

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: CIENCIAS ECONÓMICAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS

CALIDAD Y USO DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL SAN LUCAS  
(CAJAMARCA) EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE BROWN

Para optar el Grado Académico de  
DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

M.Cs., I.Q. Flor de María García Acosta

ASESOR:

Dr. Homero Bazán Zurita

CAJAMARCA - PERÚ

2014

COPYRIGHT 2014 By  
Flor de María García Acosta  
Todos los derechos reservados

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

## ESCUELA DE POSTGRADO



## DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: CIENCIAS ECONÓMICAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA:

CALIDAD Y USO DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL SAN LUCAS  
(CAJAMARCA) EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE BROWN

Para optar el Grado Académico de  
DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:  
M.Cs., I.Q. Flor de María García Acosta

### **Comité Científico:**

Dr. Carlos Rosales Loredo  
Presidente del Comité

Dr. Corpus Cerna Cabrera  
Primer Miembro Titular

Dr. Severino Torrel Pajares  
Segundo Miembro Titular

Dr. Homero Bazán Zurita  
Asesor

Dr. Eduardo Torres Carranza  
Accesitario

Cajamarca, Perú  
2014

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor, respeto y gratitud dedico este logro profesional a cuatro personas muy importantes en mi vida, a mi madrecita que en paz descanse Carmen Victoria Acosta de García, a mi esposo Edmundo y a mis hijos Verito y Carlos.*

*También a Cynthia y a dos seres maravillosos que llenan mi corazón de alegría Juan Diego y Zoe Fabiana.*

*Gracias por darme tanto amor y felicidad.*

*Flor de María*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios cada día por haber puesto en mi camino a personas tan especiales que forman parte de mi vida, Edmundo, Verito y Carlos.*

*De manera especial agradezco a mi asesor Doctor Homero Bazán Zurita y a todos mis amigos, especialmente a los del área de Orgánica: Carlos, Marleny, Vilda, Marujita, Enrique, Luís, Juan Carlos, Salomón y Ricardo.*

*Mi profundo agradecimiento y reconocimiento al Dr. Corpus Cerna Cabrera quien compartió sus conocimientos y experiencias para el desarrollo de la presente investigación.*

## CONTENIDO

ÍTEM	PÁGINA
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE ILUSTRACIONES	vi
LISTA DE ABREVIACIONES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
<b>CAPÍTULO I</b> INTRODUCCIÓN	01
<b>CAPÍTULO II</b> MARCO TEÓRICO	06
2.1 Antecedentes	06
2.1.1 Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala, México	06
2.1.2 Índice de Calidad de Agua: IOWA	07
2.1.3 Impacto de las Descargas Antropogénicas en el Río Apatlaco México	08
2.2 Bases Teóricas	09
2.2.1 Calidad del agua	09
2.2.2 Índice de calidad de agua	15
2.2.3 Índice de calidad del agua (ICA – Brown)	18
2.2.4 Clasificación de la calidad de agua	20
2.2.5 Parámetros de la Calidad del Agua	27
2.3 Definiciones Conceptuales	34
<b>CAPÍTULO III</b> DISEÑO METODOLÓGICO	37
3.1 Tipo de Investigación	37
3.2 Localización	37
3.3 Determinación de Estaciones de Muestreo	41
3.4 Descripción del Diseño	42
3.5 Técnicas de Recolección de Muestra	43
3.6 Técnicas de Análisis de Laboratorio	44
3.7 Análisis estadístico	54

<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>55</b>
4.1	Análisis fisicoquímico, bacteriológico y estadístico de las estaciones consideradas en el presente estudio	55
4.1.1	Análisis de la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las estaciones monitoreadas.	55
4.1.2	Resumen de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en Las estaciones monitoreadas y el uso de estas aguas de acuerdo al D.S. Nº 002-2008-MINAM	87
4.1.3	Análisis Estadístico y Coeficiente de correlación de Pearson	91
4.2	Determinación del ICA de los ríos en estudio y la comparación con la clasificación de la Ley de Recursos Hídricos del Perú	92
4.2.1	Índice de Calidad de las estaciones monitoreadas	92
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>Comprobación de Hipótesis</b>	<b>95</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>99</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS</b>		<b>102</b>
<b>APÉNDICES</b>		<b>105</b>
<b>APÉNDICE 1</b>	Imágenes de estaciones de muestreo	105
<b>APÉNDICE 2</b>	Curvas de análisis	121
<b>APÉNDICE 3</b>	Parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y análisis estadístico de las estaciones monitoreadas	123
<b>APÉNDICE 4</b>	Cálculo del índice de calidad del agua aplicando la ecuación de Brown	131

## LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURAS	PÁGINA
1. Mapa de la ciudad de Cajamarca	03
2. Rangos de calificación del ICA en función del uso del agua	22
3. Variación de temperatura en el río Tres Ríos, estación 1.-Zona Corisorgona – Chamis y estación 2.-Puente Tres Ríos	55
4. Variación de pH en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	56
5. Variación de turbidez en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	57
6. Concentración de fosfatos en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	58
7. Concentración de nitratos en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	59
8. Variación de sólidos totales en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	60
9. Variación de oxígeno disuelto en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	61
10. Variación de demanda bioquímica de oxígeno en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	62
11. Variación de coliformes termotolerantes en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)	63
12. Variación de temperatura en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	65
13. Variación de pH en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	65
14. Variación de turbidez en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	66
15. Concentración de fosfatos en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	67
16. Concentración de nitratos en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	68

17. Variación de sólidos totales en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes Y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	69
18. Variación de oxígeno disuelto en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes Y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	69
19. Variación de demanda bioquímica de oxígeno en el río Ronquillo, estación 3 y estación 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	70
20. Variación de coliformes termotolerantes en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	71
21. Variación de temperatura en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	72
22. Variación de pH en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) Y estación 6 (Barrio Urubamba I)	73
23. Variación de turbidez en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	74
24. Concentración de fosfatos en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	74
25. Concentración de nitratos en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	75
26. Variación de sólidos totales en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	76
27. Variación de oxígeno disuelto en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	77
28. Variación de demanda bioquímica de oxígeno en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	78
29. Variación de coliformes termotolerantes en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)	78
30. Variación de temperatura en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	79
31. Variación de pH en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	80
32. Variación de turbidez en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	81

