vía de Bajo Trafico

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUCION

4.1 Descripción espacial y temporal de los parámetros de calidad del agua

Los resultados tanto de los parámetros (medidos en campo) como los reportados por el laboratorio se presentan en el anexo N° 01, sobre la base de datos analíticos generados por el ALA-Ramis en muestras de los principales cursos de aguas de la unidad hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, así como resultados de los reportes de parámetros de campo, en base a las observaciones del comportamiento de las concentraciones de cada parámetro respecto a la variación espacial y temporal, durante el año hidrológico 2012-2013.. En este sentido se toma como marco de referencia los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua DS N° 002-2008-MINAM, correspondiente a la categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales.

4.1.1 Temperatura

Los valores de temperatura medidos en campo durante el año hidrológico 2012-2013, están en el rango de 6.10 a 19.20 °C, que está por debajo de la temperatura máxima normal para las aguas del altiplano.

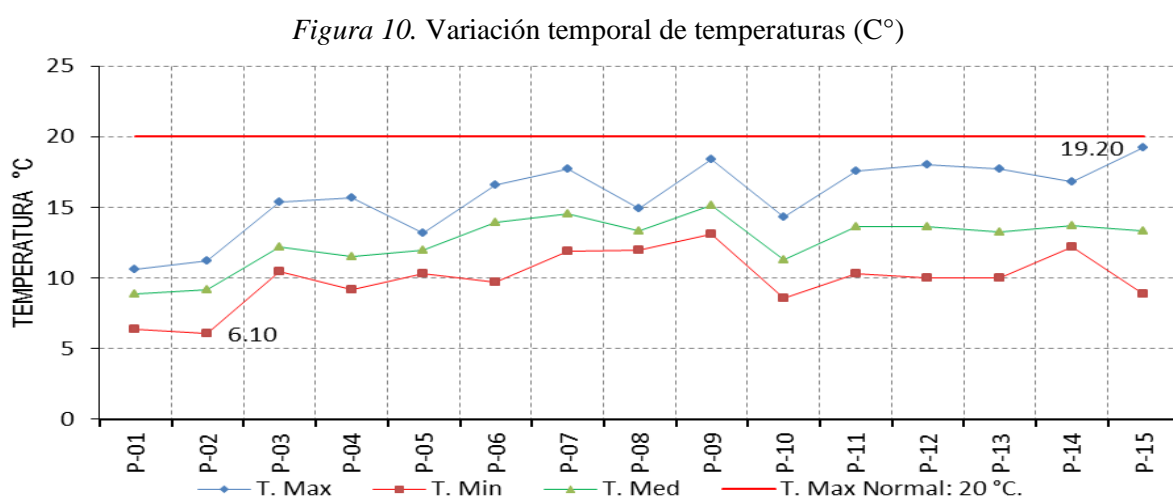
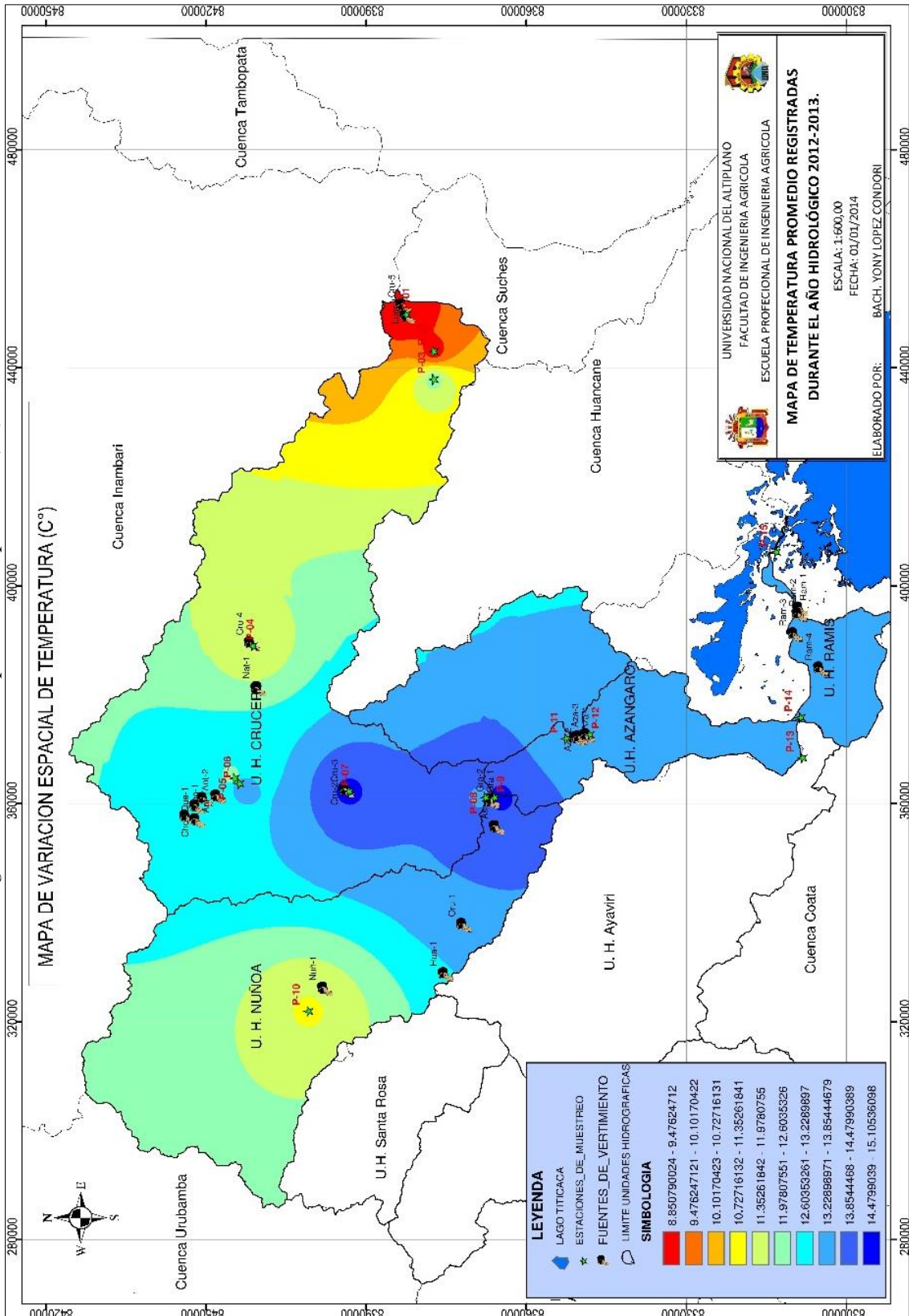


Figura 11. Variación espacial de temperaturas (C°)



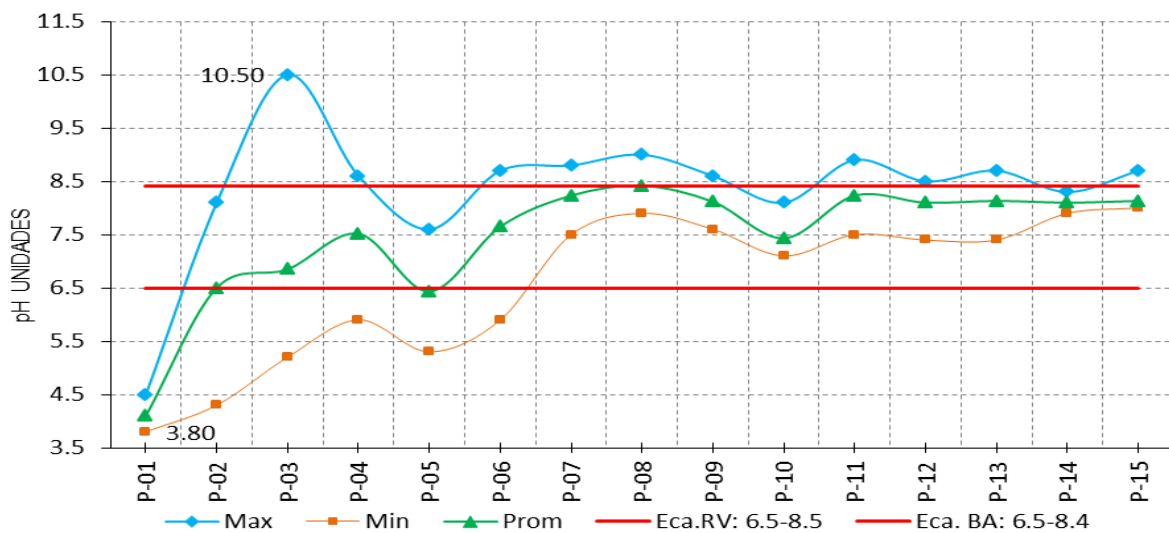
Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 pH

Con respecto al potencial de hidrógeno (pH) registrado durante el año hidrológico 2012-2013, se observa que entre los puntos, P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-06, tienen características ácidas y los valores se encuentran fuera del rango para la categoría 3 de los ECA para agua, del D.S. N° 002-2008-MINAM. En el punto P-01, se registró 3.08 unidades de pH, que corresponden a aguas muy ácidas esto indica claramente que en el ámbito de influencia de éstos, existe algún tipo de descarga de aguas ácidas minero metalúrgicas, provenientes de la minería informal e ilegal.

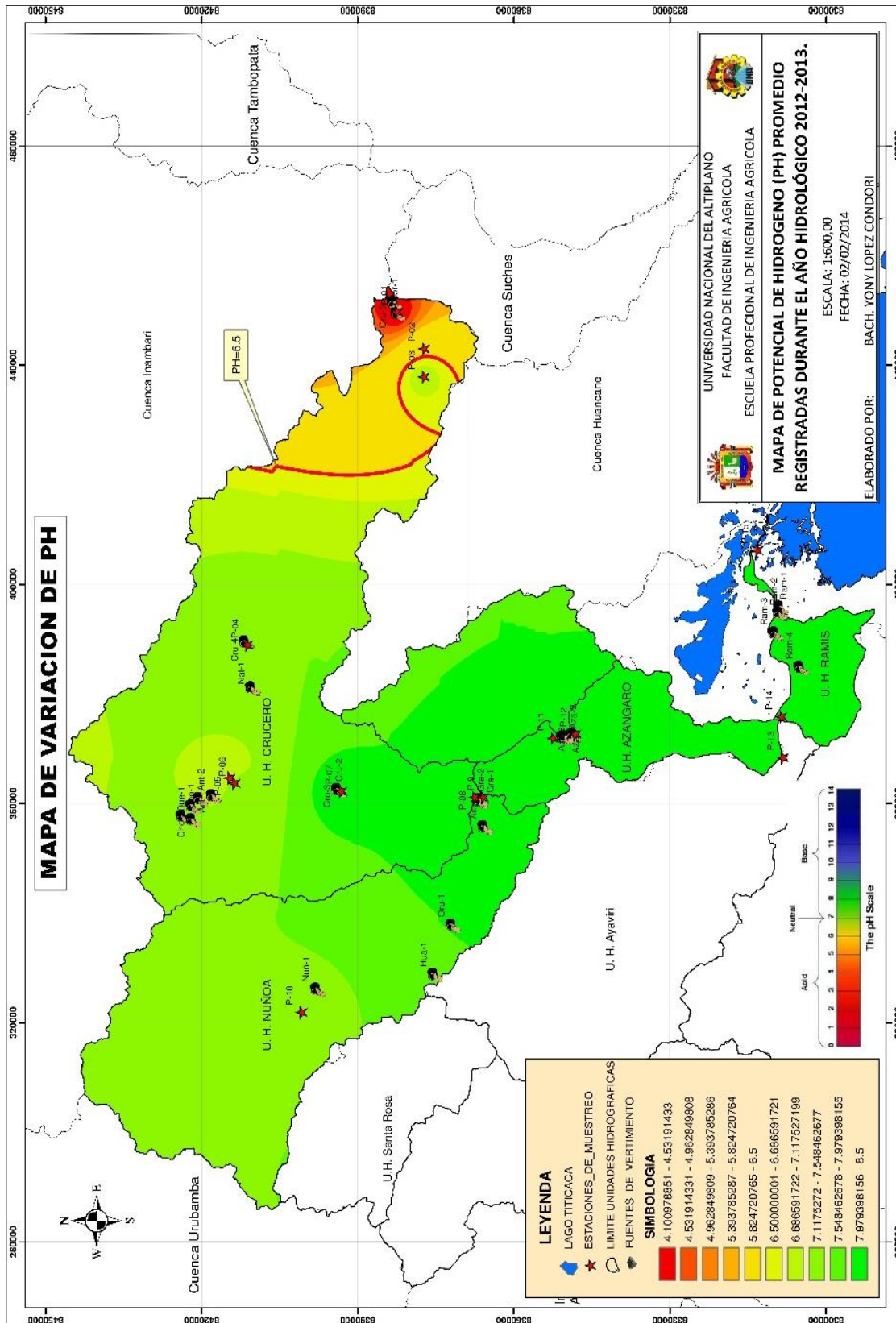
Sin embargo, en el tramo comprendido entre los puntos, P-03, P-04, P-06, P-07, P-08, P-09, P-11, P-12, P13, tienen tendencia hacia la alcalinidad los valores se encuentran fuera del rango para la categoría 3 de los ECA para agua, la disponibilidad de nutrientes está influyendo en el aumento de la productividad primaria del cuerpo natural de agua, que se refleja en el elevado pH del agua. Ver figura 12.

Figura 12. Variación temporal del pH.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Variación espacial del pH.

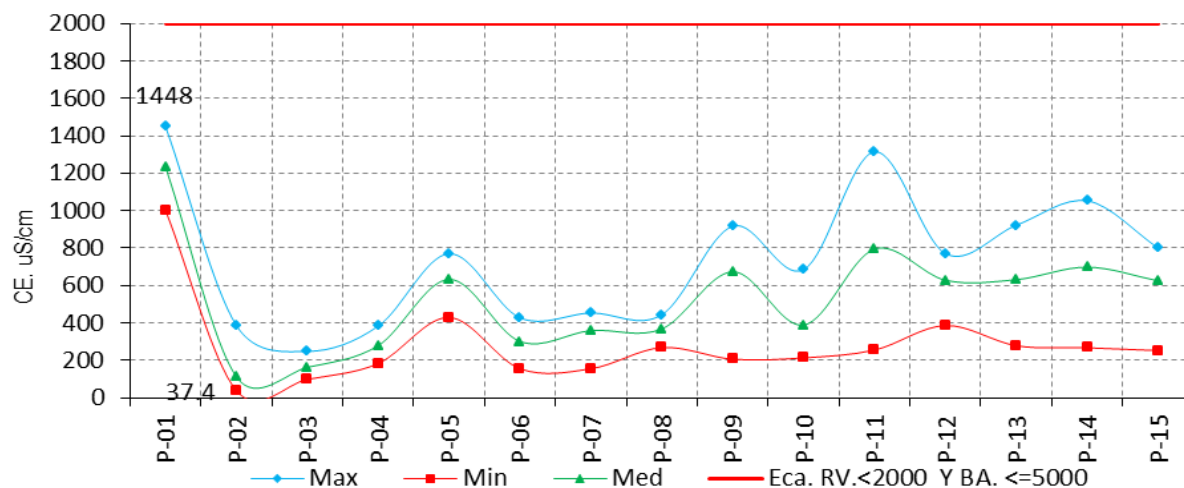


Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Conductividad eléctrica (uS/cm)

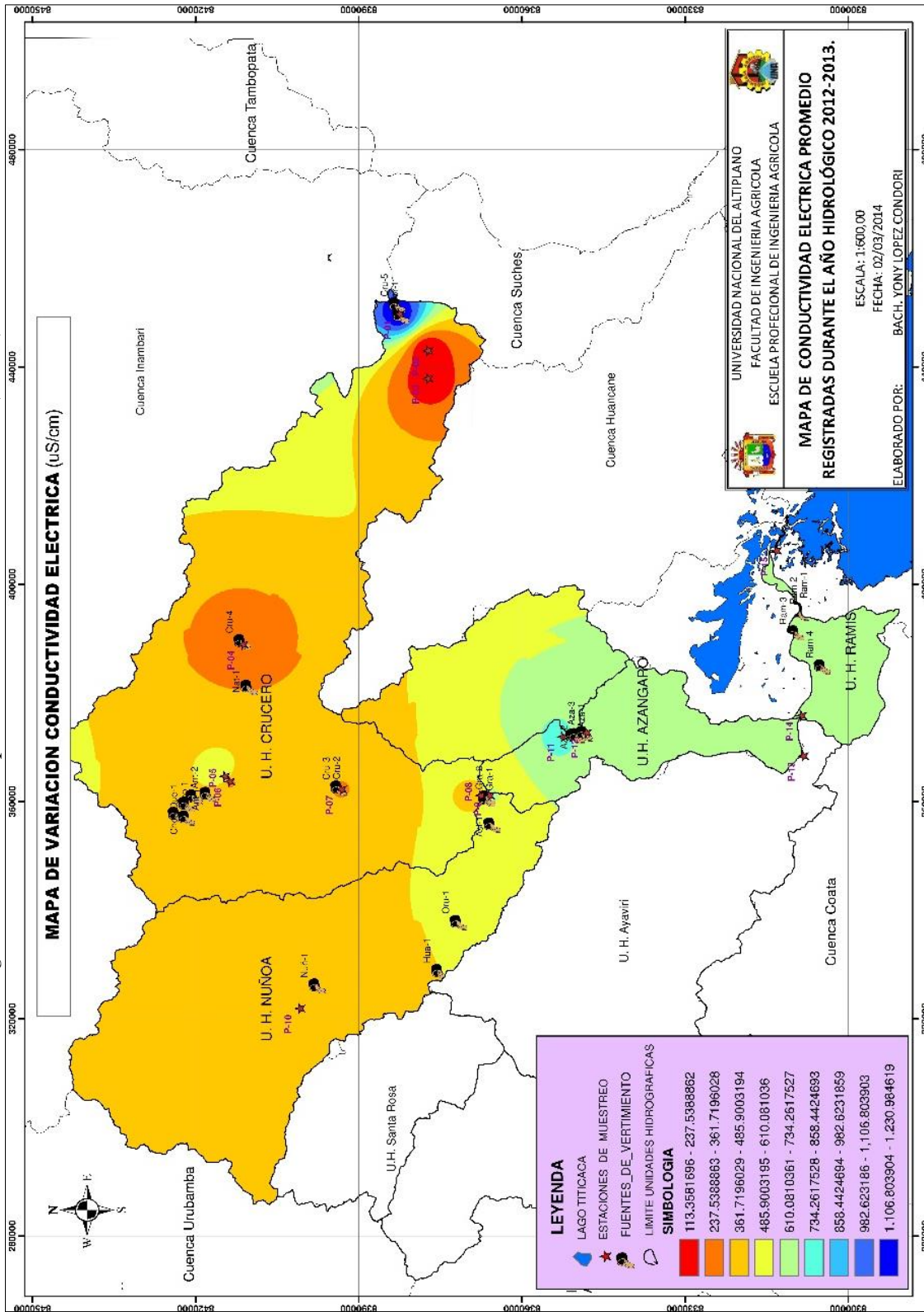
Las mediciones de campo, durante el año hidrológico 2012-2013, indican que la conductividad eléctrica oscila entre 37.40 y 1448.00 uS/cm, mostrando que no exceden los ECA-agua del D.S. N° 002-2008-MINAM. Ver figura 14.