33. Concentración de fosfatos en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	82
34. Concentración de nitratos en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	82
35. Variación de sólidos disueltos totales en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	83
36. Variación de oxígeno disuelto en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	84
37. Variación de demanda bioquímica de oxígeno en río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	85
38. Variación de coliformes termotolerantes en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)	86
39. Temperatura y pH a lo largo de las 8 estaciones monitoreadas.	87
40. Turbidez, sólidos totales y coliformes termotolerantes a lo largo de las 8 estaciones monitoreadas.	88
41. Fosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno a lo largo de las 8 estaciones monitoreadas.	89
42. Nivel de saturación de oxígeno	121
43. Curva de calibración para la determinación de fosfatos en agua	122
44. Curva de calibración para la determinación de fosfatos en agua	122

## CUADROS

1. Calidad de agua	15	
2. Pesos relativos para cada parámetro del "ICA"	20	
3. Clasificación del "ICA" Propuesto por Brown	20	
4. Criterios Generales del Uso al que se Destina el Agua		23
5. Clasificación de las aguas superficiales y marino costeras	24	
6. Categoría 1.- Poblacional y Recreacional	25	
7. Categoría 3.- Riego de Vegetales y Bebidas de Animales	26	
8. Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático	27	
9. Estaciones de Muestreo	42	
10. Parámetros seleccionados para determinación de los ICA del agua de la Subcuenca del San Lucas de acuerdo a Brown		43
11. Calidad de uso de las aguas de los ríos Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas, D.S. N° 002-2008-MINAM.		90
12. Estadísticos descriptivos de las estaciones monitoreadas	91	
13. Correlación de Pearson entre los parámetros estudiados en las ocho estaciones monitoreadas		91
14. Resumen del índice de calidad del agua ICA en las 8 estaciones monitoreadas	93	
15. Criterios Generales del Uso al que se Destina el Agua		94
16. Comparación del Destino del Agua entre la Ley de Recursos Hídricos y el índice de Calidad del Agua	95	
17. Índice de calidad del Agua (ICA) de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua de acuerdo a categorías DS N° 002-2008-MINAM	97	
18. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación 1 – Río Tres Ríos (Zona Corisorgona – Chamis)	123	
19. Análisis Estadístico de Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación 1 - Río Tres Ríos (Zona Corisorgona – Chamis)	124	
20. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación 2 – Río Tres Ríos (Puente Tres Ríos)	124	
21. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación 2 - Río Tres Ríos (Puente Tres Ríos)	124	
22. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 3: Río Ronquillo (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)	125	

23. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 3: Río Ronquillo (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)	125
24. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 4: Río Ronquillo (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)	126
25. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 4: Río Ronquillo (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)	126
26. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 5: Río Urubamba (Barrio Urubamba II)	127
27. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 5: Río Urubamba (Barrio Urubamba II)	127
28. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 6: Río Urubamba (Barrio Urubamba I)	128
29. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 6: Río Urubamba (Barrio Urubamba I)	128
30. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 7: Río San Lucas (Puente amarillo)	129
31. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 7: Río San Lucas (Puente amarillo)	129
32. Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 8: Río San Lucas (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón – Barrio Bella Unión)	130
33. Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 8: Río San Lucas (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión)	130
34. Cálculo del ICA de la Estación N° 1.- Zona Corisorgona – Chamis	137
35. Cálculo del ICA de la Estación 2.- Puente Tres Ríos	137
36. Cálculo del ICA de la Estación N° 3.- Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	138
37. Cálculo del ICA de la Estación N° 4.- Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	138
38. Cálculo del ICA de la Estación N° 5.- Barrio Urubamba II	139
39. Cálculo del ICA de la Estación N° 6.- Barrio Urubamba I	139
40. Cálculo del ICA de la Estación N° 7.- Puente amarillo	140
41. Cálculo del ICA de la Estación N° 8.- Antes de la desembocadura	140

en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión

## **FOTOS**

- |                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Puente sobre el Río San Lucas (Jirones Amazonas y José Sabogal) | 40 |
| 2. Confluencia de la Quebrada San Vicente y Río Urubamba           | 41 |

## **GALERÍA DE FOTOS DE ESTACIONES DE MUESTREO**

- |                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Estación N° 1: Zona Corisorgona – Chamis                                                    | 105 |
| 4. Estación N° 2: Puente Tres Ríos                                                             | 107 |
| 5. Estación N° 3: Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia1  | 109 |
| 6. Estación N° 4: Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia | 111 |
| 7. Estación N° 5: Barrio Urubamba II                                                           | 113 |
| 8. Estación N° 6: Barrio Urubamba I                                                            | 115 |
| 9. Estación N° 7: Puente amarillo1                                                             | 117 |
| 10. Estación N° 8: Antes de la desembocadura en el Río Mashcón (Barrio Bella Unión)            | 119 |

## LISTA DE ABREVIACIONES

AAA	:	Autoridad Administrativa del Agua
ACA	:	Agencia Catalana del Agua - Cataluña
ALA	:	Administración Local del Agua
ANA	:	Autoridad Nacional del Agua
ECA	:	Estándar de Calidad Ambiental
EPA	:	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU
ICA	:	Índice de Calidad del Agua
INDECI	:	Instituto Nacional de Defensa Civil
LMP	:	Límite máximo permisible
MINAM	:	Ministerio de Ambiente
NMP/100 mL	:	Número más probable de 100 mL
NSF	:	National Foundation de los Estados Unidos (Fundación Nacional de Saneamiento)
O.M.S.	:	Organización Mundial de la Salud
O.P.S.	:	Organización Panamericana de la salud
PTAP	:	Planta de Tratamiento de Agua Potable
RR	:	Río Ronquillo
RSL	:	Río San Lucas
RTR	:	Río Tres Ríos
RU	:	Río Urubamba
UNT	:	Unidades de Turbidez Nefelométricas