Figura 14. Variación Temporal de la Conductividad eléctrica (uS/cm)



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 15. Variación espacial de la Conductividad eléctrica (uS/cm)

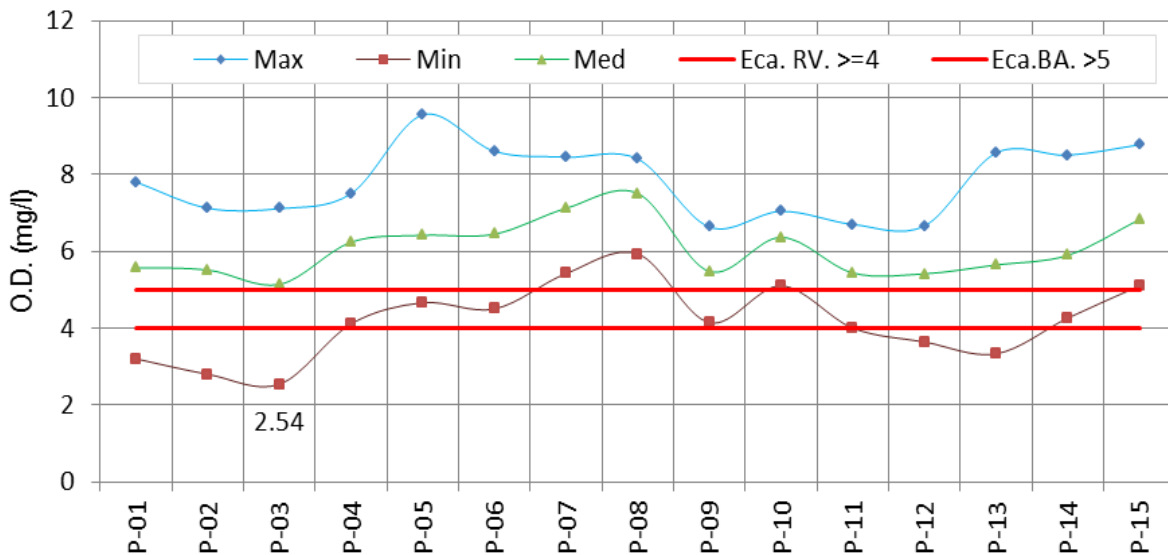


Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4 Oxígeno disuelto (mg/l)

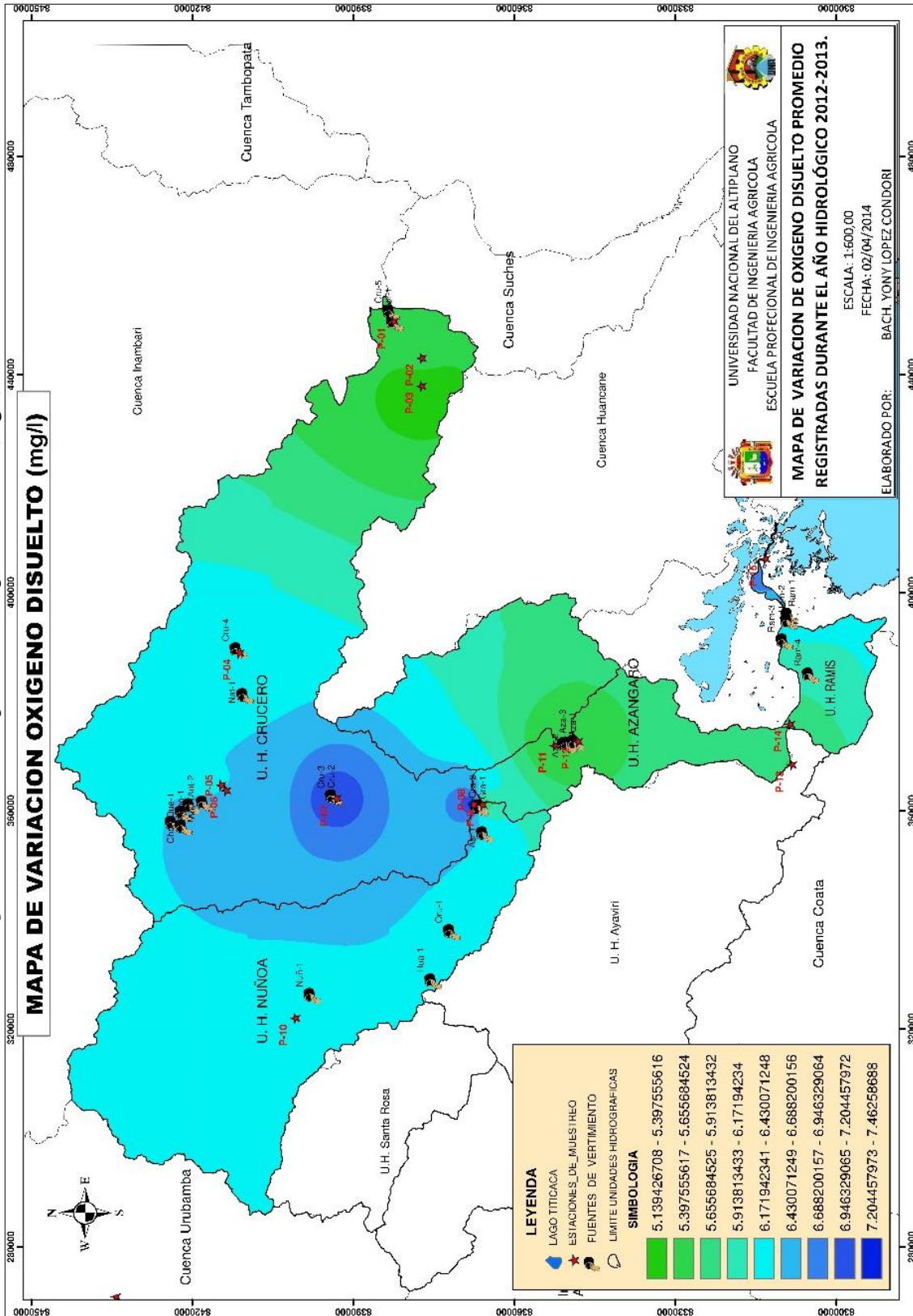
Los valores de oxígeno disuelto medidos en campo durante el año hidrológico 2012-2013, En el tramo P-01, P-02, P-03, muestran niveles bajos de oxígeno disuelto, que es influencia directa de la minería informal e ilegal. En el tramo P-04, P-05, P-06, P-07, P-08, tiende a ascender para subsiguientemente en el tramo P-09, P-10, P-11, P-12, se observa un declive que es un indicador de cuan contaminada está el agua, a consecuencia del vertimiento directo y sin tratamiento de aguas residuales poblacionales de Azángaro, Caminaca, Samán y Taraco. Ver figura 16.

Figura 16. Variación temporal de Oxígeno Disuelto (mg/l).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 17. Variación espacial de Oxígeno Disuelto (mg/l).

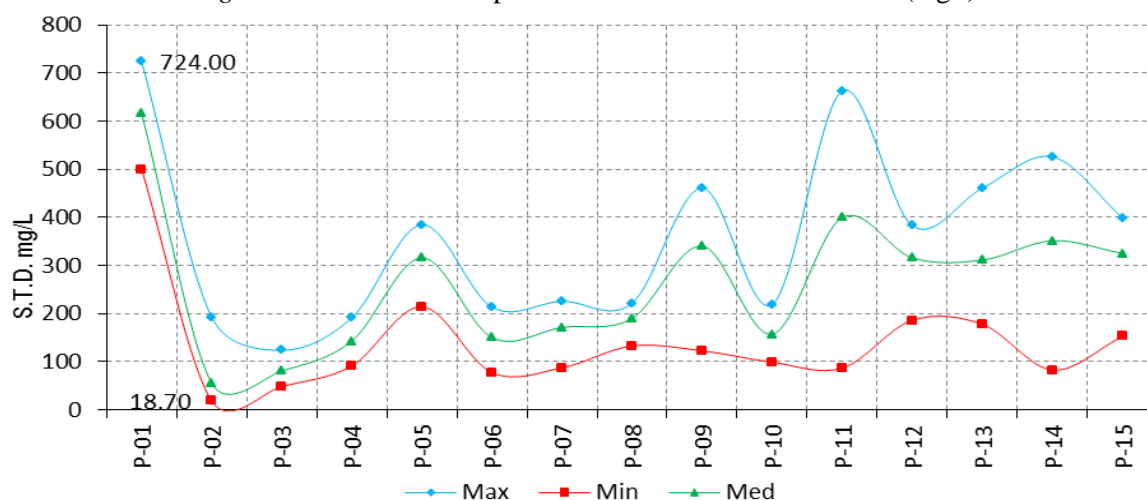


Fuente: Elaboración Propia.

4.1.5 Sólidos Totales Disueltos (mg/l)

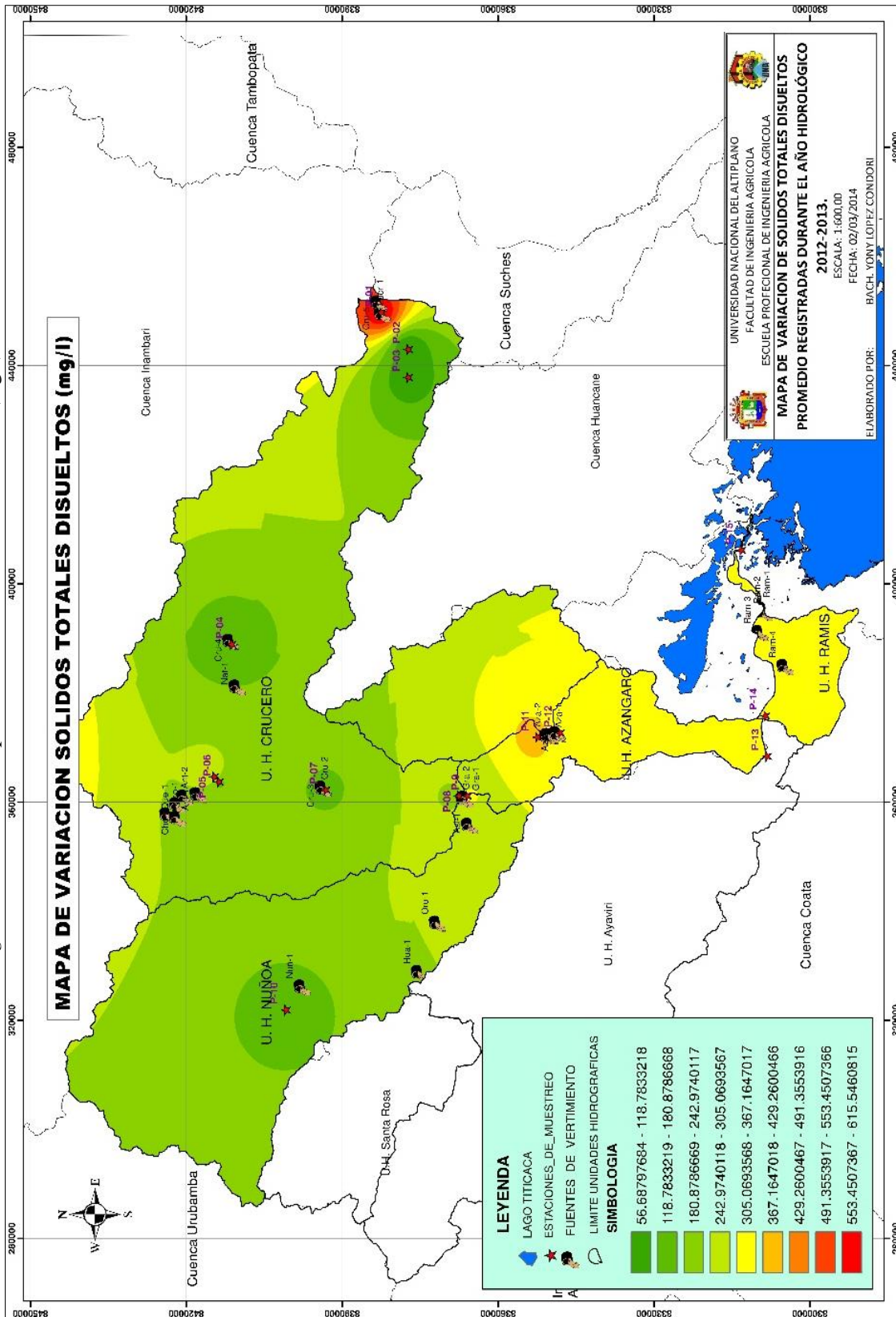
Los valores de sólidos totales disueltos (STD) registrados en el año hidrológico 2012-2013, en los quince puntos de muestreo están en el rango de 18.70 a 724 mg/l, registrándose los valores más significativos en la estación P-01, con un valor de 724 mg/l en el mes de julio, localizado en el río Lunar de Oro. Ver figura 18.

Figura 18. Variación temporal de Sólidos Totales Disueltos (mg/l)



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Variación espacial de Sólidos Totales Disueltos (mg/l)

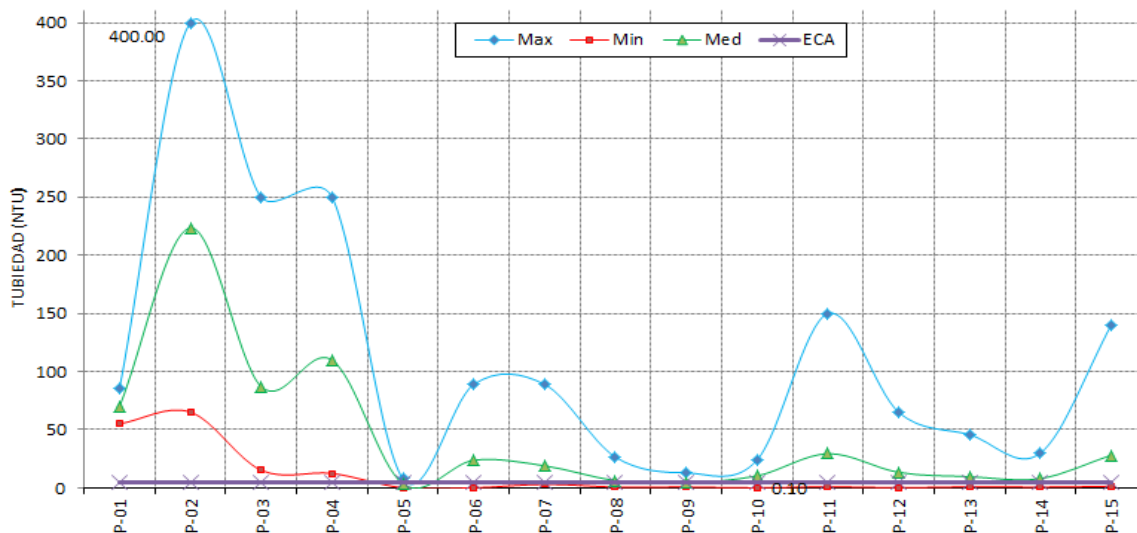


Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Turbiedad (NTU)

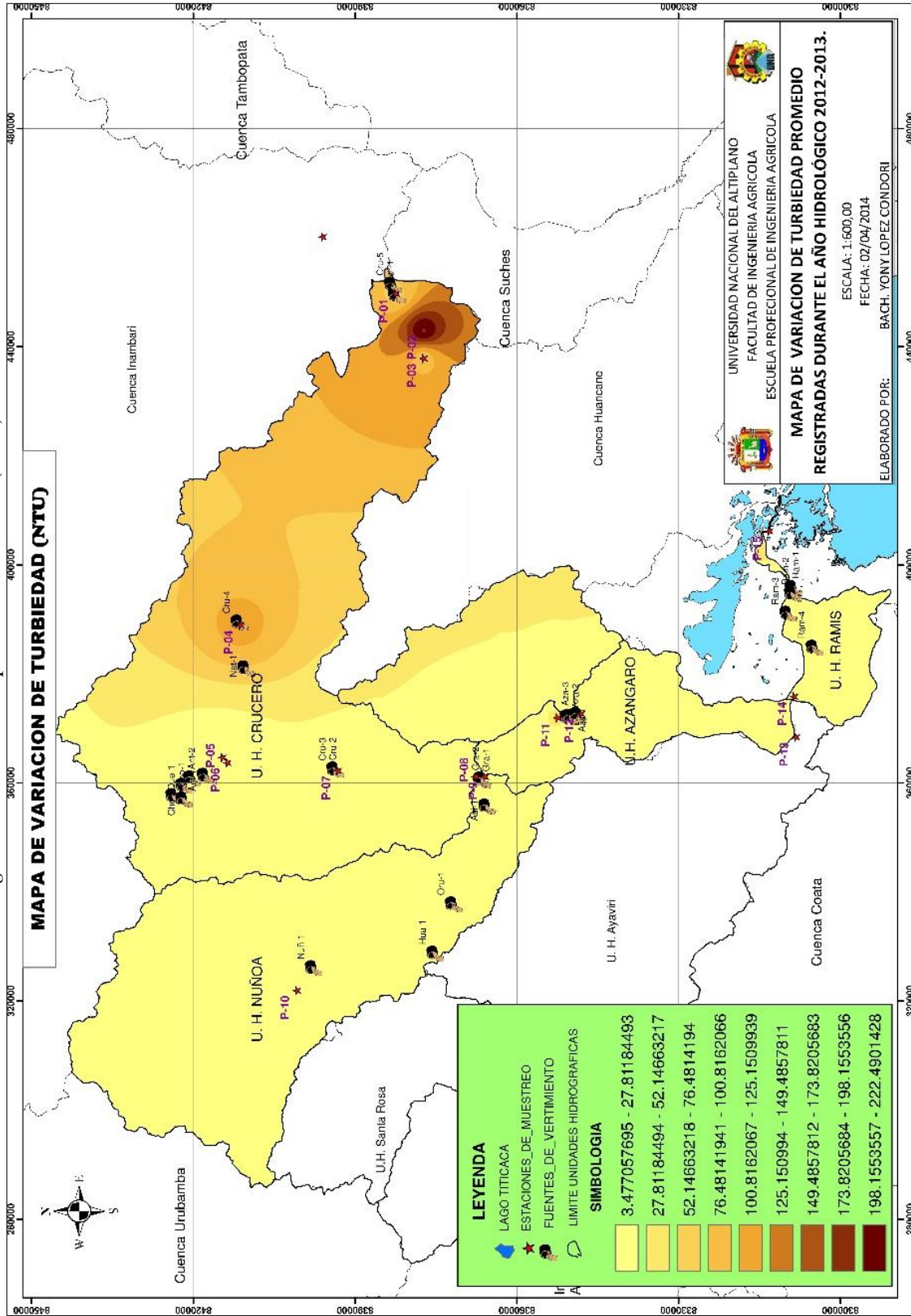
Los valores de turbiedad registrados en el año hidrológico 2012-2013, en los quince puntos de muestreo están en el rango de 0.1 a 400.00 UNT, mostrando concentraciones más significativas en la estación P-02, de 400.00 UNT en el mes de enero. Ver figura 20.

Figura 20. Variación temporal de Turbiedad (NTU)



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Variación espacial de Turbiedad (NTU)

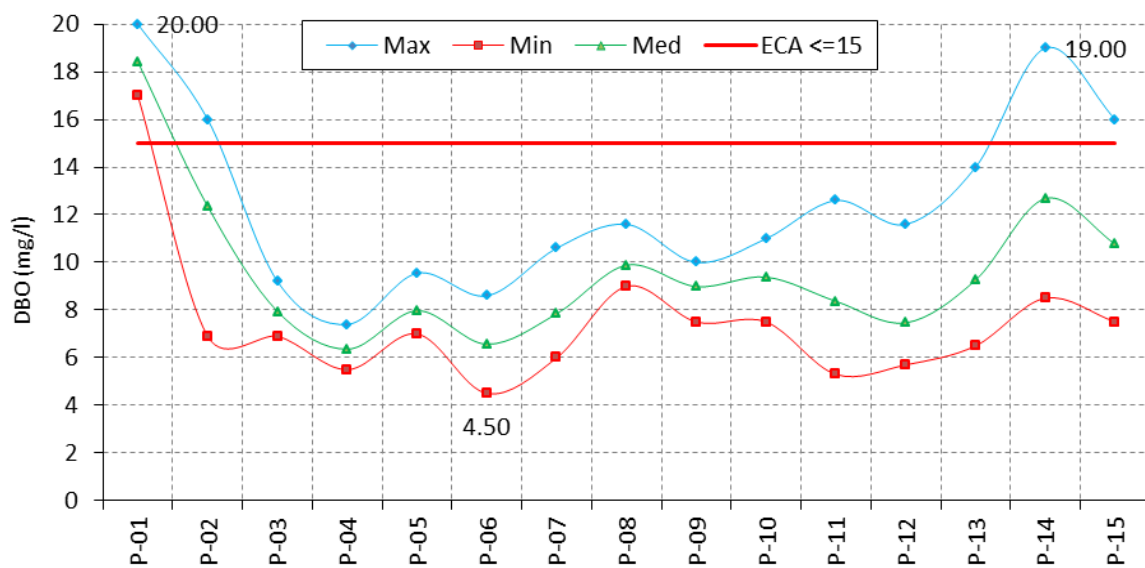


Fuente : Elaboración Propia

4.1.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)

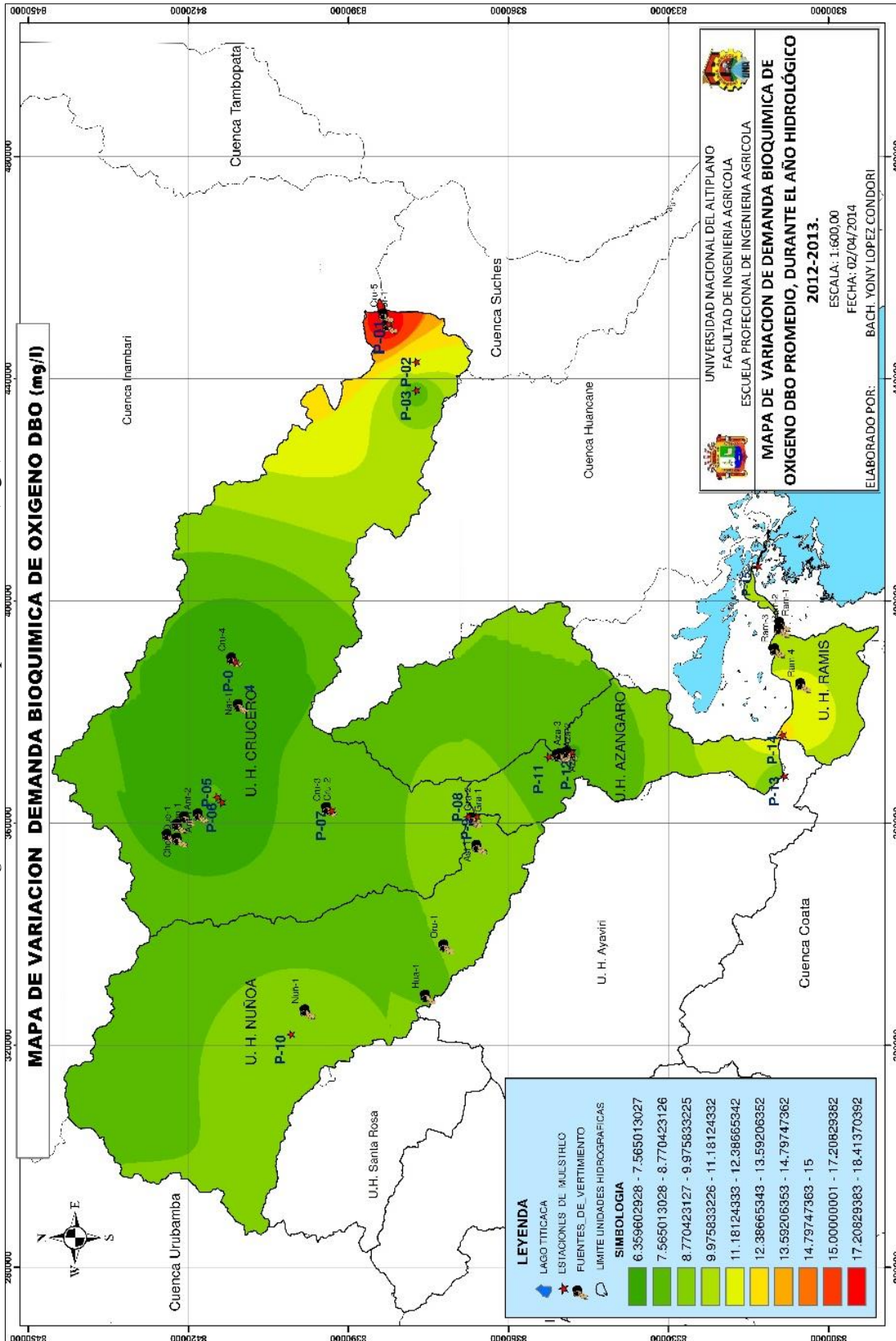
Los valores de DBO₅, registrados en el año hidrológico 2012-2013, en los puntos P-01, P-02, P-14 y P-15, superan los ECAs para agua según la categoría 3. Esto muestra la existencia de grandes cantidades de materia orgánica biodegradable vertidos a estos cuerpos de aguas, situación que va en disminución de la vida acuática y de los usos que se le puedan dar al recurso hídrico. Ver figura 22.

Figura 22. Variación temporal de DBO₅ (mg/l)



Fuente : Elaboración Propia

Figura 23. Variación espacial de DBO₅ (mg/l)

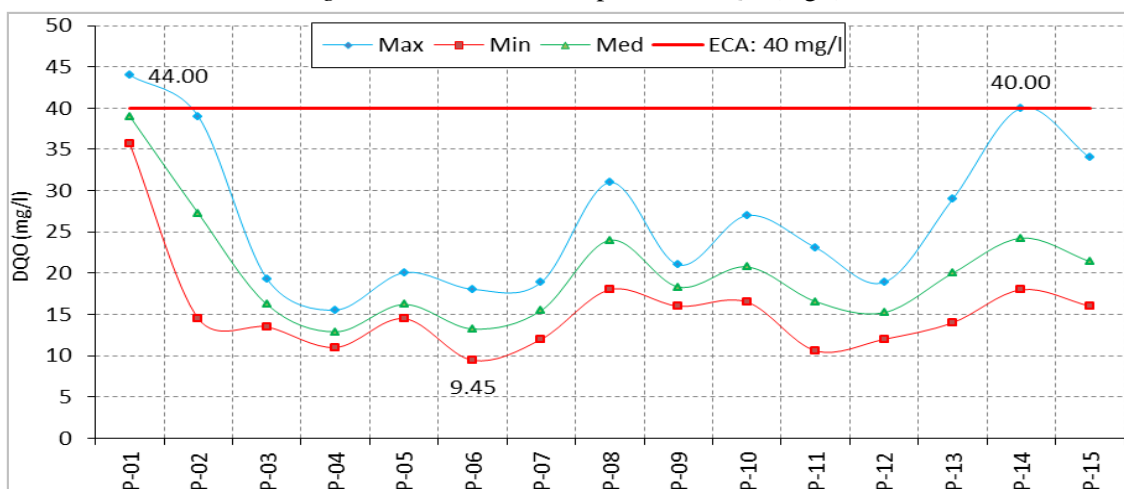


Fuente: Elaboración Propia

4.1.8 Demanda Química de Oxígeno (mg/l)

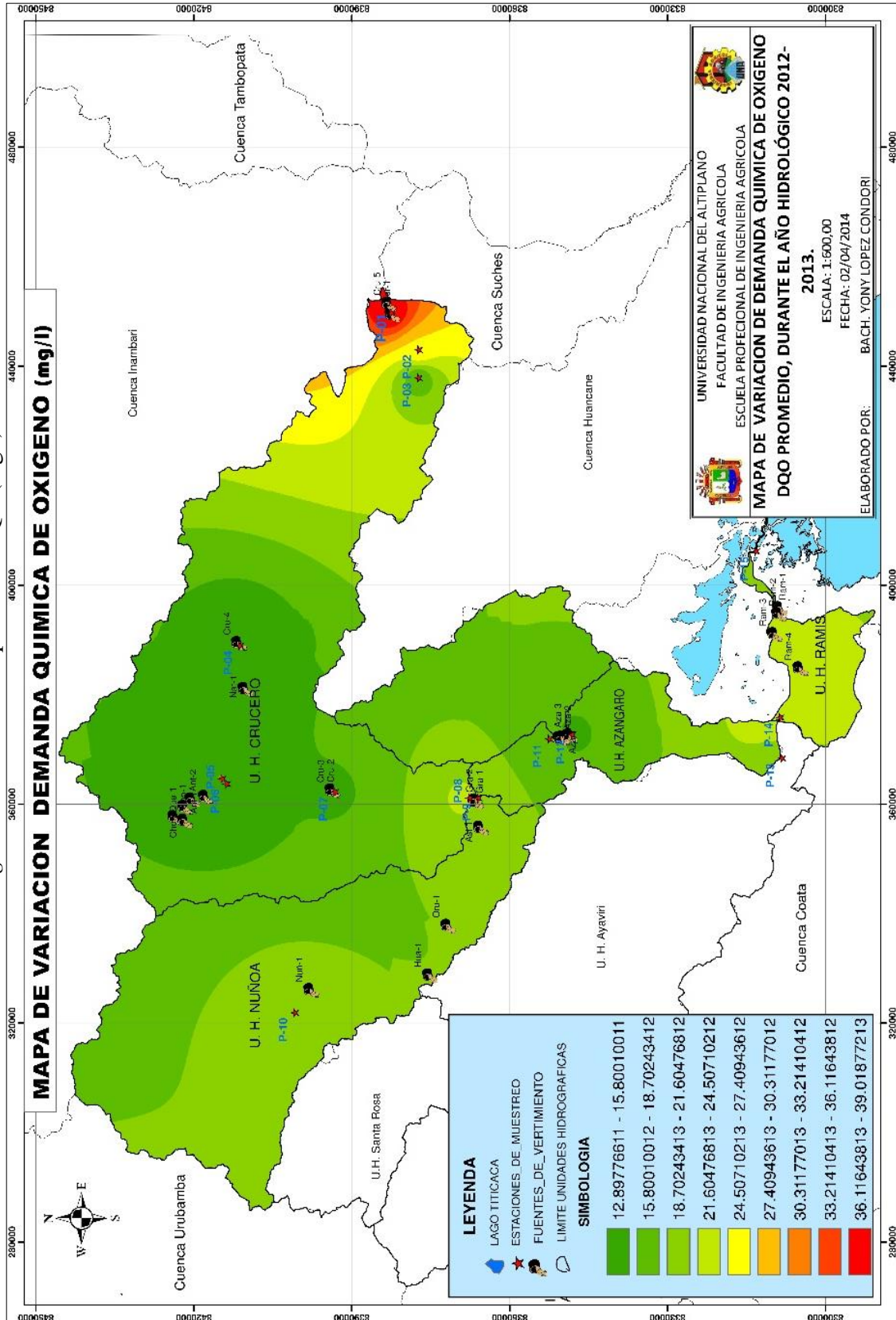
Los valores de DQO (mg/l), registrados en el año hidrológico 2012-2013, revela que en el punto P-01, supera los Estándares de Calidad Ambiental para agua de la categoría 3; y en el resto de los puntos de muestreo el DQO está por debajo del rango establecido, esto muestra la existencia de materia orgánica e inorgánica a ser oxidada por medios químicos de estos cuerpos de aguas superficiales. Ver figura 24.

Figura 24. Variación temporal de DQO (mg/l)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25. Variación espacial de DQO (mg/l)



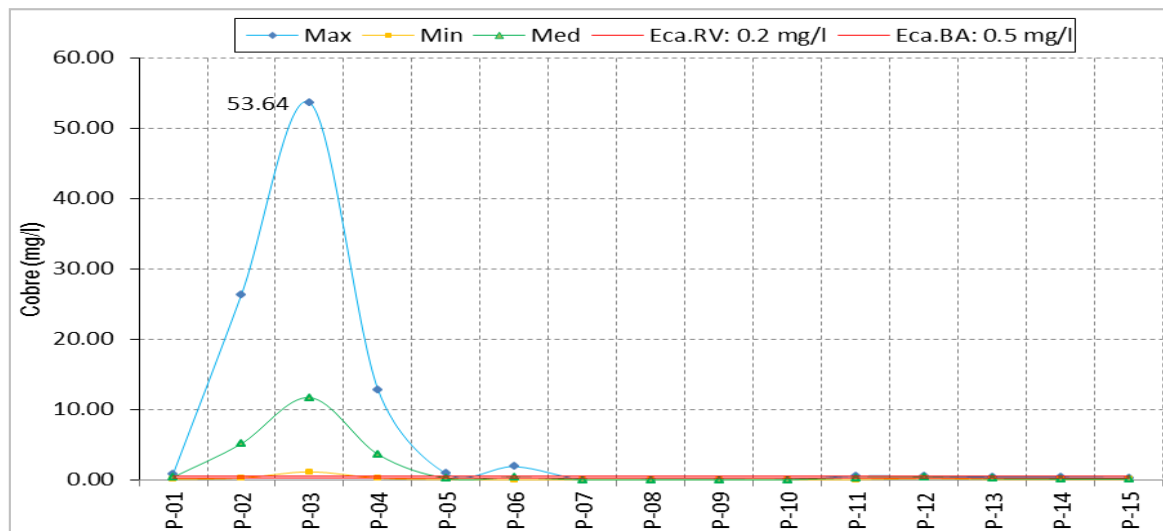
Fuente: Elaboración propia

4.1.9 Metales pesados

4.1.9.1 Cobre (mg/l)

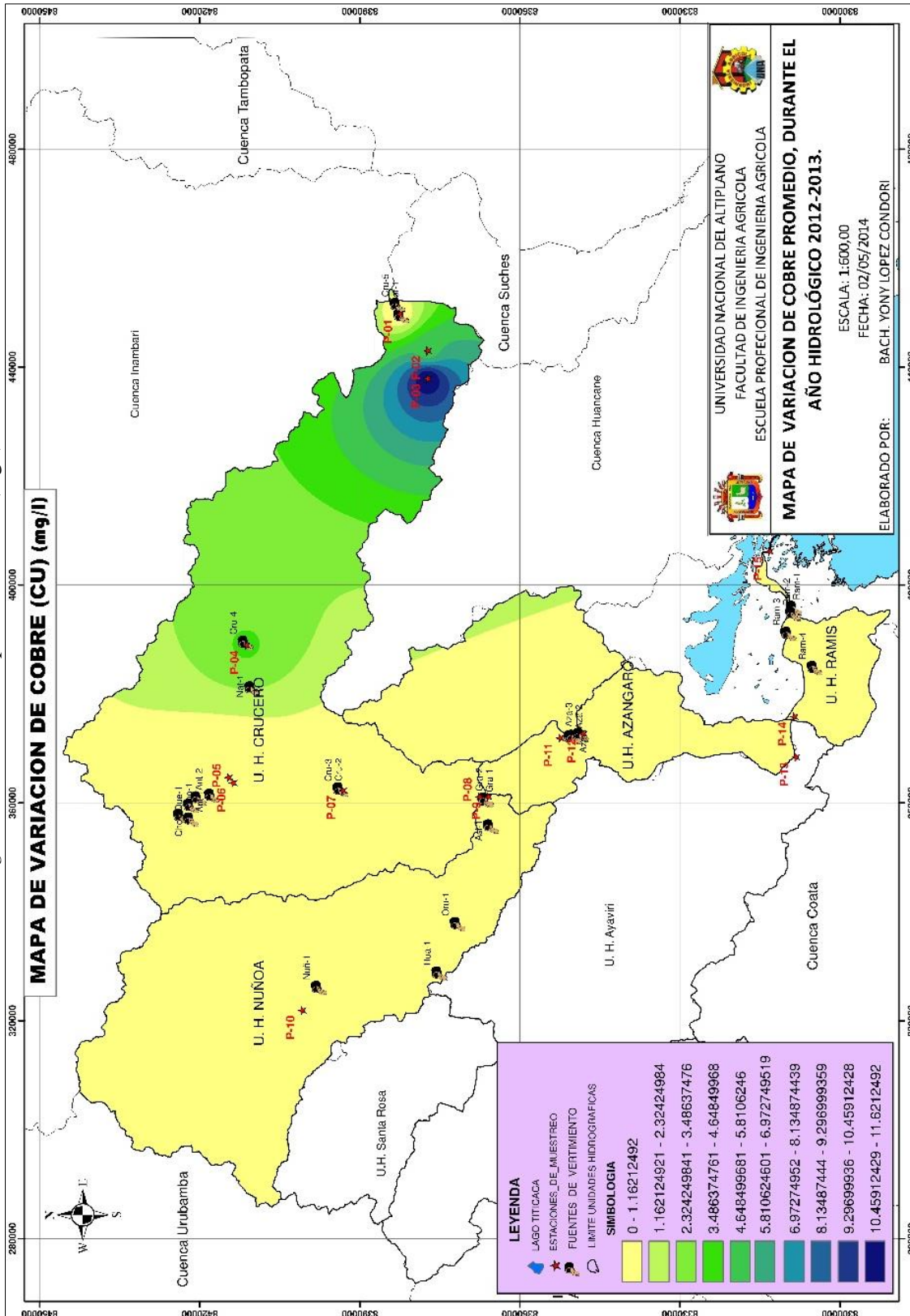
Las concentraciones de cobre (Cu), reportadas durante el año hidrológico 2012-2013, en las estaciones de muestreo se observan que en los puntos de muestreo P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-06, P-07, exceden los ECAs de la categoría 3. La concentración máxima de cobre (Cu) es de 53.64 mg/l, en el punto P-03, el cual se registró en el mes de noviembre del 2012, en el río Grande, sector Chaquininas – Sandia; por lo tanto, se puede decir que las aguas superficiales de dicho tramo están contaminadas debido a la descarga de aguas procedentes de las operaciones mineras informales e ilegal que operan en esta zona (Chaquiminas, Ananea; Huacchani y Ancocala). Se ha observado que la concentración de Cobre a partir del punto P-07 al P-15, descienden a niveles por debajo de los valores de los ECA, debido al efecto de dilución y complejación, por lo que no presenta problemas de calidad por (Cu). Ver figura 26.

Figura 26. Variación temporal de Cobre (mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Variación espacial de Cobre (mg/l).

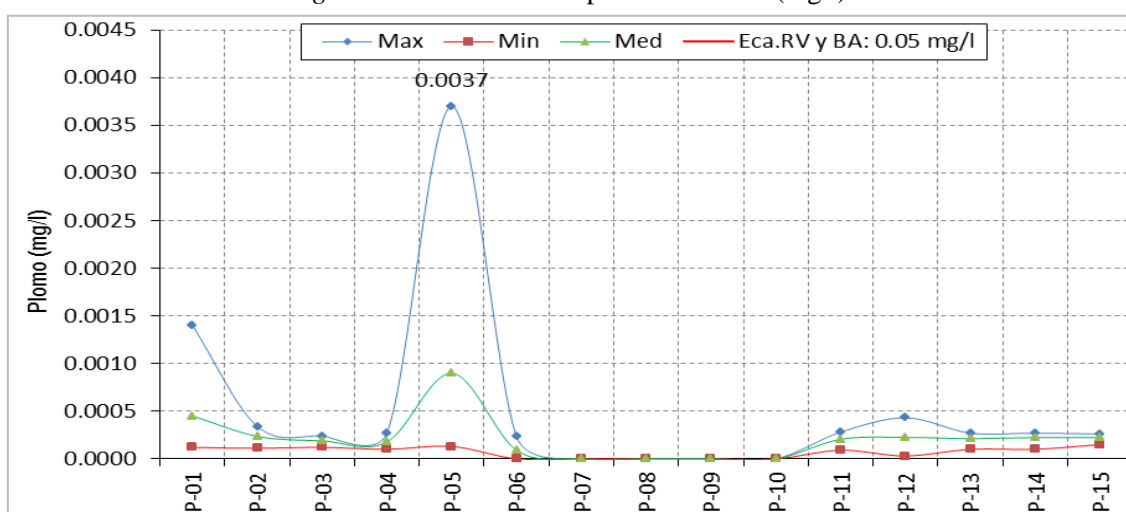


Fuente: Elaboración propia

4.1.9.2 Plomo (mg/l)

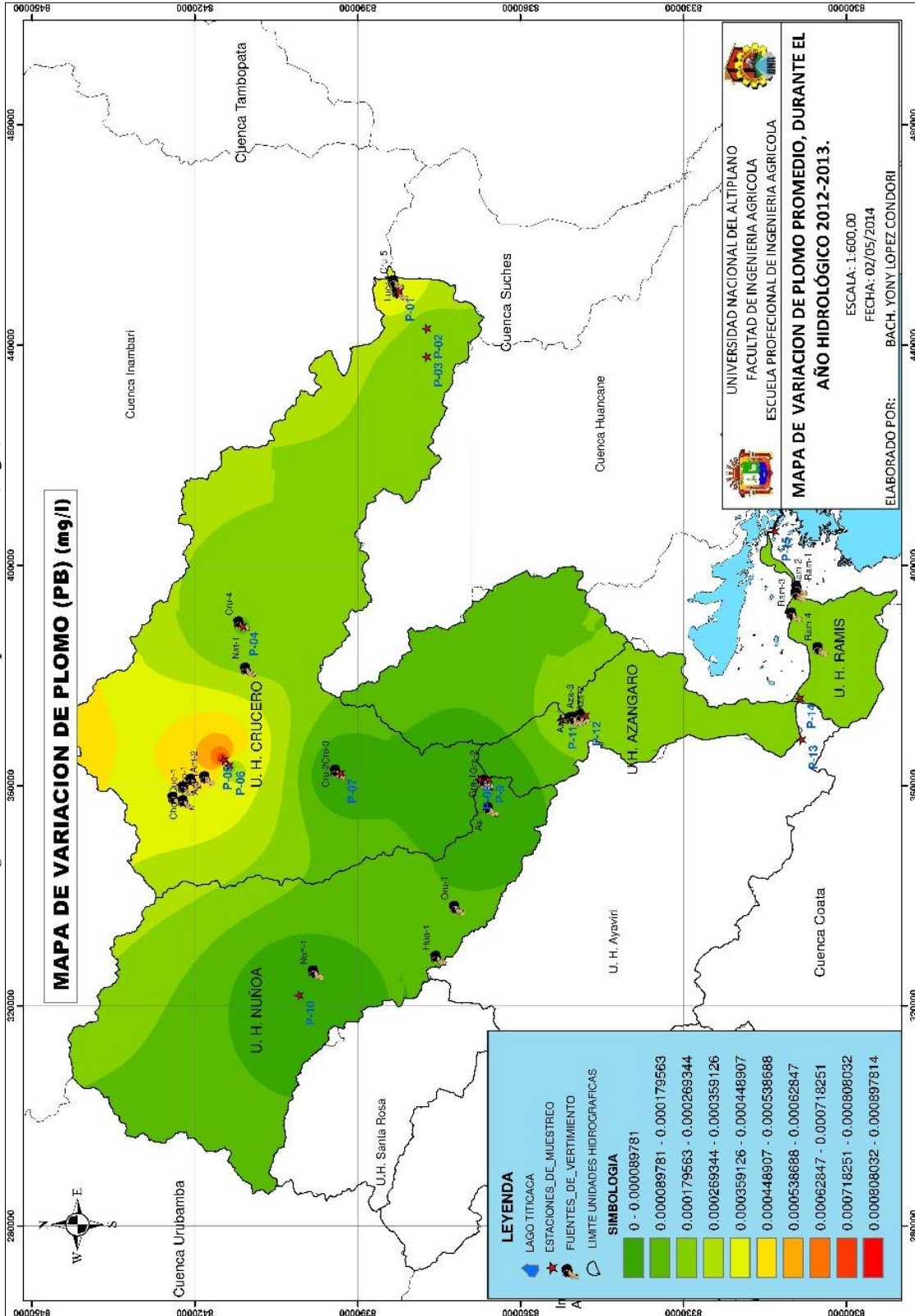
Las concentraciones de plomo, registrados durante el año hidrológico 2012-2013, no exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua, según la categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales. Po lo que el agua no presenta problemas de calidad por (Pb). Ver figura 28.