## RESUMEN

La calidad de las aguas superficiales se ven afectadas por los cambios climáticos, la contaminación y la imparable destrucción de los ríos, así como por el mal uso y derroche del agua, lo cual también, incide en la cantidad y calidad de agua dulce, que ha colocado a la humanidad en un momento crítico; pues el agua ya no es un recurso natural barato y disponible, sino por el contrario es un recurso que se va agotando. Los ríos de nuestro país no son ajenos a esta realidad, es así como en el distrito de Cajamarca, Perú, las aguas de los ríos Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas, tributarios de la Subcuenca del San Lucas también se ven afectadas por cambios climáticos y acciones antropogénicas desarrolladas a lo largo de su recorrido. El uso de sus aguas está determinado por un conjunto de parámetros dados en la normatividad vigente; pero no se monitorea ni se evalúa continuamente la calidad de estas aguas y en base a esta vigilancia determinar el destino de uso de estas aguas y, de ser necesario, tomar las medidas correctivas para preservar y mejorar la cantidad y calidad de estas aguas. Es así que, la presente investigación tuvo como objetivo realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA), en base a ecuaciones matemáticas propuestas por Brown, lo que permitió clasificar las aguas de los diferentes tributarios de la subcuenca del San Lucas y compararlo con la clasificación contenida en la Ley de Recursos Hídricos del Perú N° 29338. Al finalizar la presente investigación se demostró en primer lugar, que existe diferencia sustancial entre los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), considerados para los diferentes usos a los que son destinados las aguas superficiales en el D.S. N° 002-2008-MINAM y el ICA, siendo este último más exigente en la ponderación de los parámetros en estudio sobre todo en lo que respecta a la presencia de coliformes termotolerantes (0,16) y al oxígeno disuelto (0,17) en aguas superficiales. Segundo, los ríos Tres Ríos, Ronquillo y la estación Barrio Urubamba II del río Urubamba califican en la categoría regular (ICA: 50 - 56); mientras que, la estación Barrio Urubamba I y las dos estaciones del río San Lucas califican en la categoría mala (ICA: 45 – 49) y tercero, el ICA – Ecuación de Brown es un método de evaluación química, que permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua para evaluar el problema de contaminación de la Subcuenca, contribuyendo a la mejor toma de decisiones para la preservación y conservación de estos acuíferos, por las autoridades responsables.

**Palabras Clave:** Calidad de agua, Subcuenca, ICA – Ecuación de Brown, Normativa.

## ABSTRACT

The quality of surface water is affected by climate change, pollution and the relentless destruction of rivers, as well as the misuse and waste of water, which also affects the shortage in quantity and quality of freshwater which has placed humanity at a critical moment; since water is no longer a cheap and available natural resource, but rather is a resource that is depleted. The rivers of our country are not oblivious to this reality, as well as in the district of Cajamarca, Perú, the waters of the rivers Three Rivers, Ronquillo, Urubamba and San Lucas, tributaries of the subwatershed San Lucas is also affected by climate change and anthropogenic activities developed along its route. The use of the water is determined by a set of parameters given in the current regulations; but not continuously monitors and evaluates the quality of these waters and based on such surveillance determine the intended use of these waters and, if necessary, take corrective action to preserve and improve the quantity and quality of these waters. Thus, the present investigation was to carry out physical, chemical and bacteriological analysis to determine the Quality Index Water (WQI), based on mathematical equations proposed by Brown, allowing classify waters of the various tributaries of the subwatershed of the San Lucas and compare the classification contained in the Water Resources Law N° 29338 of Perú. Upon completion of this investigation showed that there is substantial difference between the Environmental Quality Standards (EQS), considered for uses other than those that are intended surface waters in the D.S. N° 002-2008-MINAM and WQI, the latter being more demanding in qualifying parameters studied especially in regard to the presence of thermotolerant coliforms (0,16) and dissolved oxygen (0,17) in surface waters. In addition, rivers Three Rivers, Ronquillo and station neighborhood Urubamba II the Urubamba River qualify in the category of regular (WQI: 50 – 56); while the neighborhood Urubamba I and two stations of the San Lucas river scored in the poor category (WQI: 45-49),. As the WQI - Brown equation is a method of chemical analysis, which allows to show the spatial and temporal variation of water quality to assess the problem of contamination of the subwatershed, contributing to better decision making for the preservation and conservation of these aquifers, by the responsible authorities.

**Keywords:** Water quality, Subwatershed, WQI - Brown equation, Normative

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Las aguas superficiales de los continentes fueron las más visiblemente contaminadas durante muchos años, pero precisamente al ser tan visibles los daños que sufren, son las más vigiladas y las que están siendo regeneradas con más eficacia en muchos lugares del mundo, especialmente en los países desarrollados, quienes están preocupados por la calidad del agua de sus ríos, lagos, estuarios y zonas costeras, entre otros. Además de la contaminación, los factores climáticos, la imparable destrucción de los ríos, el mal uso y derroche del agua, son factores que contribuyen a la escasez en cantidad y calidad de agua dulce y han colocado a la humanidad en un momento crítico; pues el agua ya no es un recurso natural barato y disponible, sino por el contrario es un recurso que se va agotando, por lo que debemos asumir el compromiso de su preservación, educando a la población para que el uso del agua sea de manera racional, sustentable y resguardando su calidad.