Figura 28. Variación temporal de Plomo (mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Variación espacial de Plomo (mg/l).

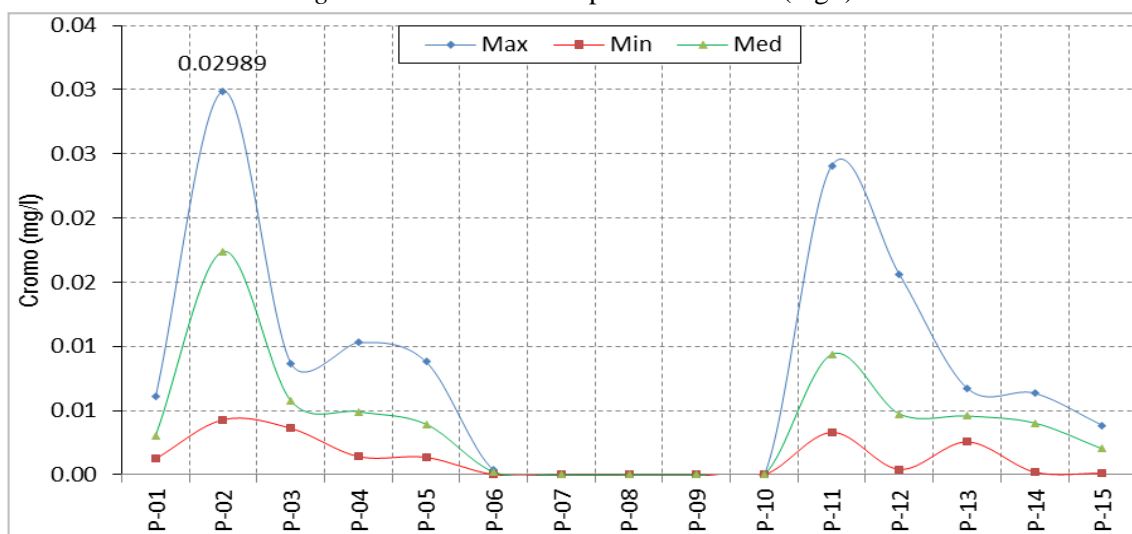


Fuente: Elaboración propia

4.1.9.3 Cromo (mg/l).

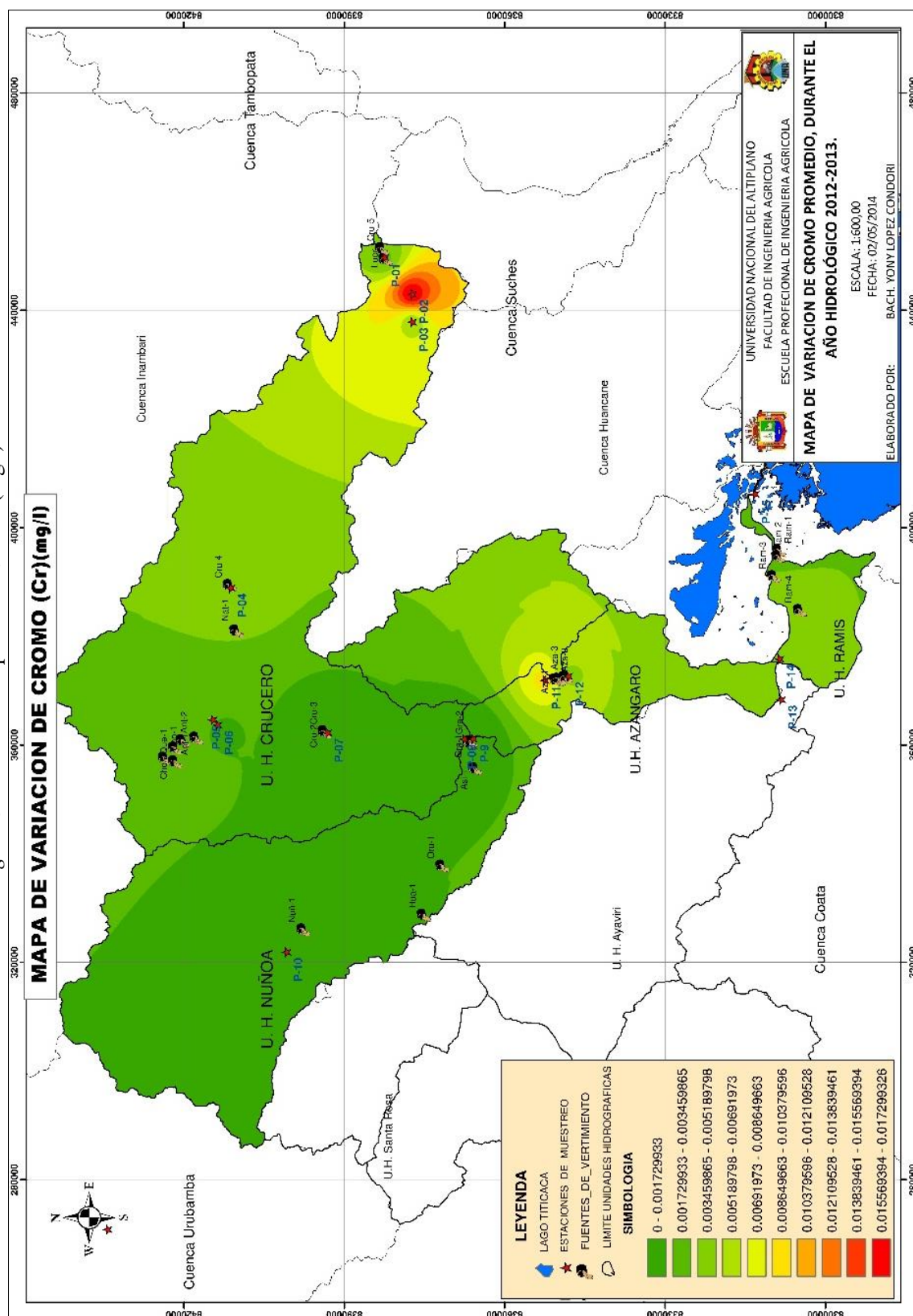
Las concentraciones de cromo, registrados durante el año hidrológico 2012-2013, en las 11 estaciones registradas están en el rango de 0.00002 a 0.02989 mg/l, registrándose los valores más significativos en la estación P-02, localizada en el riachuelo Ananea. Ver figura 30.

Figura 30. Variación temporal de Cromo (mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Variación espacial de Cromo (mg/l).

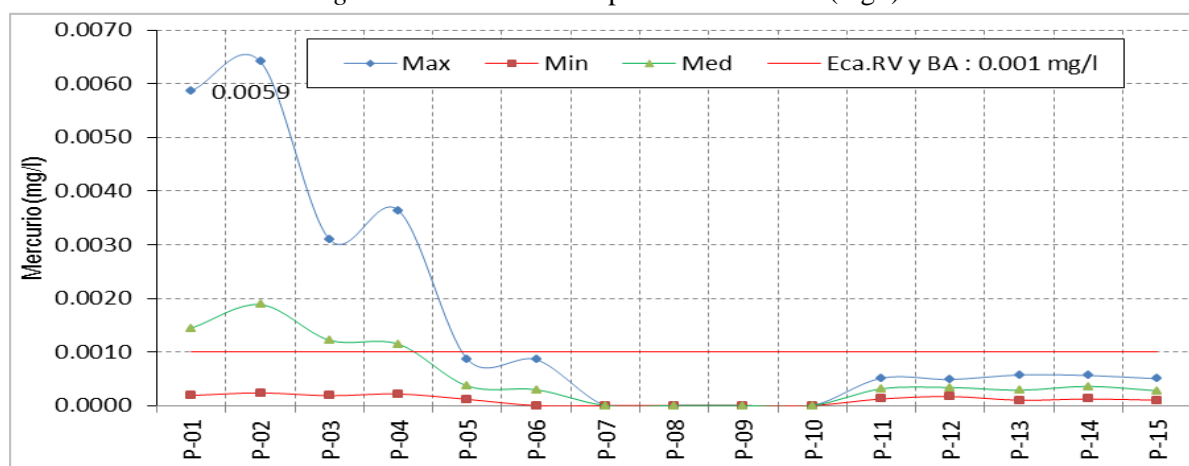


Fuente: Elaboración propia

4.1.9.4 Mercurio (mg/l).

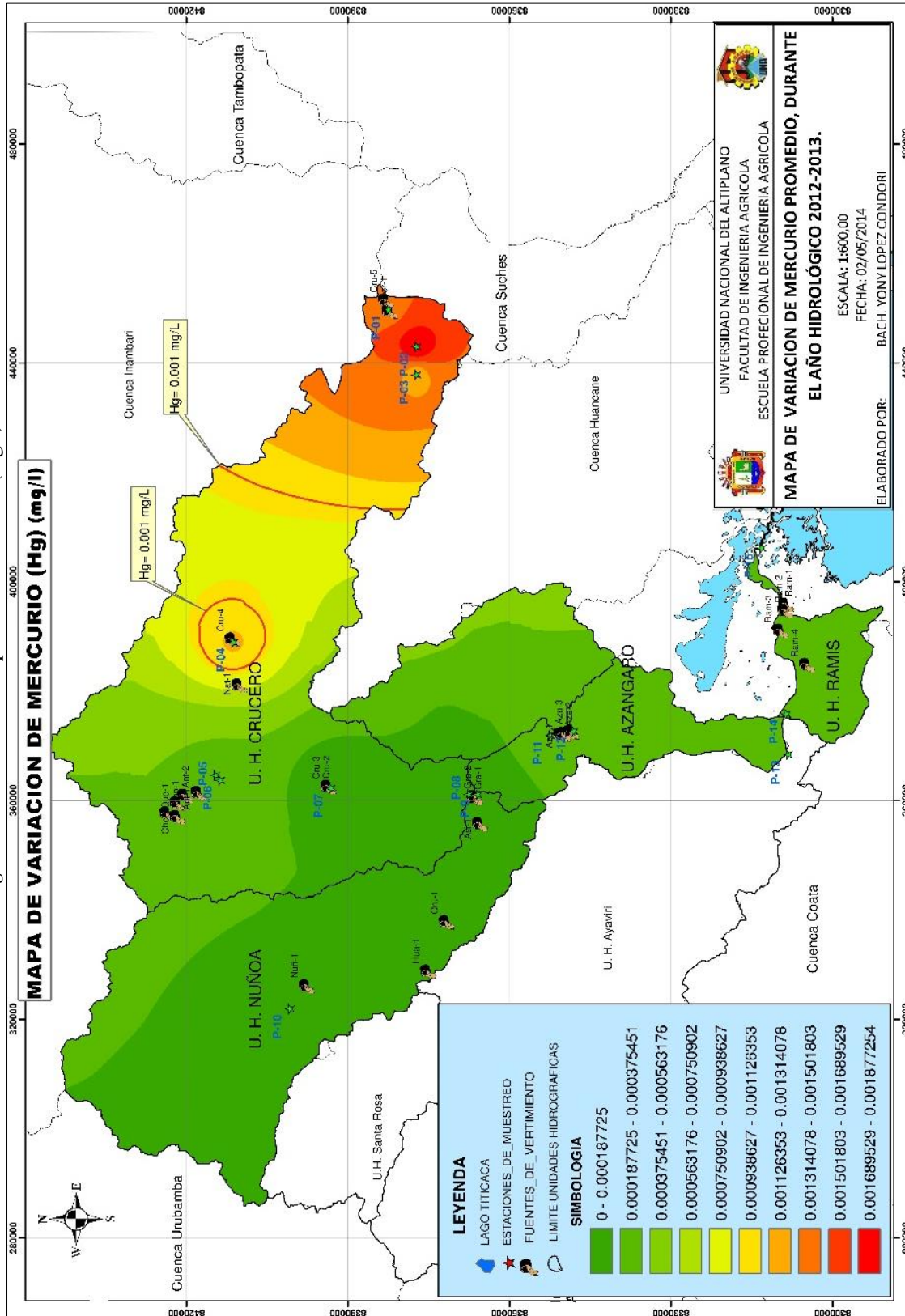
Las concentraciones de mercurio en las estaciones registradas P-01, P-02, P-03, P-04, superan los ECAs para agua de la categoría 3: y a partir del punto P-05 al P-15 bajan las concentraciones de mercurio por debajo de los ECAs para agua de la categoría 3: por lo que se concluye que el agua superficial de la unidad hidrográfica de crucero está contaminada por mercurio. Ver fig. 32.

Figura 32. Variación temporal de Mercurio (mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Variación temporal de Mercurio (mg/l).

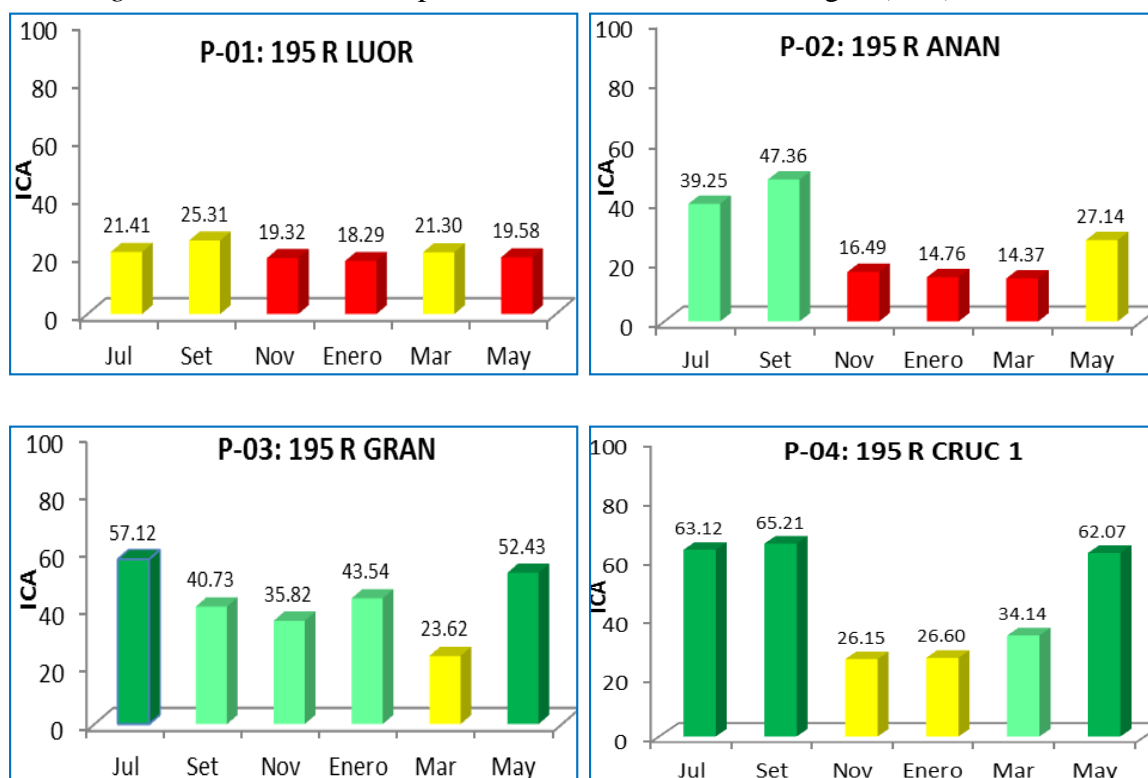


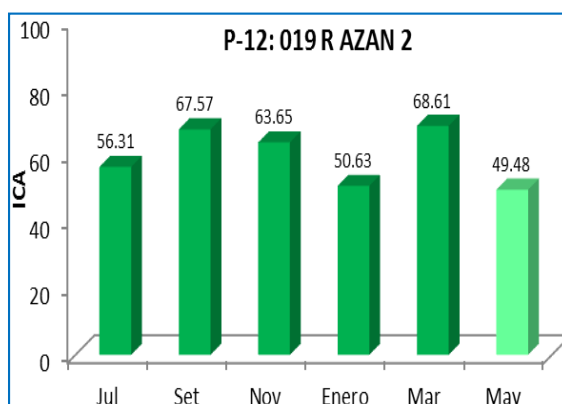
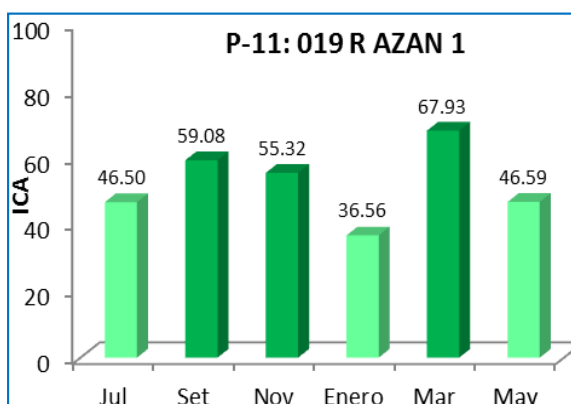
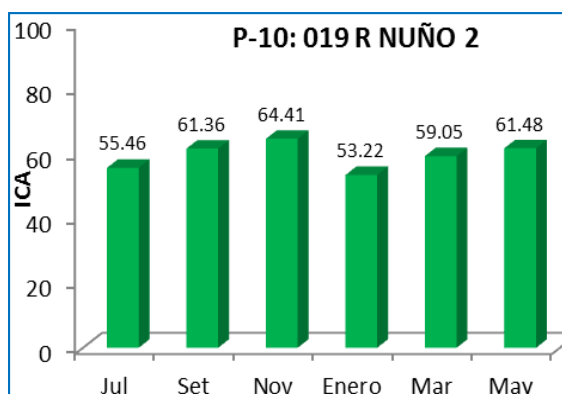
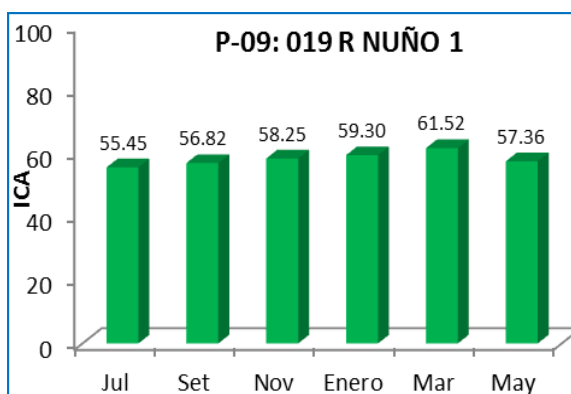
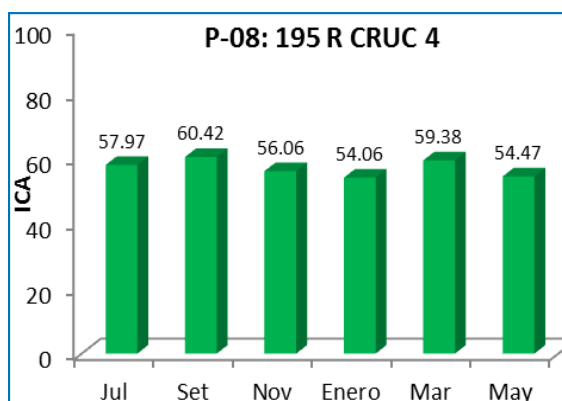
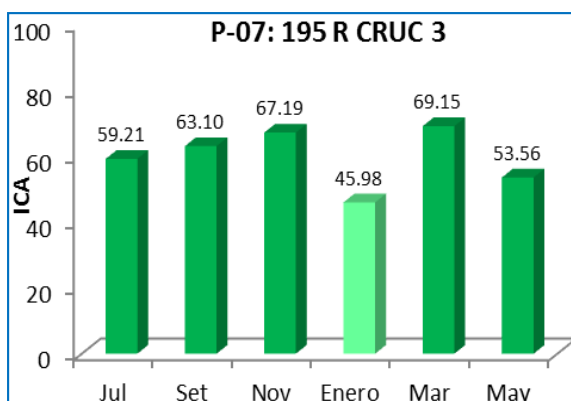
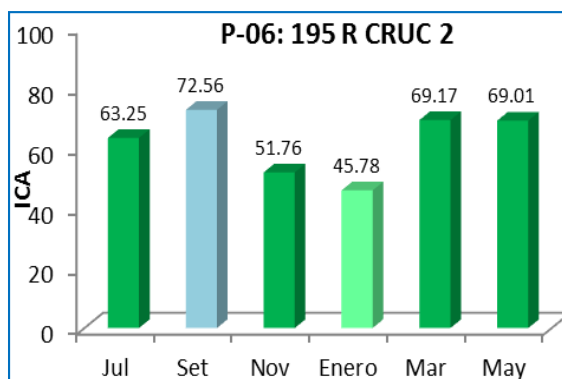
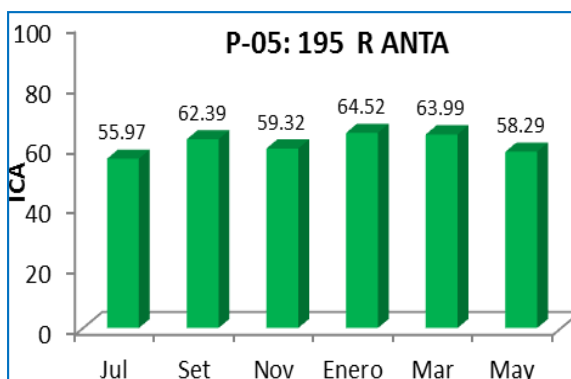
Fuente: Elaboración propia

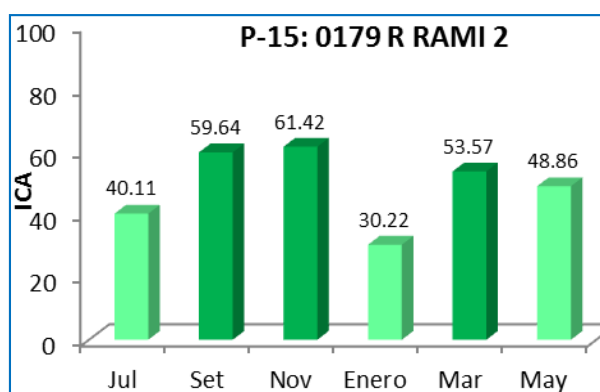
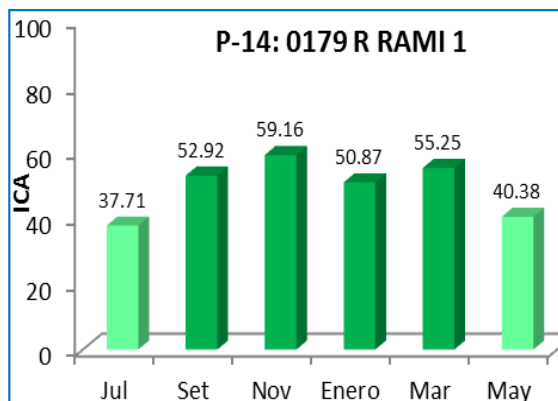
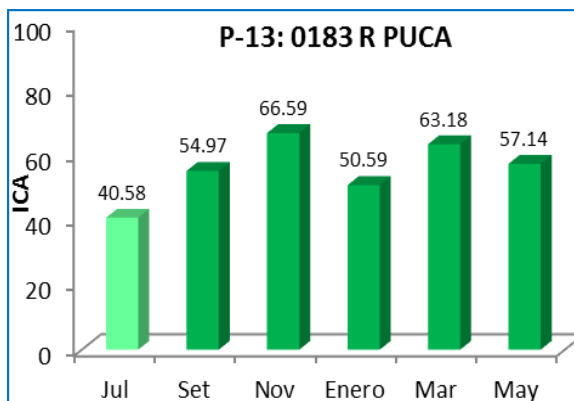
4.2 Desarrollo del Índice de Calidad Del Agua

Para la caracterización del grado de calidad del agua se desarrolló y aplico el Índice de Calidad del agua para los ríos de las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, para distinguir la variación en el tiempo y espacio del ICA, cuyos cálculos se presentan en el anexo N° 02, Sin embargo, hay que recordar que las mediciones para los diferentes constituyentes son representativas de un punto en la sección transversal del río durante el año hidrológico 2012-2013, en este periodo de tiempo están comprendidos según su producción de escorrentía como son húmedos, secos y transitorios. Por consiguiente, se muestra la variación del ICA conforme cambian las condiciones del cuerpo de agua con el tiempo.

Figura 34. Variación temporal del índice de calidad del agua (ICA)

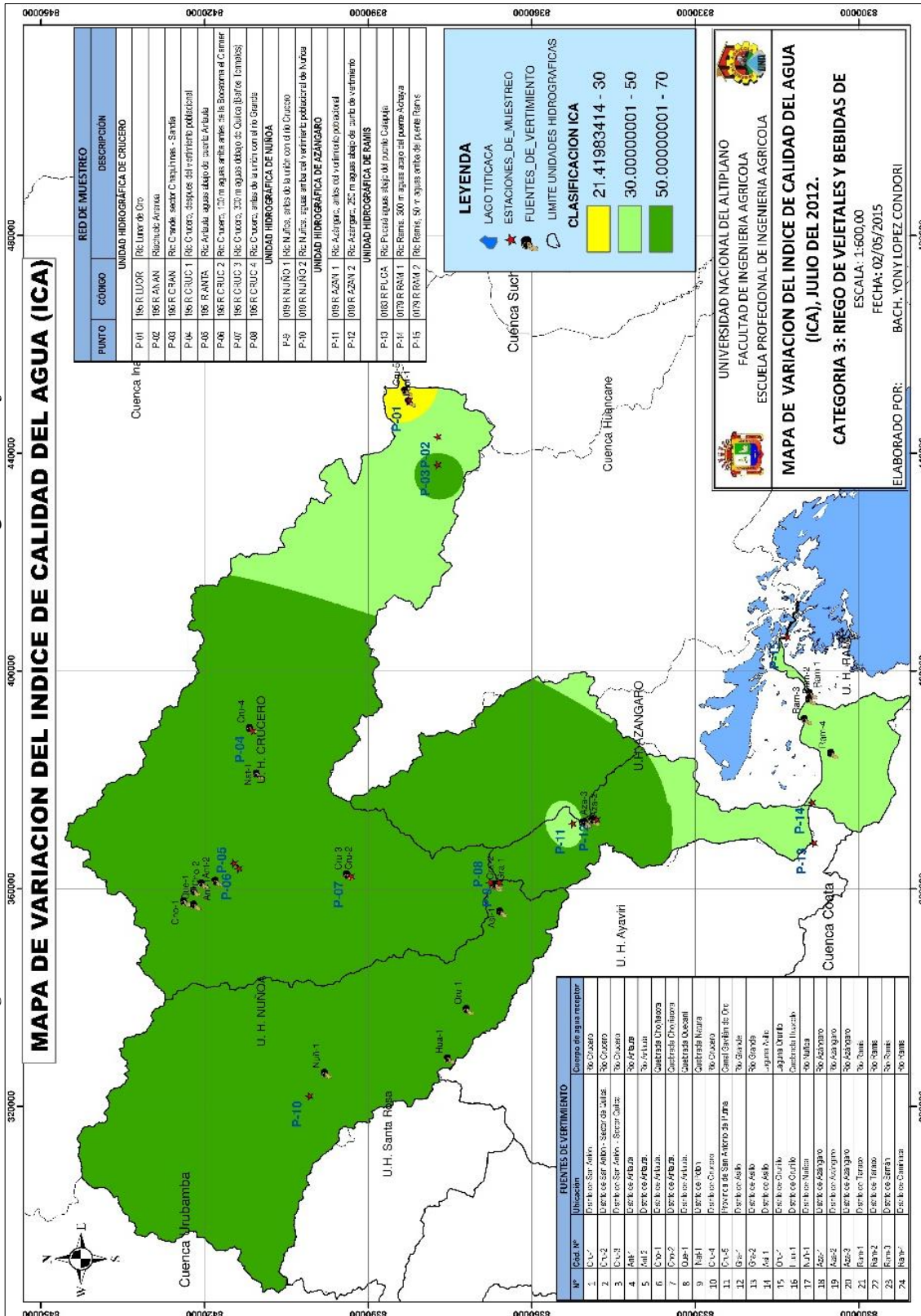






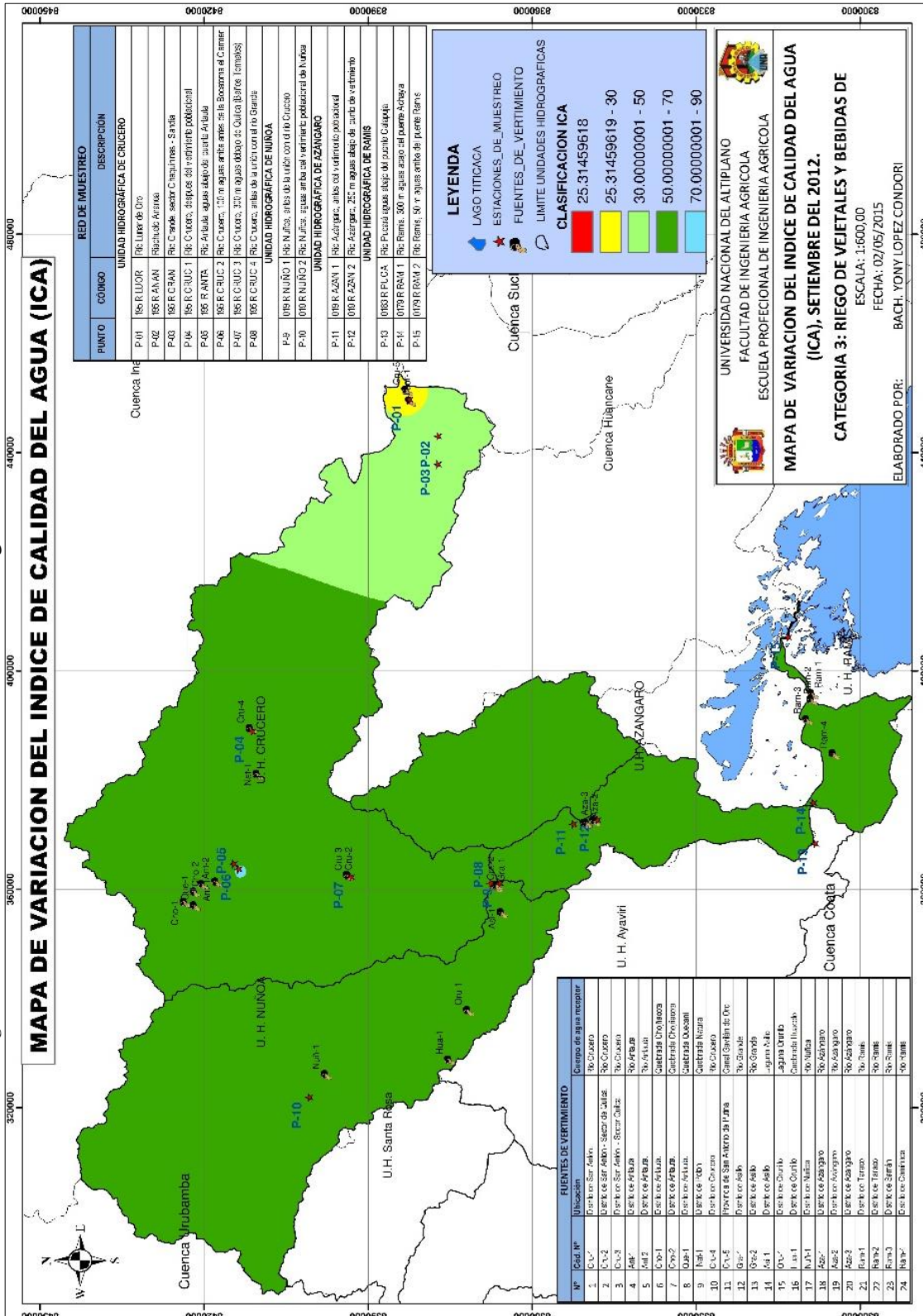
Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Variación del índice de calidad del agua, mes de julio-2012



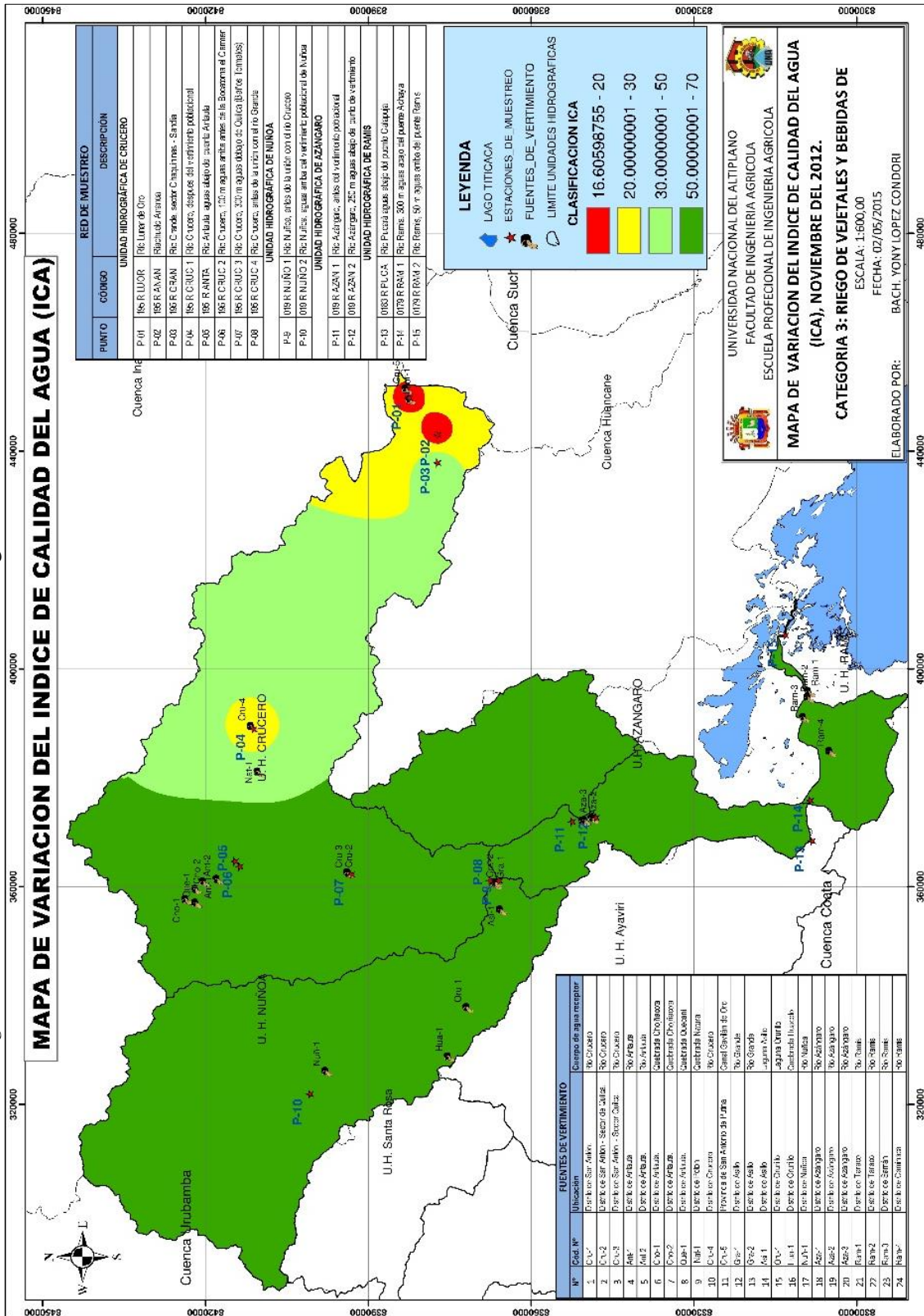
Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Variación del índice de calidad del agua, mes de setiembre-2012



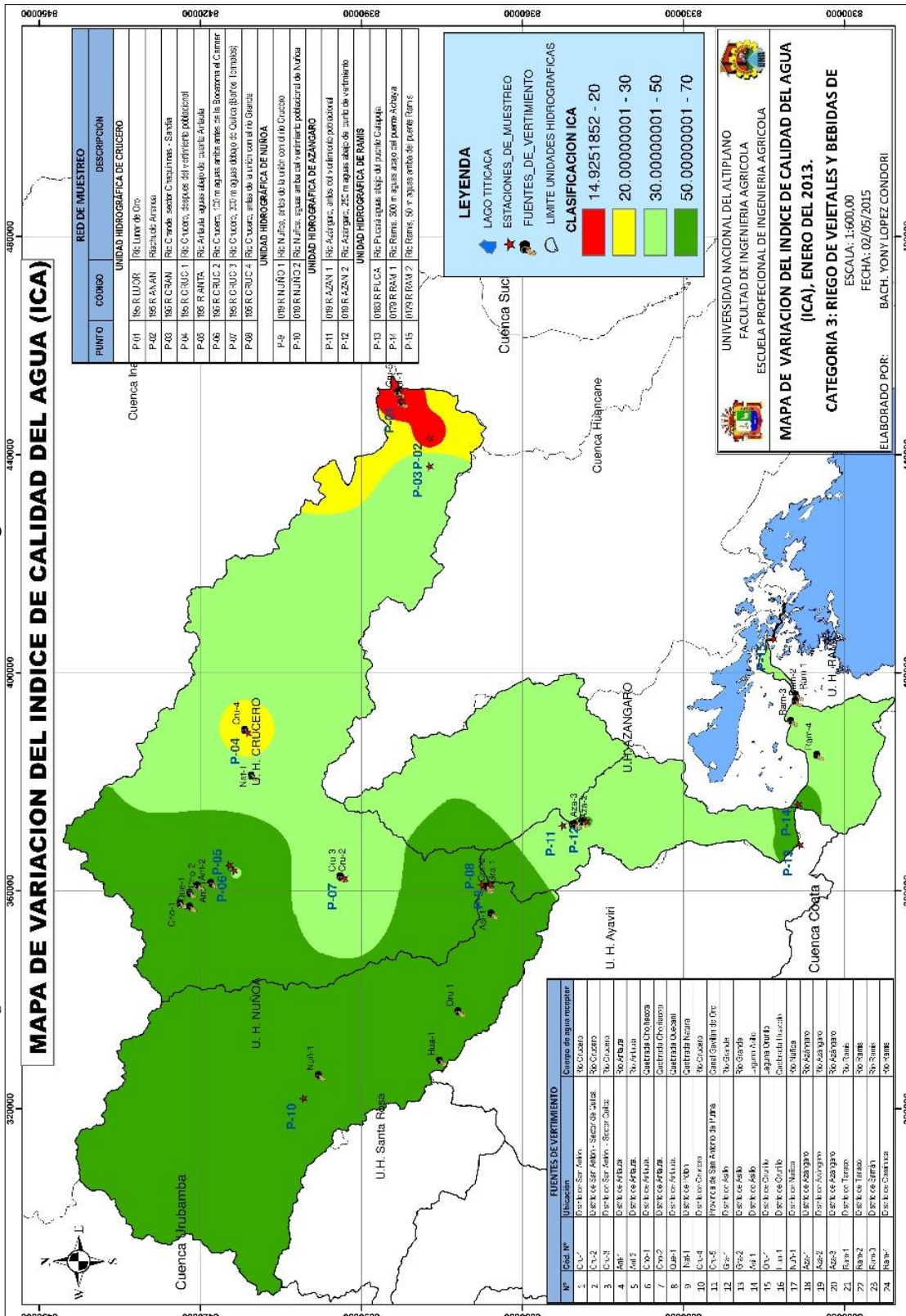
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Variación del índice de calidad del agua, mes de noviembre-2012