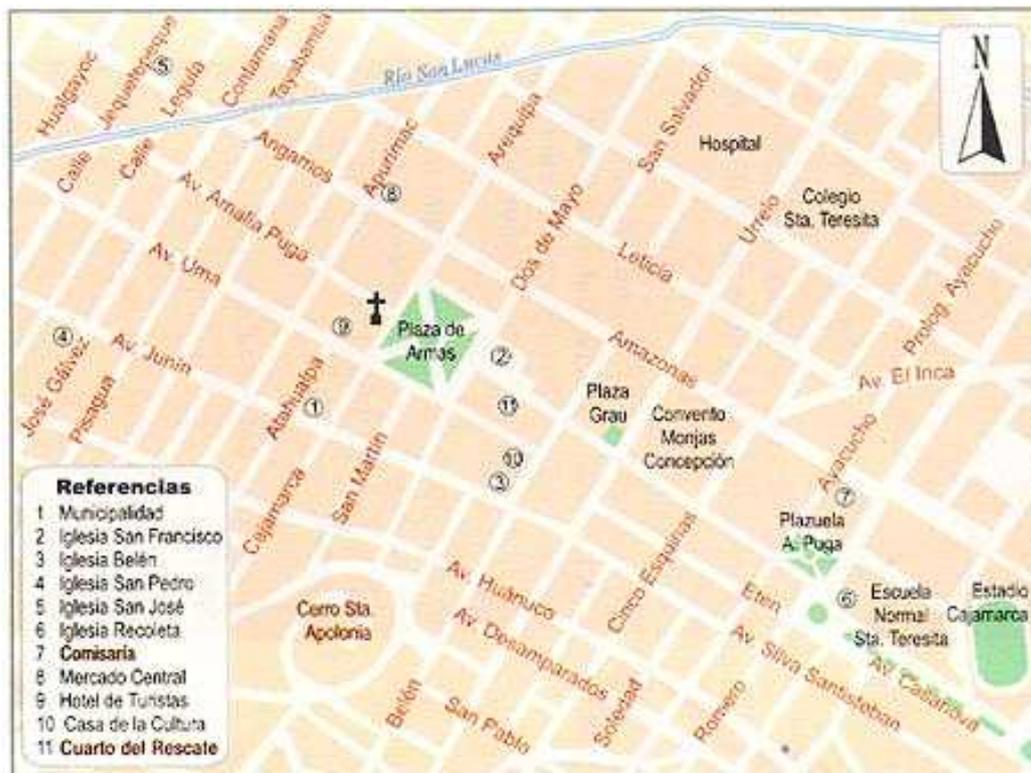
En el distrito de Cajamarca, los tributarios de la Subcuenca del San Lucas, no son ajenos a esta realidad, pues sus aguas también son afectadas por cambios climáticos y acciones antropogénicas desarrolladas a lo largo de su recorrido. Teniendo en cuenta la situación de estos ríos nos preguntamos ¿Cómo afectan los factores fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas de los ríos tributarios de la Subcuenca del San Lucas al Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown?, y ¿Qué relación existe entre el uso de agua de la Subcuenca del San Lucas en función del Índice de Calidad de Agua (ICA) con la clasificación de aguas superficiales consideradas en la Ley de Recursos Hídricos del Perú?

La calidad natural del agua de un río es el resultado de un conjunto de factores, tanto la geoquímica de la cuenca como su régimen hidrológico; así como, las características hidráulicas del sistema fluvial que influyen en su composición. Sin embargo, en nuestras sociedades modernas, esta calidad “natural” se ve afectada y muchas veces, en algunas áreas de manera drástica debido al ingreso de contaminantes de origen antropogénico, provenientes de fuentes puntuales y difusas.

La evaluación de la calidad de las aguas es una materia difícil, en la que se discute cuáles son los mejores indicadores del estado del agua. El problema reside fundamentalmente en la definición que se haga del concepto "calidad de agua". Se puede entender la calidad *como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella*, o tal cual la concibe la Ley de Recursos Hídricos del Perú N° 29338, *como aquellas condiciones que deben mantenerse en el agua para que ésta posea un ecosistema equilibrado y que cumpla con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) fijados por el Ministerio del Ambiente (D.S. N° 002-2008-MINAM).*

Una forma de expresar información de calidad de las aguas de manera integrada, es utilizando un Índice de Calidad de Agua. Existen varios tipos de índices tales como el ICG (Índice de Calidad General), ISQA (Índice Simplificado de Calidad de Agua), IAQA (Índice Automático de Calidad de Agua); pero esta investigación presenta el Índice de Calidad del Agua (ICA), NSF (Ecuación de Brown), que es una herramienta práctica que sintetiza la información proporcionada por una cantidad de parámetros en una expresión sencilla, para generar un valor numérico que permite evaluar la calidad del agua de un sistema. El ICA es muy útil para resumir grandes volúmenes de información, permitiendo una rápida interpretación de variables físicas, químicas, y bacteriológicas, así como el reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo. A su vez, se presenta como una opción viable para demostrar que: "La clasificación del uso de agua de los tributarios de la Subcuenca del San Lucas en función del Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown presenta diferencias significativas en espacio y tiempo, cuyos valores no se corresponden con la clasificación establecida en la Ley de Recursos Hídricos del Perú".

El presente estudio se desarrolla en el sistema hídrico superficial de la Subcuenca del San Lucas (Figura N° 1), que nace en el río Tres Ríos (ríos: Manzano; Balconcillo y Cushunga), el cual juntamente con los ríos Ronquillo, Urubamba y San Lucas son tributarios de esta subcuenca. El río San Lucas, atraviesa la Ciudad de Oeste a Este, hasta desembocar en el río Mashcón. El río Ronquillo constituye un cuerpo de agua de vital importancia, pues parte de sus aguas alimentan la Planta de Tratamiento de Agua "Santa Apolonia" que abastece de agua potable a un 30% de la población cajamarquina. Los cauces de los ríos San Lucas y Urubamba se encuentran obstruidos por residuos sólidos en todo su recorrido, los que en épocas de lluvia podrían desbordarse, provocando deslizamientos, que afectarían a los moradores de la zona (INDECI et al., 2003).