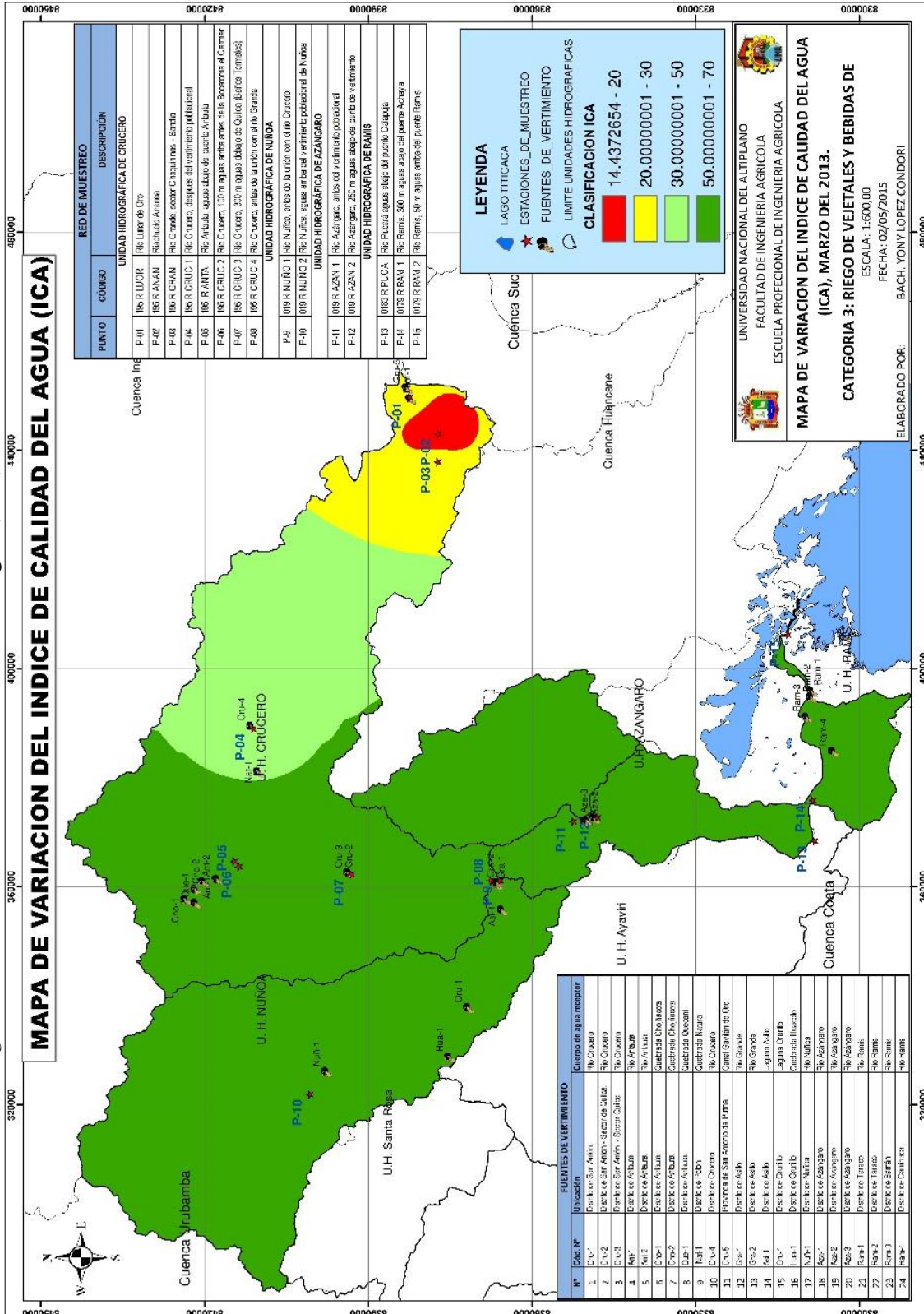
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Variación del índice de calidad del agua, mes de enero-2013



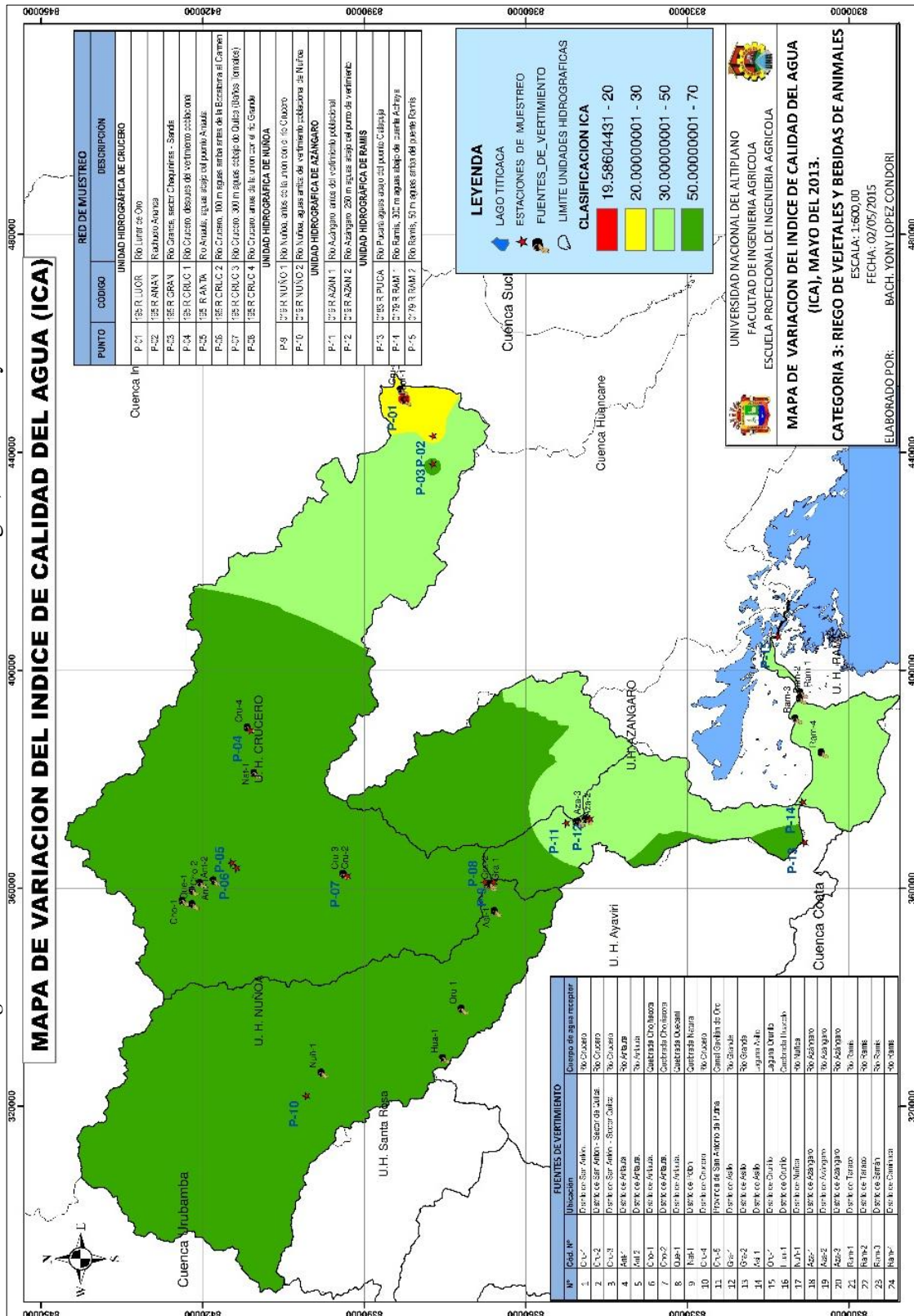
Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Variación del índice de calidad del agua (ICA), mes de marzo-2013



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Variación del índice de calidad del agua, mes de mayo-2013



Fuente: Elaboración propia.

4.3 Identificación de Fuentes de Contaminación de las Aguas Superficiales

De acuerdo al itinerario ejecutado para la identificación de fuentes contaminantes en la red hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, se identificaron presencia de: Residuos sólidos, vertimientos de aguas residuales y pasivos ambientales que se detallan a continuación.

4.3.1 Residuos sólidos

Se identificó en la unidad hidrográfica de Crucero, en la zona de la Rinconada, se identificó botaderos de residuos sólidos en ambas márgenes de la Quebrada Lunar de Oro, comprometiendo el recurso hídrico desde la laguna Lunar de oro hasta el ingreso de las aguas a la laguna Rinconada, se observa que la orilla de la laguna Rinconada está afectada por presencia de residuos sólidos.

Se identificó en la unidad hidrográfica de Ramis, botaderos de residuos sólidos difusos en la margen derecha del río Ramis, altura del puente Ramis, provenientes de los distritos de Taraco y Samán, provincia de Huancané, región Puno.

Tabla 29. Identificación de residuos sólidos.

Código N°	Descripción	Ubicación	Coordenadas de ubicación			Cuerpo de agua receptor
			Este	Norte	Altitud.	
SRC-01	Residuos sólidos en toda la quebrada entre la Laguna Lunar de oro y Laguna Rinconada.	Distrito de Ananea	449,397	8 382,268	4,665	Laguna Rinconada
RSR-1	Residuos sólidos difusos a la altura del puente Ramis MD.	Distrito de Taraco	406175	8313235	3849	Rio Ramis
RSR-2	Residuos sólidos difusos a la altura del puente Taraco MD.	Distrito de Taraco	394920	8308769	3851	Rio Ramis

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Vertimiento de aguas residuales

Se identificaron vertimientos de aguas residuales tratadas y sin tratamiento, vertido al cuerpo de agua según la Tabla 30.

Tabla 30. Puntos de descargas de aguas residuales en la UH- Crucero.

Cód. N°	Descripción	Ubicación	Coordenadas de ubicación			Cuerpo de agua receptor
			Este	Norte	Altitud	
Luor-1	Vertimiento directo de aguas residuales de origen minero e industrial sin previo tratamiento.	Distrito de Ananea	449397	8382268	4665	Laguna Rinconada
Cru-1	Vertimiento directo de aguas residuales poblacionales.	Distrito de San Antón.	356990	8387333	3986	Rio Crucero
Cru-2	Vertimiento directo de aguas residuales industriales, provenientes de la actividad acuícola.	Distrito de San Antón - Sector de Quilca.	362484	8393650	4024	Rio Crucero
Cru-3	Vertimiento directo de aguas residuales de Baños termales, actividad recreativa.	Distrito de San Antón - Sector Quilca.	362425	8393654	4025	Rio Crucero
Ant-1	Vertimiento de aguas residuales tratadas de origen poblacional.	Distrito de Antauta	361305	8417733	4155	Rio Antauta
Ant-2	Vertimiento directo de aguas residuales industrial, actividad Acuícola.	Distrito de Antauta.	360829	8420278	4189	Rio Antauta
Cho-1	Vertimiento de aguas residuales tratadas industriales de la Empresa MINSUR S.A.	Distrito de Antauta.	357597	8423544	4435	Quebrada Chojñacota
Cho-2	Vertimiento directo de aguas residuales de áreas recreacionales de la Granja San Pablo, MINSUR S.A.	Distrito de Antauta.	359469	8421695	4252	Quebrada Chojñacota
Que-1	Vertimiento de aguas residuales tratadas poblacionales (campamento) MINSUR S.A.	Distrito de Antauta.	356959	8421686	4306	Quebrada Quecani
Nat-1	Vertimiento de aguas residuales tratadas poblacionales de la Municipalidad Distrital de Potoni.	Distrito de Potoni	381017	8410196	4142	Quebrada Natural
Cru-4	Vertimiento directo de aguas residuales poblacionales a la margen derecha, por la Municipalidad Distrital de Crucero.	Distrito de Crucero	389400	8411437	4153	Rio Crucero
Cru-5	Vertimiento intermitente de aguas residuales mineras al Canal Gavilán de Oro, a la margen Izquierda, Corporación Minera Ananea S.A.	Provincia de San Antonio de Putina	451385	8382965	4860	Canal Gavilán de Oro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Puntos de descargas de aguas residuales en la UH- Nuñoa

Cód. N°	Descripción	Ubicación	Coordenadas de ubicación			Cuerpo de agua receptor
			Este	Norte	Altitud	
Gra-1	Centro Poblado Chaccocunca Vertimiento directo de aguas residuales termales sector de Juntuma	Distrito de Asillo	360445	8366548	3894	Río Grande
Gra-2	Centro Poblado Chaccocunca Vertimiento directo de aguas residuales termales sector de Juntuma	Distrito de Asillo	360637	8366410	3886	Río Grande
Asi-1	Municipalidad Distrital de Asillo Vertimiento de aguas residuales tratadas poblacionales	Distrito de Asillo	355672	8365510	3900	Laguna Asillo
Oru-1	Municipalidad Distrital de Orurillo Vertimiento de aguas residuales tratadas poblacionales	Distrito de Orurillo	337734	8371684	3923	Laguna Orurillo
Hua-1	Míniera Resurrección SAC Vertimiento de aguas residuales tratadas industriales, de la bocamina	Distrito de Orurillo	328684	8375127	4204	Quebrada Huacoto
Nuñ-1	Municipalidad Distrital de Nuñoa Vertimiento de aguas residuales tratadas poblacionales	Distrito de Nuñoa	326024	8397687	4033	Río Nuñoa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Puntos de descargas de aguas residuales en la UH- Azángaro.

Cód. N°	Descripción	Ubicación	Coordenadas de ubicación			Cuerpo de agua receptor
			Este	Norte	Altitud	
Aza-1	Camal Municipal de Azángaro. Vertimiento directo de aguas residuales industriales	Distrito de Azángaro	372016	8350393	3878	Río Azángaro
Aza-2	Municipalidad de Azángaro Vertimiento directo de aguas residuales poblacionales	Distrito de Azángaro	372126	8349986	3878	Río Azángaro
Aza-3	Municipalidad de Azángaro Vertimiento de aguas residuales tratadas poblacionales.	Distrito de Azángaro	372494	8348613	3874	Río Azángaro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Puntos de descargas de aguas residuales en la UH- Ramis.

Código N°	Descripción	Ubicación	Coordenadas de ubicación			Cuerpo de agua receptor
			Este	Norte	Altitud	
Ram-1	Municipalidad Distrital de Taraco, vertimiento directo de aguas residuales poblacionales.	Distrito de Taraco	395774	8308695	3847	Río Ramis
Ram-2	Municipalidad Distrital de Taraco, vertimiento directo de aguas residuales poblacionales.	Distrito de Taraco	394686	8308825	3846	Río Ramis
Ram-3	Municipalidad Distrital de Samán, vertimiento difuso de aguas residuales poblacionales	Distrito de Samán	391029	8309644	3853	Río Ramis
Ram-4	Municipalidad Distrital de Caminaca. vertimiento directo de aguas residuales poblacionales.	Distrito de Caminaca	384777	8304777	3854	Río Ramis

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En la U.H. de Crucero el 75% de parámetros superan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, respecto al 25% si cumplen, Caracterizándose como aguas acidas y de mala calidad, en la U.H. de Nuñoa el 16.6 % de parámetros superan los ECAs, respecto a un 83.3 % que si cumplen con los estándares. Caracterizándose como aguas ligeramente básicas, en la U.H. de Azángaro, el 25% de parámetros superan los ECAs, respecto a un 75 % que si cumple con los estándares, se caracterizan aguas ligeramente básicas; Ramis, el 33.3%, de parámetros superan los ECAs, respecto a un 66.6% que si cumple con los estándares, se caracteriza por tener una tendencia en crecimiento especialmente el parámetro DBO.

Los Índices de calidad del Agua evaluados, confirman el deterioro decreciente, Calidad de agua excelente (70-100), ningún cuerpo de agua cumple con esta condición, Calidad Buena (50-70), cumplen los cuerpos de agua de los puntos de control de P-10 y P-09 del río Nuñoa, P-08 Río crucero antes de la unión con el río grande, P-07 Río crucero, 300 m aguas debajo de Quilca (baños termales). Calidad Regular (30-50), cuerpos de agua en el P-06 del rio Crucero, P-05 Rio Antauta, P-15 Río Ramis, P-14 Río Ramis, P-13 río pucará aguas abajo del puente Calapuja, P-12 río Azángaro 250 m aguas abajo del punto de vertimiento, P-11 Río Azángaro, antes del vertimiento poblacional. Calidad Mala (20-30), los cuerpos de agua P-03 río Grande, sector Chaquiminas, P-04 río Crucero, después del vertimiento poblacional y calidad Pésima (0-20), P-01, Río Lunar de Oro, P-02, Riachuelo Ananea. Se identificó vertimiento de residuos sólidos en la unidad hidrográfica de Crucero, río lunar de oro y en Ramis, los desechos sólidos son vertidos sin ningún tipo de control directamente al cuerpo de agua afectando a su calidad e incrementando el nivel de DBO. En la unidad hidrográfica de Crucero se identificó 7 fuentes de vertimiento de aguas residuales sin tratamiento y 4 fuentes de vertimiento de aguas residuales con previo tratamiento, en la unidad hidrográfica de Nuñoa se identificó 2 fuentes de vertimiento de aguas residuales sin tratamiento y 4 fuentes de vertimiento de aguas residuales con previo tratamiento, en la unidad hidrográfica de Azángaro, se identificó 2 fuentes de vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, en la unidad hidrográfica de Ramis, se identificó 3 vertimientos puntuales de aguas residuales sin previo tratamiento y un vertimiento difuso de aguas residuales sin tratamiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios exhaustivos sobre análisis de suelos agrícolas y forrajes en zonas con riego de aguas contaminadas y cuál es el impacto causado por la alteración de la calidad del agua, y que efectos se tiene en la agricultura y ganadería.

Se recomienda fortalecer las acciones de vigilancia y muestreo de la calidad del agua en la cuenca del río Ramis, con la finalidad de evaluar las alteraciones en su calidad, acción que debe ser de carácter participativo y permanente.

Es importante y necesario efectuar monitoreo de la calidad del agua en vertimientos poblacionales e industriales que descargan en los cursos de agua superficiales, esto afín de evaluar el cumplimiento de las normas vigentes en cuanto a vertimientos y establecer las medidas correctivas y sancionadoras según correspondan.

Asimismo, esta acción proveerá información importante para efectuar el modelamiento de la calidad del agua en la cuenca del río Ramis y permitirá conocer con suficiente aproximación el comportamiento de los principales contaminantes identificados en esta importante red hidrográfica.

Los buenos resultados obtenidos en esta investigación recomiendan que en trabajos futuros se efectúen investigaciones del desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua ICA, específicamente para cuencas con actividad minera, asimismo, es importante que en futuros estudios se efectúen análisis con aplicación de índices de calidad del tipo multiplicativo que consideren mayor cantidad de constituyentes, la aplicación, la aplicación del método Delphi para la ponderación de cada uno de los constituyentes del ICA y el ajuste de la escala de clasificación del ICA en función de los usos de las cuencas del Titicaca y la normatividad nacional vigente.