Fuente: Terra  
 Figura 1: Mapa de la ciudad de Cajamarca

Al recorrer las márgenes de estos ríos se observa que ellos cruzan por zonas rurales y urbanas del distrito de Cajamarca, a lo largo de sus riveras los pobladores aprovechan estas aguas para uso agrícola (siembras de papa, maíz, hortalizas, y otros productos de pan llevar), en actividades pecuarias (crianza de animales mayores y menores), vivienda, y para consumo humano, labores domésticas y entre ellas el lavado de ropa utilizando jabones y detergentes los cuales aportan fósforo a estas aguas. En los últimos años estas actividades se han incrementado considerablemente y al mismo tiempo han contribuido al incremento de biocontaminantes en este recurso hídrico (Ugarte y Marroquín, 2006). También cabe resaltar que los moradores de los alrededores a estas fuentes de agua cuentan con deficientes redes de desagüe o letrinas las cuales están a una distancia aproximada de 5 metros de los cauces acuíferos, por lo que, los desechos de animales y humanos desembocan en las aguas superficiales de estos ríos. Esto, aunado al arrojado de basura en todo el recorrido de estos ríos, sobre todo a lo largo del cauce del río San Lucas, contribuye al deterioro de las aguas superficiales de los ríos Tres Ríos, Urubamba, Ronquillo y San Lucas tributarios de la Subcuenca del San Lucas, a su vez muchos pobladores usan estas aguas para diferentes usos, sin considerar que están polucionadas y pueden generar varios daños a la salud.

Como podemos comprender toda esta problemática de sobreexplotación del recurso hídrico, se ve reflejado en el deterioro de las aguas de la subcuenca del San Lucas, lo que motiva la urgente necesidad de disponer de mecanismos de gestión y de regulación que conlleve a la protección y uso sostenible de manera eficiente y objetiva del recurso hídrico. A pesar de que es urgente monitorear estas aguas no existe información por parte de la AAA (Autoridad Administrativa del Agua) / ALA (Administración Local del Agua), acerca de la calidad de estas aguas, ni tampoco investigaciones reportadas. Las pocas evaluaciones existentes son muy localizadas y no consideran los estudios de una manera integral, es decir evaluando los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en conjunto y de una forma sistematizada que permita hacer comparaciones generales entre los afluentes de dicha subcuenca y mucho menos con otros cuerpos de agua a través del tiempo, por lo que resulta de gran importancia obtener información general de toda la subcuenca del San Lucas.

Por todo lo expuesto, planteamos la presente investigación con el objetivo principal de: *Establecer la clasificación del uso de agua de los tributarios de la Subcuenca del San Lucas en función al Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown y compararla con la clasificación de aguas establecidas en la Ley de Recursos Hídricos del Perú.* Para determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA), en base a ecuaciones matemáticas propuestas por Brown, se evaluaron parámetros físicos [temperatura, turbidez, sólidos totales]; químicos [pH, fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^{1-}$ ), demanda bioquímica de oxígeno de 5 días ( $\text{DBO}_5$ ), oxígeno disuelto (OD) y bacteriológicos [coliformes termotolerantes (coliformes fecales)], lo cual permitió clasificar las aguas de los diferentes tributarios de la subcuenca del San Lucas para posteriormente compararla con la clasificación dada por la Ley de Recursos Hídricos del Perú N° 29338 (D.S. N° 002 – 2008 MINAM), y contribuir de esta manera al conocimiento con la aplicación de nuevas herramientas para la evaluación del status ambiental de la Subcuenca San Lucas en base a la caracterización de sus componentes y estimación de los índices de calidad de sus aguas y que las autoridades responsables tomen las mejores decisiones para la preservación y conservación de estos acuíferos.

El contenido del presente trabajo de investigación ha sido estructurado en seis capítulos: En el primero figura la introducción, en el segundo se considera las bases teóricas que describe antecedentes, una síntesis de los conocimientos, así como, las definiciones conceptuales sobre el tema de investigación, el tercero relativo a la metodología de la investigación en el cual se describe el tipo de investigación, la localización de las estaciones de muestreo, análisis fisicoquímico y estadístico de los parámetros en estudio. En el cuarto capítulo se expone el análisis y discusión de los resultados, el quinto es referente a la comprobación de la hipótesis,

el sexto capítulo se presenta conclusiones y recomendaciones. Finalmente se presentan la lista de referencias y apéndices. En el apéndice N° 4 se ejemplifica el cálculo del ICA aplicando la ecuación de Brown.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES

En nuestro país no existen trabajos acerca del índice de calidad (ICA) y clasificación del tipo de agua en aguas superficiales, sin embargo, otros países monitorean las aguas de sus ríos, riachuelos, lagos y arroyos aplicando este índice de calidad y muchos de ellos han incorporado esta clasificación en su normatividad ambiental. A continuación, se exponen algunos trabajos de investigación relacionados con el ICA.

##### ***2.1.1 Índices de Calidad del Agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca LERMA-CHAPAL, (León, 1991)***

Se presenta un sistema indicador de la calidad del agua, que agrupa los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua. Se adapta y modifica un modelo propuesto en la literatura (Dinius, 1987), y se aplica a determinaciones de calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo en el sistema de la cuenca Lerma-Chapala, México.

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado, si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Con el objeto de sistematizar el cálculo del ICA, los conceptos arriba mencionados se vaciaron en un código de cómputo. Como ejemplo de aplicación, se presenta a continuación el uso del sistema en un tramo del río Lerma.

### **Aplicación del ICA en la cuenca del Lerma**

Año	OD mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	pH -	SST mg/l	ColIT NMP/100	ColIF NMP/100	NO3 mg/l	ICA
<i>Le8 - San Guillermo (Aguas Abajo de la Confluencia con el Río Guanajuato)</i>									
75		20.5 (37.6)	167 (17.3)	7.6 (92.4)	201.5 (30.9)	175 (69.1)	175 (54.6)	0.62 (100)	55.3
76		13.4 (43.6)	77 (31.8)	7.6 (92.4)	155.2 (34.8)	8,882 (41.3)	7,578 (33.6)	0.11 (100)	48.3
78			69 (34.4)	7.8 (83.5)	128.0 (48.2)			0.60 (100)	68.3
79		27.4 (34)	76 (32.2)	7.9 (79.3)	185.4 (32.1)	7,160 (42.5)	1,774 (40.5)	0.27 (100)	47.5
80		61.5 (25.6)	76 (32.2)	8.2 (68.1)	52.5 (65.3)	6,215 (43.3)	3,685 (36.9)	0.19 (100)	39.2
81		277.0 (15.1)		8.6 (55.5)	175.0 (33)	11,000 (40.2)	4,600 (36.8)		38.9
82		10.3 (47.8)	164 (17.6)	7.7 (87.8)	201.2 (31)	4,060 (45.8)	2,960 (37.9)	0.43 (100)	48.8
83		176.9 (17.7)	708 (4.6)	7.1 (100)	806.7 (16.6)	47,100 (33.2)	11,100 (32)	0.17 (100)	38.3

Fuente: León, L. (1991)

### **2.1.2 Índice de Calidad de Agua en IOWA, (IOWA, 2007)**

En 1970, la Fundación de Saneamiento Nacional desarrolló el índice de la calidad del agua (WQI), un método estandarizado para comparar la calidad del agua de los varios cuerpos del agua. En Iowa, el WQI es calculado usando ocho parámetros comunes de la calidad del agua (oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, BOD de 5 días, fósforo total, nitrato-nitrógeno, turbiedad, y sólidos disueltos total). Los valores se extienden a partir de la 0 - 100 y las corrientes se clasifican como los pobres (0-25), favorablemente (25-50), el medio (50-70), buenos (70-90), o excelentes (90-100). El WQI fue calculado en las corrientes, se supervisó la publicación mensual como parte del programa de supervisión ambiental del agua de Iowa. Para 2000-2005, el 81% de las corrientes tenían un WQI en la categoría media mientras que los 19% restantes estaban en la buena categoría.

Las corrientes en Iowa demuestran patrones estacionales de WQI. Para la mayoría de corrientes, la calidad del agua es media durante el reporte, seguido por una declinación en calidad del agua durante los meses del verano en que aún más corrientes caen de la buena categoría en las categorías medias y justas. Durante la caída, la mitad de las corrientes exhibe casi calidad del agua media mientras que el resto tiene buena calidad del agua. La calidad del agua mejora, durante los meses del invierno, con el casi 69% de las corrientes clasificadas como buenas.

### ***2.1.3 Impacto de las descargas antropogénicas en el río Apatlaco, Morelos, México. (Saldaña et al., 1996)***

La contaminación del agua en el estado de Morelos es ocasionada principalmente por los desechos industriales y municipales, los cuales han adquirido dimensiones considerables en los últimos años. Las descargas de aguas residuales medidas como DBO, anualmente aportan 44,8 millones de kg con una descarga de aguas residuales de 2 498 L/s, correspondiendo el 83 % de origen industrial y el 17 % a las de origen urbano. En el sector industrial los principales aportadores son la industria azucarera con el 65 %, la fabricación de alimentos con el 17 %, la industria textil con el 2 %, la elaboración de bebidas el 1 % y la industria química el 1 %. Los principales contribuyentes de dicha contaminación son los municipios de Zacatepec, con 49 %, Yautepec con el 21 %, Cuautla con 14 % y Cuernavaca con el 11 %

Para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en los ríos, se utilizaron los datos de la red de Monitoreo estatal de la Comisión Nacional del Agua, para el periodo 1985 - 1991, ubicándose tres estaciones en el río.

Se aplicó el Índice de Calidad del Agua (ICA), que toma en cuenta una serie de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, los cuales de acuerdo a su valor global indican el grado de contaminación y su posible uso.

En el río Apatlaco se presentan tres estaciones de monitoreo de la CNA ubicadas en los municipios de Temixco, Zacatepec y Jojutla.

El comportamiento de cada una de estas estaciones en el período 1985 - 1991 fue el siguiente: la estación Temixco registró un intervalo del ICA de 44% (1990) a 62% (1986), indicando condiciones de contaminación para agua potable, agricultura e industria y para recreación se considera de calidad aceptable en el último periodo (1990-91).

La estación Zacatepec registró un intervalo de 26% (1987) a 56% (1989). Dado que el ámbito es amplio en términos generales, se considera contaminada para agua potable, agricultura, pesca (desarrollo de organismos acuáticos) e industria y calidad aceptable para recreación. La variación anual en los años 1990-91 indica una disminución en la calidad del agua y en función de los usos, se considera que va de fuertemente contaminada a contaminada para todos los usos.

Por lo que respecta a la estación Jojutla, ésta presenta un intervalo del ICA del 23% (1991) al 53% (1989), indicando que únicamente para recreación se considera de calidad aceptable. Al igual que en las estaciones anteriores en el periodo 1990-91 se presenta una disminución en la calidad del agua, considerándose excesivamente contaminada para todos los usos.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 CALIDAD DEL AGUA

#### Definición de calidad de agua

Como se manifiesta en Lenntech, 2006 el término *calidad del agua* es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada.

De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano ([agua potable](#)), para uso agrícola o industrial, para recreación, para mantener la calidad ambiental, etc.

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la O.M.S., la O.P.S., y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro. Los valores que se presentan en las tablas de abajo son por lo tanto referenciales.

Otros autores sostienen que 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. Sin embargo, dependiendo de otros usos que se requieran para el agua, así se puede determinar la calidad del agua para dichos usos.

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 exenta de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales 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.

#### **Calidad de aguas superficiales**

El estudio de la calidad del agua, especialmente la superficial es un tema de consideración, sin embargo, la definición de calidad del agua es de difícil especificación por su complejidad.

De acuerdo con Beamonte et al., 2004, son dos los principales condicionantes de la composición química y biológica de las aguas superficiales y, en particular, de las de los ríos y canales. Por una parte, la disolución y arrastre de sustancias naturales que son propias de los terrenos por los que previamente han circulado las aguas, que podríamos definir como contaminación natural; por otra, la recepción de efluentes generados por la propia actividad humana, urbana, agrícola e industrial, que constituye la contaminación artificial.

Cualquier análisis químico - biológico de las aguas manifiesta en sí mismo el efecto conjunto de las dos contaminaciones anteriores, sin que resulte posible, en la mayoría de ocasiones, separarlas e identificarlas plenamente.

Además, existe otro factor que influye en la valoración de las contaminaciones anteriores, el caudal circulante de los ríos, influido por los estiajes o momentos de riadas y avenidas

que producen variaciones en la composición del agua en un mismo punto del cauce de los mismos.