BIBLIOGRAFIA

- Aparicio, M. F. (1996). *“Fundamentos de hidrología de superficie”*. México, Editorial LIMUSA, 1996, 303 pág.
- Aguilar, G. I. (2009). *“Gobernanza de Aguas Compartidas: Aspectos Jurídicos e Institucionales”*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN). Editorial Gland CH., Serie de Política y Derecho Ambiental N° 58, 240 pág.
- Brown, R.M (1970). *“Procedimiento y recolección de parámetros de la calidad del agua”*, departamento de Ingeniería de la Universidad de Wisconsin, editorial Morrison.
- CVC. (2004). *“Estudio de la calidad del agua del río del Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad”*. Corporación autónoma del valle del Cauca, Santiago de Cali, Colombia.
- Corbitt, R. (2003). *“Manual de referencia de la ingeniería ambiental”*. España, Madrid; MnGraw-Hill.
- FAO (1997). *“Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía”*. (Boletín de suelos de la FAO-68).
- Gulliver, J. S. (2007). *“Introducción al transporte de los contaminantes en cuerpos de aguas superficiales naturales”*. Cambridge, University Press.
- Gonzales, C. R. (2010). *“Pautas para el muestreo y evaluación de la calidad de las aguas superficiales”*. Lima-Perú, Segunda Edición, mayo, 89 pág.
- INRENA (2003). *“Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Ramis”*, *Estudio de Hidrología, Intendencia de Recursos Hídricos*. ATDR Ramis. Ayaviri.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2008). *Implicancias ambientales por la actividad minera de la zona de Ananea en la cuenca del río Ramis*. Lima-Perú, INGEMMET.
- Marzal, M. M. (2000). *“Modelación de la calidad del agua”* Universidad Politécnica de Valencia, departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente. Valencia-España 2000. Edición, Abril, 90 pág.

- Miller, T. (2000). *“Propiedades físicas y químicas del agua”*. Zaragoza-España, Editorial MAD, S.L. Segunda Edición, Junio.
- MEM (2007). *“Guía para la evaluación de impactos en la calidad de las aguas superficiales por actividades minero metalúrgicas”*. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Lima-Perú, Edición: Setiembre, Volumen XXII. 153 pág.
- Pérez, J. E. (1999). *“Estudio sanitario del agua”*. Segunda edición. Universidad de Granada, España. 454 p.
- Quintanilla, J. (2009). *“Sistema hidrológico del Altiplano (A. H. S.) Cuenca del Río Desaguadero”* (Bol.) Tomo 1, Informe Final, La Paz Bolivia 1993. Universidad Mayor de San Andrés – Universidad Laval Québec –Canadá CIID – Canadá. Compilación de diferentes normas para evaluar la calidad del agua y adaptaciones.
- Quino, I. (2006). *“Determinación de la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas en la región norte y este del lago Poopó”*. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Ciencias Químicas, 2006.
- Ramos, L. (2008). *“Calidad y contaminación del agua”*. Universidad Agraria la Molina, departamento de recursos de agua y suelo. Lima-Perú. Editorial Publidrat, 70 pág.
- Romero, J. (2002). *“Calidad de agua”*. Primera Edición. Editorial Nomos S.A. Bogotá – Colombia.
- Rojas, O. (1991). *“Índices de Calidad del agua en Fuentes de captación. Memorias del Seminario internacional sobre Calidad del agua para consumo”*. ACODAL-Seccional Valle del Cauca. Cali. Colombia.
- Wheaton, F. (1987). *“Propiedades fisicoquímicos y biológicos del agua”*. AGT Editor, S.A. México.

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

PROCEDENCIA : Hunidad Hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azangaro y Ramis
 INTERESADO : Ing. Bach. YONY LOPEZ CONDORI
 Laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006,
 Análisis de agua In situ: Temperatura C°, Ph (unidades), Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno disuelto (mg/l)
 Análisis de agua reportado por el laboratorio Laboratorio, Cu (mg/l), Pb (mg/l), Cr (mg/l), Hg (mg/l)
 MUESTREO : 15 de Julio del 2012
 ANÁLISIS : 15 de Julio del 2012

CODIGO	Temperatura C°	Ph (unidades)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno disuelto (% Sat)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
195 R LUOR	6.40	3.80	1448.00	7.80	724.00	62.00	17.00	35.70	0.1891	0.00045	0.00607	0.00019
195 R ANAN	6.10	7.00	385.00	7.12	192.50	87.50	9.20	19.32	0.689	0.00023	0.00429	0.00069
195 R GRAN	11.80	6.90	248.00	7.11	124.00	15.20	9.10	19.11	1.114	0.00021	0.00538	0.00114
195 R CRUC 1	10.90	7.90	356.00	7.40	178.00	12.50	7.40	15.54	1.364	0.00021	0.00365	0.00364
195 R ANTA	10.30	6.60	713.00	9.55	356.50	7.90	9.55	20.06	0.0425	0.0037	0.0088	0.00043
195 R CRUC 2	11.90	7.70	411.00	8.60	205.50	2.40	8.60	18.06	0.0001	0.00003	0.00026	0.0001
195 R CRUC 3	11.90	8.40	453.00	6.24	226.00	6.30	9.00	18.90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195 R CRUC 4	12.00	8.40	444.00	5.93	222.00	3.20	10.00	21.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 1	13.70	8.30	917.00	4.87	461.00	1.50	10.00	21.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 2	8.60	7.40	515.00	6.23	219.00	7.90	11.00	23.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R AZAN 1	11.90	8.40	1314.00	6.12	663.00	1.10	11.00	23.10	0.511	0.00028	0.0033	0.00051
019 R AZAN 2	13.10	8.30	770.00	6.66	383.00	2.50	9.00	18.90	0.31	0.00043	0.00778	0.00031
0183 R PUCA	12.00	8.70	812.00	5.12	400.00	1.80	14.00	29.00	0.0347	0.00027	0.00513	0.0003
0179 R RAM 1	14.00	8.30	972.00	5.80	484.00	0.70	19.00	40.00	0.0562	0.00026	0.00021	0.00056
0179 R RAM 2	9.20	8.00	800.00	8.77	392.00	2.70	16.00	34.00	0.01	0.00024	0.00385	0.0001

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

PROCEDENCIA : Hunidad Hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azangaro y Ramis
 INTERESADO : Ing. Bach. YONY LOPEZ CONDORI
 Laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006,
 Análisis de agua In situ: Temperatura C°, Ph (unidades), Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno disuelto (mg/l)
 Análisis de agua reportado por el Laboratorio, Cu (mg/l), Pb (mg/l), Cr (mg/l), Hg (mg/l)
 MUESTREO : 15 de Setiembre del 2012
 ANÁLISIS : 15 de Setiembre del 2012

CODIGO	Temperatura C°	Ph (unidades)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno disuelto (% Sat)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
195 R LUOR	10.60	4.50	1260.00	3.20	630.00	55.10	17.00	35.70	0.587	0.00014	0.00124	0.00587
195 R ANAN	9.20	8.10	37.40	6.90	18.70	65.20	6.90	14.49	2.641	0.00026	0.02989	0.00641
195 R GRAN	15.40	10.50	222.00	7.00	111.00	38.20	7.00	14.70	6.81	0.00024	0.00362	0.0031
195 R CRUC 1	15.70	8.60	383.00	5.50	191.50	13.90	5.50	11.55	0.217	0.0001	0.00142	0.00022
195 R ANTA	13.00	7.60	728.00	7.40	364.00	3.70	7.40	15.54	0.018	0.00013	0.00136	0.00018
195 R CRUC 2	15.20	8.70	427.00	4.50	213.50	0.90	4.50	9.45	0.0002	0.00002	0.00036	0.0002
195 R CRUC 3	14.00	8.60	433.00	8.20	217.00	3.10	8.00	16.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195 R CRUC 4	13.40	8.60	422.00	8.40	209.00	0.80	9.00	18.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 1	18.40	8.40	908.00	6.10	455.00	2.80	9.00	18.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 2	10.70	7.40	402.00	6.90	201.00	0.10	10.00	21.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R AZAN 1	17.60	8.60	811.00	4.80	405.00	9.40	7.00	14.00	0.308	0.00024	0.00462	0.00031
019 R AZAN 2	18.00	8.50	750.00	6.00	376.00	0.20	6.00	12.00	0.17	0.00026	0.00042	0.00017
0183 R PUCA	15.30	8.60	922.00	6.00	461.00	1.00	10.00	21.00	0.271	0.00022	0.00475	0.00057
0179 R RAM 1	14.30	8.10	1052.00	6.30	526.00	0.90	11.00	23.00	0.0461	0.00023	0.00471	0.00046
0179 R RAM 2	19.20	8.70	800.00	5.10	399.00	1.50	8.00	16.00	0.263	0.00026	0.00264	0.00026

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

PROCEDENCIA : Hunidad Hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azangaro y Ramis
 INTERESADO : Ing. Bach. YONY LOPEZ CONDORI
 Laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006,
 Análisis de agua In situ: Temperatura C°, Ph (unidades), Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno disuelto (mg/l)
 Análisis de agua reportado por el Laboratorio, Cu (mg/l), Pb (mg/l), Cr (mg/l), Hg (mg/l)
 MUESTREO : 15 de Noviembre del 2012
 ANÁLISIS : 15 de Noviembre del 2012

CODIGO	Temperatura C°	Ph (unidades)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno disuelto (% Sat)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
195 R LUOR	9.10	3.90	1150.00	5.60	575.00	78.10	18.00	37.80	0.815	0.00033	0.00369	0.00182
195 R ANAN	9.10	6.80	63.00	5.80	31.50	373.10	11.50	24.15	26.312	0.00034	0.0102	0.00312
195 R GRAN	11.60	5.70	116.00	5.70	58.00	92.50	9.20	19.32	53.64	0.0002	0.0087	0.0024
195 R CRUC 1	9.80	8.10	216.50	6.50	130.80	204.50	6.50	13.65	2.972	0.00027	0.0103	0.00097
195 R ANTA	12.00	5.30	599.50	6.30	299.80	2.40	7.50	15.75	0.861	0.0002	0.00489	0.00086
195 R CRUC 2	16.60	8.60	222.00	6.80	111.00	46.50	6.80	14.28	0.0032	0.0002	0.00023	0.00032
195 R CRUC 3	17.70	8.60	403.00	7.30	202.00	3.90	6.50	14.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195 R CRUC 4	13.40	9.00	393.00	7.90	196.00	2.60	9.50	20.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 1	15.10	8.60	822.00	4.14	415.00	2.50	7.50	16.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 2	14.30	7.50	286.00	7.04	143.00	8.60	7.50	16.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R AZAN 1	12.80	8.90	855.00	5.00	428.00	4.20	8.50	18.00	0.414	0.00022	0.0141	0.00041
019 R AZAN 2	13.30	8.50	705.00	3.64	352.00	6.80	5.70	12.00	0.46	0.00024	0.00256	0.00046
0183 R PUCA	17.70	7.40	605.00	4.56	304.00	4.10	6.50	14.00	0.279	0.00026	0.00256	0.0001
0179 R RAM 1	16.80	7.90	708.00	4.40	425.00	3.10	8.50	18.00	0.334	0.00027	0.00335	0.00033
0179 R RAM 2	13.00	8.10	775.00	7.68	389.00	1.80	7.50	16.00	0.215	0.00015	0.00012	0.00022

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

PROCEDENCIA : Hunidad Hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azangaro y Ramis
 INTERESADO : Ing. Bach. YONY LOPEZ CONDORI
 Laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006,
 Análisis de agua In situ: Temperatura C°, Ph (unidades), Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno disuelto (mg/l)
 Análisis de agua reportados por el Laboratorio, Cu (mg/l), Pb (mg/l), Cr (mg/l), Hg (mg/l)
 MUESTREO : 15 de Enero del 2013
 ANÁLISIS : 15 de Enero del 2013

CODIGO	Temperatura C°	Ph (unidades)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno disuelto (% Sat)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
195 R LUOR	9.90	4.20	1230.00	5.62	615.00	85.90	20.00	44.00	0.0364	0.00012	0.00235	0.00036
195 R ANAN	11.20	6.40	53.70	5.06	26.90	400.00	15.00	34.00	0.463	0.00011	0.01989	0.00046
195 R GRAN	10.50	6.40	159.00	2.54	79.50	80.00	6.90	13.50	1.1845	0.00017	0.00462	0.00018
195 R CRUC 1	9.20	7.30	194.00	4.11	97.00	250.00	6.00	11.00	1.864	0.00021	0.00242	0.00086
195 R ANTA	12.10	6.80	556.00	4.66	278.00	4.60	7.00	14.50	0.0245	0.00019	0.00236	0.00025
195 R CRUC 2	14.00	7.50	300.00	5.42	150.00	89.00	6.00	11.00	0.0003	0.00023	0.00006	0.0003
195 R CRUC 3	14.00	7.50	300.00	5.42	87.60	89.00	6.00	12.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195 R CRUC 4	13.40	7.90	268.00	6.90	133.00	26.50	9.50	29.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 1	13.10	7.60	397.00	5.00	196.00	13.00	8.90	19.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 2	10.20	7.10	229.00	6.00	148.00	24.10	9.80	19.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R AZAN 1	13.00	7.50	395.00	6.70	87.00	150.00	5.30	10.60	0.318	0.00019	0.00562	0.00032
019 R AZAN 2	10.00	7.40	386.00	4.86	186.30	65.00	6.00	12.50	0.2985	0.00003	0.00168	0.0003
0183 R PUCA	12.00	8.10	278.00	3.33	178.00	45.80	7.00	15.60	0.0252	0.00021	0.00675	0.00025
0179 R RAM 1	12.30	8.10	280.00	4.26	82.90	30.00	9.50	20.50	0.041	0.00027	0.00487	0.00041
0179 R RAM 2	13.40	8.00	386.00	5.97	251.00	140.00	10.00	24.50	0.0228	0.00026	0.00164	0.00023

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

PROCEDENCIA : Hunidad Hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azangaro y Ramis
 INTERESADO : Ing. Bach. YONY LOPEZ CONDORI
 Laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006,
 Análisis de agua In situ: Temperatura C°, Ph (unidades), Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno disuelto (mg/l)
 Análisis de agua reportados por el Laboratorio, Cu (mg/l), Pb (mg/l), Cr (mg/l), Hg (mg/l)
 MUESTREO : 15 de Marzo del 2013
 ANÁLISIS : 15 de Marzo del 2013

CODIGO	Temperatura C°	Ph (unidades)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno disuelto (% Sat)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
195 R LUOR	8.40	4.20	1000.00	5.60	500.00	70.30	19.00	40.00	0.1949	0.00026	0.00124	0.00019
195 R ANAN	8.60	6.40	43.00	5.40	21.50	345.60	16.00	39.00	0.3748	0.00026	0.02989	0.00037
195 R GRAN	13.10	6.40	134.00	4.80	67.00	250.00	8.00	15.00	6.0232	0.00019	0.00362	0.00023
195 R CRUC 1	12.60	7.30	183.00	7.50	91.50	159.00	6.50	12.50	12.8148	0.00017	0.00142	0.00081
195 R ANTA	13.20	6.80	429.00	5.50	214.50	0.20	8.60	15.00	0.1161	0.00037	0.00136	0.00012
195 R CRUC 2	16.30	7.50	155.00	7.10	77.50	3.90	7.00	13.00	1.8562	0.00006	0.00036	0.00086
195 R CRUC 3	16.30	7.50	155.00	7.10	94.00	3.90	7.00	14.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195 R CRUC 4	14.90	7.90	279.00	8.40	181.00	4.60	9.70	31.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 1	16.20	7.60	206.00	6.10	123.00	7.20	8.90	16.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 2	10.50	7.10	213.00	6.90	134.00	12.80	9.40	27.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R AZAN 1	16.10	7.50	255.00	4.00	296.00	9.90	5.80	11.70	0.0008	0.00021	0.00462	0.0002
019 R AZAN 2	14.00	7.40	450.00	6.20	235.00	4.70	6.50	18.00	0.2966	0.00026	0.00042	0.0003
0183 R PUCA	12.70	8.10	316.00	6.30	206.00	3.50	8.50	19.50	0.3428	0.00021	0.00475	0.00034
0179 R RAM 1	12.90	8.10	267.00	6.10	168.00	10.00	10.50	22.00	0.1233	0.00021	0.00471	0.00012
0179 R RAM 2	16.10	8.00	252.00	6.50	153.00	19.80	9.50	21.00	0.0976	0.00021	0.00264	0.0005

RESULTADOS DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

PROCEDENCIA : Hunidad Hidrográfica de Crucero, Nuñoa, Azangaro y Ramis
 INTERESADO : Ing. Bach. YONY LOPEZ CONDORI
 Laboratorio SGS del Perú S.A.C, sede Lima. Acreditados por el INDECOPI, de acuerdo a la Norma Técnico Peruana (NTP) - ISO/IEC 17025: 2006,
 Análisis de agua In situ: Temperatura C°, Ph (unidades), Conductividad Eléctrica (uS/cm), Oxígeno disuelto (mg/l)
 Análisis de agua reportados por el Laboratorio, Cu (mg/l), Pb (mg/l), Cr (mg/l), Hg (mg/l)
 MUESTREO : 15 de Mayo del 2013
 ANÁLISIS : 15 de Mayo del 2013

CODIGO	Temperatura C°	Ph (unidades)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno disuelto (% Sat)	Sólidos totales disueltos (mg/l)	Turbiedad (UNT)	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	Demanda química de oxígeno (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Hg (mg/l)
195 R LUOR	8.70	4.00	1300.00	5.61	650.00	69.20	19.50	40.95	0.239	0.0014	0.00369	0.00024
195 R ANAN	10.90	4.30	83.00	2.80	41.50	70.00	15.50	32.55	0.237	0.00021	0.0102	0.00024
195 R GRAN	10.90	5.20	98.00	3.67	49.00	26.30	7.45	15.65	1.255	0.00012	0.00087	0.00026
195 R CRUC 1	10.90	5.90	340.00	6.41	170.00	20.00	6.25	13.13	2.364	0.0001	0.0103	0.00036
195 R ANTA	11.40	5.50	770.00	5.08	385.00	2.00	7.80	16.38	0.0364	0.0008	0.00489	0.00036
195 R CRUC 2	9.70	5.90	289.00	6.26	144.50	0.20	6.50	13.65	0.0000	0.0000	0.00002	0.0000
195 R CRUC 3	13.50	8.80	409.00	8.45	203.00	8.10	10.60	18.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
195 R CRUC 4	13.00	8.70	402.00	7.50	201.00	1.20	11.60	25.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 1	14.20	8.20	790.00	6.63	395.00	0.90	9.60	20.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R NUÑO 2	13.50	8.10	684.00	5.10	99.20	9.00	8.60	18.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
019 R AZAN 1	10.30	8.50	1136.00	6.00	521.00	2.10	12.60	22.00	0.125	0.00009	0.0241	0.00013
019 R AZAN 2	13.30	8.50	705.00	5.12	364.00	1.00	11.60	18.00	0.487	0.00013	0.0156	0.00049
0183 R PUCA	10.00	7.90	853.00	8.56	320.00	2.10	9.60	21.00	0.0158	0.0001	0.00356	0.00016
0179 R RAM 1	12.20	8.10	909.00	8.50	424.00	3.70	17.60	22.00	0.0258	0.0001	0.00635	0.00026
0179 R RAM 2	8.90	8.00	733.00	6.95	367.00	3.60	13.60	17.00	0.0356	0.00021	0.00121	0.00036

ANEXO 2

CÁLCULOS ANALÍTICOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ICA

Cálculo del subíndice(I) de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

$$I_{DBO_5} = e^{(4.5824 - 0.1078DBO_5 + 2.4581 * 10^{-14} e^{DBO_5})}$$

Si $DBO_5 > 30$ mg/l, $I_{DBO_5} = 2$

Estaciones	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Setiembre	Noviembre
P-01	11.32	12.61	11.94	15.64	15.64	14.04
P-02	19.40	17.42	18.38	36.26	46.46	28.30
P-03	46.46	41.26	43.78	36.65	45.96	36.26
P-04	51.19	48.51	49.83	44.02	54.03	48.51
P-05	45.96	38.68	42.16	34.91	44.02	43.55
P-06	51.19	45.96	48.51	38.68	60.18	46.96
P-07	51.19	45.96	31.18	37.05	41.26	48.51
P-08	35.10	34.35	27.99	33.26	37.05	35.10
P-09	37.45	37.45	34.73	33.26	37.05	43.55
P-10	33.99	35.48	38.68	29.86	33.26	43.55
P-11	55.21	52.31	25.13	29.86	45.96	39.10
P-12	51.19	48.51	27.99	37.05	51.19	52.88
P-13	45.96	39.10	34.73	21.61	33.26	48.51
P-14	35.10	31.52	14.66	12.61	29.86	39.10
P-15	33.26	35.10	22.56	17.42	41.26	43.55

Cálculo del subíndice(I) de Oxígeno Disuelto (OD).