De ahí la importancia que tiene el definir un concepto de calidad del agua que permita efectuar una abstracción total, tanto del origen como de los efectos de una determinada hidraulicidad, y que resulte de su composición en sí misma.

La creciente demanda de agua, con la correspondiente presión sobre las cuencas hídricas provinciales e interprovinciales imponen, ante el deterioro en la calidad de sus aguas, establecer sistemas de vigilancia, alerta temprana y control de la contaminación. El determinar la calidad del agua disponible es un requisito indispensable ante la función de suministrar el agua para consumo humano y abrevado de animales, el riego, la industria, fines recreativos o para la vida acuática.

Al respecto la Subsecretaria de Recursos Hídricos de Argentina, 2002 manifiesta que el estado de conservación de los recursos hídricos refleja el cuidado y preocupación tanto por el ambiente físico, como por el hombre y sus actividades en el largo plazo. La administración sustentable de nuestros recursos hídricos está por lo tanto íntimamente unida con la habilidad de garantizar tanto su cantidad y su calidad física, química y biológica.

### ***Contaminación del agua***

La polución del agua es una alteración de su calidad que provoca que su utilización sea peligrosa para determinados usos y que perturba los ecosistemas acuáticos, (Agencia Catalana del Agua, 2000). Las diferentes fuentes de contaminación según este autor son:

- ) La contaminación química, que puede ser crónica, accidental o difusa. Tiene orígenes diversos debidos al deficiente funcionamiento de algunas estaciones depuradoras de aguas residuales, la carencia de sistemas de saneamiento en algunas zonas, los vertidos accidentales o ilegales que pueden afectar a las aguas superficiales o a las aguas subterráneas por infiltración, etc.

- J) Virus y bacterias patógenos provenientes de los residuos orgánicos de animales y de seres humanos vertidos al río o al suelo que de forma natural pueden depurarse pero que, si llegan rápidamente al siguiente punto de captación, pueden provocar una contaminación microbiológica.
  
- J) La contaminación agrícola producida por la concentración de la ganadería, los abonos químicos (nitratos y fosfatos), los herbicidas, los insecticidas y otros productos fitosanitarios.
  
- J) La contaminación doméstica de las aguas negras (lavabos e inodoros) y grises (lavadoras, duchas, etc.) de una vivienda o comercio, así como las aguas pluviales.
- J) Vertido de productos contaminantes en accidentes de circulación, por dispersión en el medio de gases y líquidos tóxicos, a causa de un deficiente funcionamiento de las depuradoras de aguas residuales, etc.

### ***Autodepuración del Agua***

Cuando un medio vivo se transforma y de forma natural elimina (total o parcialmente) la contaminación que tiene se habla de autodepuración, (Agencia Catalana del Agua, 2000). Gracias a los fenómenos de filtración y de oxidación, combinados con la acción de organismos (bacterias, insectos y plantas) que viven en el medio acuático y sobre los cauces, el agua asegura su calidad y preserva el equilibrio de su ecosistema.

Si el nivel de contaminación no llega a ser crítico, el agua es capaz de autodepurarse, es decir, de eliminar progresivamente los agentes contaminantes. Pese a ello, la depuración del agua tiene sus límites y, por ejemplo, la sal o los plásticos que no son degradables alteran este fenómeno. El mantenimiento del recurso también es necesario por parte de los seres humanos y, cuando éste no se lleva a cabo regularmente, el río se degrada y el cauce y la vegetación se ven modificados.

## 🚩 Factores que determinan la calidad del agua

Según la (ACA) Agencia Catalana del Agua (2000), los factores que determinan la calidad del agua son:

**a) Factores físicos:** La calidad del agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua, entre ellas los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, la temperatura.

**b) Factores químicos:** Las actividades industriales generan contaminación al agua cuando hay presencia metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio y cromo.

La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de plaguicidas contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos.

**c) Factores biológicos - bacteriológicos:** Existen diversos organismos que contaminan el agua. Las bacterias son uno de los principales contaminantes del agua.

Los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica, pero los coliformes totales no son indicadores estrictos de contaminación de origen fecal, puesto que existen en el ambiente como organismos libres (Lenntech, 2006). Sin embargo, son buenos indicadores microbianos de la calidad de agua.

La *Escherichia coli* es la única bacteria que sí se encuentra estrictamente ligada a las heces fecales de origen humano y de animales de sangre caliente. También contaminan el agua virus, algas, protozoos y hongos.

La calidad del agua se mide por la presencia y cantidad de contaminantes y para conocerse con exactitud es necesario realizar un análisis del agua en un laboratorio especializado, existen muchas razones por las cuales un agua pierde su calidad y los seres humanos generalmente tienen una gran influencia en la presencia de los factores que favorecen esto.

Algunas de las razones son las descargas por su uso en actividades domésticas y comerciales, por su uso en actividades industriales, y por su uso en actividades agrícolas. La contaminación del agua es el proceso mediante el cual se agregan organismos o sustancias tóxicas que resultan inadecuadas para diferentes usos.

La mala calidad del agua afecta muchas actividades vitales, los efectos más evidentes del uso de agua de mala calidad se refleja en enfermedades que afectan al ser humano, entre las principales enfermedades que se vinculan directamente con el agua están las de origen digestivo, diarrea, parasitismo intestinal, cólera, fiebre tifoidea y shigelosis. Una mala calidad del agua también afecta la salud de los ecosistemas, pues la biodiversidad asociada al agua se ve afectada por la contaminación.

### **Normas de calidad de agua**

La calidad del agua establece un conjunto de condiciones, entendidas como los niveles aceptables que deben cumplirse para asegurar la protección del recurso hídrico y la salud de la población en un territorio dado.