$$I_{\% Sat} = e^{(1.3663 + 0.063 \% Sat - 0.000303 \% Sat^2)}$$

Si $\% Sat > 140$, $I_{\% Sat} = 50$

Estaciones	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Setiembre	Noviembre
P-01	91.42	95.77	93.69	85.69	102.88	62.04
P-02	89.56	81.79	85.82	80.39	71.88	49.45
P-03	62.04	82.75	72.71	74.58	85.82	62.35
P-04	97.87	103.60	101.87	95.10	87.10	37.85
P-05	73.53	90.85	82.75	83.16	73.08	83.84
P-06	95.39	103.57	101.92	90.73	85.82	81.37
P-07	95.39	103.57	90.73	92.96	103.53	103.53
P-08	103.60	88.86	103.53	95.86	88.86	73.57
P-09	96.41	91.08	89.56	98.66	91.08	59.72
P-10	81.93	101.92	99.26	92.96	101.92	85.82
P-11	89.32	101.16	71.57	45.74	80.53	76.06
P-12	86.60	96.23	51.51	63.77	102.35	68.06
P-13	57.56	102.85	67.78	25.91	102.47	81.12
P-14	70.97	87.23	103.41	102.91	101.22	84.40
P-15	96.50	68.67	101.63	40.41	89.80	71.42

Cálculo del subíndice (I) de la Turbiedad.

$$I_{Turb} = e^{(4.561 - 0.0196Turb + 2.4167 * 10^{-5}Turb^2)}$$

Si Turbiedad >100 UNT, $I_{Turb} = 5$

Estaciones	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Setiembre	Noviembre
P-01	21.24	27.18	27.67	31.15	34.97	23.99
P-02	1.80	1.96	27.31	20.72	29.54	1.84
P-03	23.28	3.23	58.10	71.43	33.19	19.20
P-04	3.23	7.81	65.28	75.17	73.20	4.78
P-05	87.47	95.30	92.01	82.08	89.02	91.30
P-06	20.25	88.67	95.30	91.30	94.01	40.52
P-07	20.25	88.67	81.76	84.65	90.06	88.67
P-08	57.89	87.47	93.46	89.88	94.19	90.94
P-09	74.46	83.19	94.01	92.91	90.59	91.12
P-10	60.50	74.74	80.36	82.08	95.49	80.98
P-11	8.71	78.99	91.83	93.64	79.75	88.16
P-12	29.64	87.31	93.82	91.12	95.30	83.83
P-13	41.02	89.36	91.83	92.37	93.82	88.33
P-14	54.31	78.84	89.02	94.38	94.01	90.06
P-15	9.88	65.52	89.19	90.76	92.91	92.37

Cálculo del subíndice (I) de Solidos Totales Disueltos (ST).

$$I_{ST} = \frac{1}{0.0123 - 1.3545 * 10^{-5}ST + 9.265 * 10^{-8}ST^2}$$

Si ST >500 mg/l, $I_{ST} = 20$

Estaciones	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Setiembre	Noviembre
P-01	25.63	34.86	23.45	19.59	24.67	28.45
P-02	83.31	82.98	84.05	76.19	82.79	83.58
P-03	84.68	84.69	84.33	83.02	83.77	84.56
P-04	84.33	84.49	78.90	77.98	76.31	82.55
P-05	63.72	73.22	48.03	51.96	50.90	60.36
P-06	80.95	84.70	81.45	74.46	73.36	83.77
P-07	84.57	84.42	74.80	71.58	72.87	74.94
P-08	82.39	77.62	75.07	72.15	73.99	75.73
P-09	75.73	83.09	46.72	38.84	39.50	44.18
P-10	81.14	82.31	84.26	72.58	75.07	81.58
P-11	84.58	60.94	32.90	22.70	45.43	42.60
P-12	76.97	70.26	50.90	48.30	49.25	52.60
P-13	77.98	74.40	57.30	46.07	38.84	59.72
P-14	84.65	79.12	43.08	36.43	32.46	42.96
P-15	67.86	80.67	50.48	47.11	46.20	47.50

Cálculo del subíndice (I) de Potencial de Oxígeno (PH) .

$$I_{pH} = e^{(-7.6434pH + 18.5352 * \frac{1}{pH} + 14.625 [Ln(pH)]^2)}$$

si pH < 2 o pH > 12 Unid, I_{pH} = 0

Estaciones	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Setiembre	Noviembre
P-01	11.37	11.37	8.73	6.67	16.59	7.63
P-02	79.35	79.35	12.93	92.08	79.38	89.26
P-03	79.35	79.35	35.54	90.87	10.70	53.88
P-04	93.23	93.23	61.62	84.79	62.61	79.38
P-05	89.26	89.26	46.25	84.95	90.67	38.97
P-06	91.92	91.92	61.62	89.05	58.99	62.61
P-07	91.92	91.92	55.37	69.69	62.61	62.61
P-08	84.79	84.79	58.99	69.69	62.61	48.20
P-09	90.67	90.67	76.32	73.08	69.69	62.61
P-10	92.88	92.88	79.38	92.78	92.78	91.92
P-11	91.92	91.92	66.19	69.69	62.61	51.76
P-12	92.78	92.78	66.19	73.08	66.19	66.19
P-13	79.38	79.38	84.79	58.99	62.61	92.78
P-14	79.38	79.38	79.38	73.08	79.38	84.79
P-15	82.21	82.21	82.21	82.21	58.99	79.38

CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) EN CADA UNO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Índice de calidad del agua ICA en la estación P1: Río Lunar de Oro

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	11.3	12.6	11.9	15.6	15.6	14.0	0.4
OD % Sat	% Sat	I% Sat	91.4	95.8	93.7	85.7	102.9	62.0	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	21.2	27.2	27.7	31.1	35.0	24.0	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	25.6	34.9	23.5	19.6	24.7	28.5	0.1
pH	Unidades	IpH	11.4	11.4	8.7	6.7	16.6	7.6	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			18.3	21.3	19.6	21.4	25.3	19.3	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P2: Riachuelo Ananea

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	19.4	17.4	18.4	36.3	46.5	28.3	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	89.6	81.8	85.8	80.4	71.9	49.5	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	1.8	2.0	27.3	20.7	29.5	1.8	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	83.3	83.0	84.1	76.2	82.8	83.6	0.1
pH	Unidades	IpH	79.3	79.3	12.9	92.1	79.4	89.3	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			14.8	14.4	27.1	39.2	47.4	16.5	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P3: Río Grande, sector Chaquininas - Sandia

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	46.5	41.3	43.8	36.7	46.0	36.3	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	62.0	82.8	72.7	74.6	85.8	62.3	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	23.3	3.2	58.1	71.4	33.2	19.2	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	84.7	84.7	84.3	83.0	83.8	84.6	0.1
pH	Unidades	IpH	79.3	79.3	35.5	90.9	10.7	53.9	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			43.5	23.6	52.4	57.1	40.7	35.8	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P4: Río Crucero, después del vertimiento poblacional

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	51.2	48.5	49.8	44.0	54.0	48.5	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	97.9	103.6	101.9	95.1	87.1	37.9	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	3.2	7.8	65.3	75.2	73.2	4.8	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	84.3	84.5	78.9	78.0	76.3	82.6	0.1
pH	Unidades	IpH	93.2	93.2	61.6	84.8	62.6	79.4	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			26.6	34.1	62.1	63.1	65.2	26.2	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P5: Río Antauta, aguas abajo del puente Antauta

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	46.0	38.7	42.2	34.9	44.0	43.5	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	73.5	90.8	82.8	83.2	73.1	83.8	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	87.5	95.3	92.0	82.1	89.0	91.3	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	63.7	73.2	48.0	52.0	50.9	60.4	0.1
pH	Unidades	IpH	89.3	89.3	46.2	84.9	90.7	39.0	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			64.5	64.0	58.3	56.0	62.4	59.3	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P6: Río Crucero, 100 m aguas arriba antes de la Bocatoma el Carmen

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	51.2	46.0	48.5	38.7	60.2	47.0	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	95.4	103.6	101.9	90.7	85.8	81.4	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	20.2	88.7	95.3	91.3	94.0	40.5	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	81.0	84.7	81.5	74.5	73.4	83.8	0.1
pH	Unidades	IpH	91.9	91.9	61.6	89.1	59.0	62.6	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			45.8	69.2	69.0	63.3	72.6	51.8	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P7: Río Crucero, 300 m aguas debajo de Quilca (Baños Termales)

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	51.2	46.0	31.2	37.0	41.3	48.5	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	95.4	103.6	90.7	93.0	103.5	103.5	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	20.2	88.7	81.8	84.6	90.1	88.7	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	84.6	84.4	74.8	71.6	72.9	74.9	0.1
pH	Unidades	IpH	91.9	91.9	55.4	69.7	62.6	62.6	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			46.0	69.2	53.6	59.2	63.1	67.2	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P8: Río Crucero, antes de la unión con el río Grande

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	35.1	34.4	28.0	33.3	37.0	35.1	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	103.6	88.9	103.5	95.9	88.9	73.6	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	57.9	87.5	93.5	89.9	94.2	90.9	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	82.4	77.6	75.1	72.2	74.0	75.7	0.1
pH	Unidades	IpH	84.8	84.8	59.0	69.7	62.6	48.2	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			54.1	59.4	54.5	58.0	60.4	56.1	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P9: Río Nuñoa, antes de la unión con el río Crucero

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	37.4	37.4	34.7	33.3	37.0	43.5	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	96.4	91.1	89.6	98.7	91.1	59.7	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	74.5	83.2	94.0	92.9	90.6	91.1	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	75.7	83.1	46.7	38.8	39.5	44.2	0.1
pH	Unidades	IpH	90.7	90.7	76.3	73.1	69.7	62.6	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			59.3	61.5	57.4	55.5	56.8	58.2	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P10: Río Nuñoa, aguas arriba del vertimiento poblacional de Nuñoa

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	34.0	35.5	38.7	29.9	33.3	43.5	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	81.9	101.9	99.3	93.0	101.9	85.8	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	60.5	74.7	80.4	82.1	95.5	81.0	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	81.1	82.3	84.3	72.6	75.1	81.6	0.1
pH	Unidades	IpH	92.9	92.9	79.4	92.8	92.8	91.9	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			53.2	59.1	61.5	55.5	61.4	64.4	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P11: Río Azángaro, antes del vertimiento poblacional

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013				2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov		
DBO5	mg/l	IDBO5	55.2	52.3	25.1	29.9	46.0	39.1	0.4	
OD % Sat	% Sat	I%Sat	89.3	101.2	71.6	45.7	80.5	76.1	0.1	
Turbiedad	NTU	Iturb	8.7	79.0	91.8	93.6	79.7	88.2	0.3	
Solidos Totales	mg/l	IST	84.6	60.9	32.9	22.7	45.4	42.6	0.1	
pH	Unidades	IpH	91.9	91.9	66.2	69.7	62.6	51.8	0.1	
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			36.6	67.9	46.6	46.5	59.1	55.3	1.0	

Índice de calidad del agua ICA en la estación P12: Río Azángaro, 250 m aguas abajo del punto de vertimiento

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013				2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov		
DBO5	mg/l	IDBO5	51.2	48.5	28.0	37.0	51.2	52.9	0.4	
OD % Sat	% Sat	I%Sat	86.6	96.2	51.5	63.8	102.4	68.1	0.1	
Turbiedad	NTU	Iturb	29.6	87.3	93.8	91.1	95.3	83.8	0.3	
Solidos Totales	mg/l	IST	77.0	70.3	50.9	48.3	49.2	52.6	0.1	
pH	Unidades	IpH	92.8	92.8	66.2	73.1	66.2	66.2	0.1	
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			50.6	68.6	49.5	56.3	67.6	63.6	1.0	

Índice de calidad del agua ICA en la estación P13: Río Pucará aguas abajo del puente Calapuja

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013				2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov		
DBO5	mg/l	IDBO5	46.0	39.1	34.7	21.6	33.3	48.5	0.4	
OD % Sat	% Sat	I%Sat	57.6	102.9	67.8	25.9	102.5	81.1	0.1	
Turbiedad	NTU	Iturb	41.0	89.4	91.8	92.4	93.8	88.3	0.3	
Solidos Totales	mg/l	IST	78.0	74.4	57.3	46.1	38.8	59.7	0.1	
pH	Unidades	IpH	79.4	79.4	84.8	59.0	62.6	92.8	0.1	
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			50.6	63.2	57.1	40.6	55.0	66.6	1.0	

Índice de calidad del agua ICA en la estación P14: Río Ramis, 300 m aguas abajo del puente Achaya

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	35.1	31.5	14.7	12.6	29.9	39.1	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	71.0	87.2	103.4	102.9	101.2	84.4	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	54.3	78.8	89.0	94.4	94.0	90.1	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	84.6	79.1	43.1	36.4	32.5	43.0	0.1
pH	Unidades	IpH	79.4	79.4	79.4	73.1	79.4	84.8	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			50.9	55.2	40.4	37.7	52.9	59.2	1.0

Índice de calidad del agua ICA en la estación P15: Río Ramis, 50 m aguas arriba del puente Ramis

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$$

Parámetro	Unidad	Subíndice (I)	2013			2012			peso relativo (Wi)
			Enero	Mar	May	Jul	Set	Nov	
DBO5	mg/l	IDBO5	33.3	35.1	22.6	17.4	41.3	43.5	0.4
OD % Sat	% Sat	I%Sat	96.5	68.7	101.6	40.4	89.8	71.4	0.1
Turbiedad	NTU	Iturb	9.9	65.5	89.2	90.8	92.9	92.4	0.3
Solidos Totales	mg/l	IST	67.9	80.7	50.5	47.1	46.2	47.5	0.1
pH	Unidades	IpH	82.2	82.2	82.2	82.2	59.0	79.4	0.1
INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)			30.2	53.6	48.9	40.1	59.6	61.4	1.0

ANEXO 3

**DS N° 002-2008-MINAM, ESTABLECE “ESTÁNDARES
NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA”**

377222

NORMAS LEGALES

El Peruano
Lima, Jueves 31 de julio de 2008

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
Jefe (e)
Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

AMBIENTE

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

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

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013; En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

El Peruano
DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN

ANEXO I

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ¹⁰	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitritos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Bióidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ¹⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,005	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,005	0,006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

Descargado desde www.elperuano.com.pe

377224

NORMAS LEGALES

El Perano
Lima, jueves 31 de julio de 2008

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Benceno - 71-43-2	mg/L	0,01	0,01	**	**	**
Etilbenceno - 100-41-4	mg/L	0,3	0,3	**	**	**
Tolueno - 108-88-3	mg/L	0,7	0,7	**	**	**
Xilenos - 1330-20-7	mg/L	0,5	0,5	**	**	**
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzopireno - 50-32-8	mg/L	0,0007	0,0007	**	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0,02	0,02	**	**	**
Plaguicidas						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	**	**	**
Metamidofós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Organoclorados (COP)*:						
Aldrin - 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrin - 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrin - 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro - 76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0,00003	0,00003	*	**	**
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Carbamatos:						
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Policloruros Bifenilos Totales						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
Otros						
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**	**	**
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

NMP/100 mL Número más probable en 100 mL

* Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
ORGANOLÉPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICOQUÍMICOS.				
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DBO ₅	mg/L	**	10,0	10,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥4	≥3	≥2,5
pH	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	**	50,0	70,0
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	**	0,06	0,08
Temperatura	celsius	**delta 3 °C	**delta 3 °C	**delta 3 °C
INORGÁNICOS				
Amoniaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/l	0,00094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/l	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO3)	mg/l	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/l	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O3)	mg/l	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/l	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/l	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	** ≤83 (área restringida)		

NMP/ 100 mL. Número más probable en 100 mL.

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

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

Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

*** La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitritos (NO2-N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Picmo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-6)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

Descargado desde www.elperuano.com.pe

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratióñ	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	UNIDAD	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
Fisicoquímicos			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos-(NO3-N)	mg/L	50	
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Niquel	mg/L	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
Orgánicos			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas			
Aldicarb	ug/L	1	
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/L	0,02	

Descargado desde www.ciperuano.com.pe

Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paralión	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helminths	huevos/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL.

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	---
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	---
Clorofila A	mg/L	10	---	---	---	---
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		---	---
Niquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0031	0,0081
Silicatos	mg/L	---	---	---	---	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)

amonio: Como NH3 no ionizado

IMP/100 mL: Número más probable de 100 mL.

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

Descargado desde www.elperuano.com.pe

ANEXO 4

PANEL FOTOGRAFICO

FOTOGRAFÍA N° 01.- Vista Panorámica del sector la Rinconada (Lunar de Oro), donde se encuentra establecida la minería ilegal e informal, los residuos sólidos y líquidos sin ningún tipo de tratamiento son dispuestos a los cuerpos de agua contiguos. Al fondo se observa la Laguna Rinconada, cuerpo de agua afectado.



FOTOGRAFÍA N° 02.-Vista Panorámica del sector Lunar de Oro, cabecera de la unidad hidrográfica de Crucero, este cuerpo de agua se encuentra alterado sus características físico químicas. Por vertimientos de aguas sin tratamiento.



FOTOGRAFÍA N° 03.-Muestreo de la calidad de agua del Riachuelo lunar de Oro de la unidad hidrográfica de Crucero punto N° 1. De la red de muestreo.



FOTOGRAFÍA N° 04.-Traslado de las muestras de calidad de agua.



FOTOGRAFÍA N° 05.-Muestreo de la calidad de agua del Río Grande, sector Chaquinminas - de la unidad hidrográfica de Crucero punto N° 5. De la red de muestreo.



FOTOGRAFÍA N° 06.- Vista Panorámica del sector Ananea, en la fotografía se observa la utilización del agua para la lixiviación del mineral aurífero por las diferentes operaciones mineras, cuyas aguas residuales se vierten al cuerpo de agua del riachuelo Ananea.



FOTOGRAFÍA N° 07.- Muestreo de la calidad del agua en el Río Nuñoa, antes de la unión con el río Crucero, punto N° 9 de la red de muestreo perteneciente a la Unidad Hidrográfica de Nuñoa.



FOTOGRAFÍA N° 08.- Muestreo de la calidad del agua en el Río Nuñoa, aguas arriba del vertimiento poblacional de Nuñoa, punto N° 10, de la red de muestreo perteneciente a la Unidad Hidrográfica de Nuñoa.



FOTOGRAFÍA N° 09.- Muestreo de la calidad del agua en el río Azángaro, antes del vertimiento poblacional punto N° 11 de la red de muestreo perteneciente a la Unidad Hidrográfica de Azángaro.



FOTOGRAFÍA N° 10.- Muestreo de la calidad del agua en el Río Azángaro, 250 m aguas abajo del punto de vertimiento, punto N° 12 de la red de muestreo perteneciente a la Unidad Hidrográfica de Azángaro.



FOTOGRAFÍA N° 11.- En la fotografía se puede observar el vertimiento las aguas residuales municipales de la provincia de Azángaro, estas son vertidas directamente al cuerpo de agua del río Azángaro, afectando a su calidad para los diferentes usos.



FOTOGRAFÍA N° 12.- En la fotografía se puede observar la calibración del equipo Multiparámetro, antes de la toma de Muestras de los parámetros de la calidad del agua.



FOTOGRAFÍA N° 13.- Muestreo de agua del río Pucará, antes de la confluencia con el río Azángaro. La confluencia de estos dos ríos forma el río Ramis. Punto N° 13, este punto se tomó para observar la calidad con que viene el río Pucara y como afectara al unir con el río Azángaro.



FOTOGRAFÍA N° 14.- Muestreo de agua del Río Ramis, 300 m aguas abajo del puente Achaya. Punto N° 14, perteneciente a la unidad hidrográfica Ramis. Punto de confluencia de los dos ríos Pucara y Azanagaro.



FOTOGRAFÍA N° 15.- Muestreo de calidad de agua del río Ramis en el puente Ramis (Punto N° 15), antes de desembocar al Lago Titicaca.



FOTOGRAFÍA N° 16.- Acondicionamiento de las muestras de calidad del agua para su envío al laboratorio de calidad del agua.



FOTOGRAFÍA N° 08.- En todo los puntos de muestreo se registró la ubicación de fuentes de contaminación y los puntos de muestreo con GPS (Geografical Position System) marca Garmin, en coordenadas UTM en el sistema WGS-84 zona 19



FOTOGRAFÍA N° 08.- En todo punto de muestreo se realizó la medición de parámetros in situ como: Temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, se trabajó con el equipo Multiparámetro marca HQ40d.