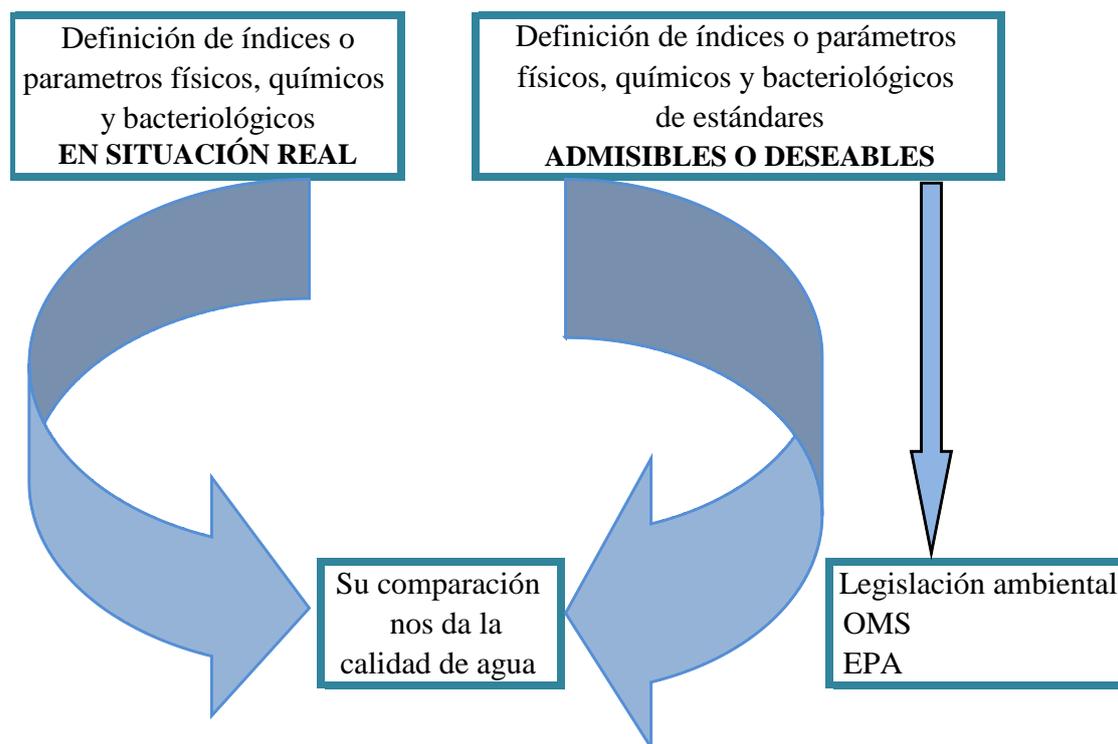
En concordancia con la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina, 2002 la determinación de los parámetros de calidad del agua debe realizarse en base a criterios físicos, químicos y biológicos, que consideran la dinámica de los procesos y elementos que los afectan, así como la capacidad del recurso o del ecosistema para soportar presiones y de su poder de autodepuración.

Estos parámetros de calidad se fijan de manera diferenciada, de conformidad con los diversos usos a los que se va a destinar el recurso (consumo humano, riego, industria, ganadería, recreación, vida acuática, etc.).

### **Como se establece la calidad del agua**

Para establecer la calidad de agua se debe tener en cuenta los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del curso de agua y los valores límites admisibles para estas aguas de acuerdo a las normas ambientales del país, sino se cuenta con el estándar de calidad se recurre a normas internacionales reconocidas o de la O.M.S. A continuación, se resume lo más importante que se debe considerar en la determinación de calidad de agua

**Cuadro 1: Calidad de agua**



Fuente: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia

### 2.2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

El agua dulce es indispensable para la vida, a diferencia de otros recursos esta es insustituible en la distribución de los biomas en la tierra y en la existencia misma de los seres humanos.

En la actualidad los recursos hídricos en su mayoría se ven expuestos a actividades antropogénicas y a fenómenos naturales que, en conjunto, amenazan cada vez más su calidad y disponibilidad de uso, lo que se traduce en una necesidad urgente de disponer de mecanismos de gestión y de regulación que apunten de manera objetiva y eficiente a la protección y uso sostenible de este recurso, una de estas herramientas lo constituyen los índices de calidad del agua. Hasta la fecha se han generado una gran cantidad de Índices dependiendo del estado del cuerpo hídrico que se pretenda estudiar (Agencia Catalana del Agua, 2000), entre ellos tenemos:

#### ❖ **Índice de calidad general (ICG)**

Es el índice más empleado en España. Es una adaptación del índice Lamontagne y Provencher del Servicio de Calidad de las Aguas del Ministerio de Riquezas Naturales del Estado de Quebec en Canadá. Es un valor adimensional obtenido a partir de 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales, de los cuales 9 se utilizan siempre (básicos) y 14 según su influencia en la calidad (complementarios). Los 9 parámetros básicos son: coliformes totales, conductividad, DBO, DQO-Mn, fósforos totales, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto y pH.

#### ❖ **Índice de Calidad de Agua (ICA)**

Es un número que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua.

#### ❖ **Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)**

Índice muy fácil de utilizar que proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero que precisa ser completado con otros índices para obtener una visión real de la situación. Se obtiene a partir de una sencilla fórmula que combina 5 parámetros fisicoquímicos.

#### ❖ **Índice automático de calidad de aguas (IAQA)**

Es una variante del ISQA, en la que se utiliza siempre COT (carbono orgánico total) como parámetro A y turbidez como parámetro B. Los valores de los parámetros se obtienen de redes automáticas de control, lo que facilita resultados en tiempo real y en continuo.

#### **Definición del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua, (Sancha et al., 2001). El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Su ventaja radica, en que la información es de fácil interpretación.

Los ICA son indicadores del estado del recurso en cuanto a su grado de afectación. Han sido formulados inicialmente para propósitos de clasificación de los cuerpos de agua, así como para interpretar las variables involucradas en un programa de monitoreo; pero en la actualidad dados sus enfoques y metodología de uso, se convierten en instrumentos que asisten en la toma de decisiones y en procesos de divulgación del estado de los recursos hídricos.

## 🚩 Usos de los Índices de Calidad de Agua (ICA)

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son seis:

**Manejo del recurso.** En este caso los índices pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.

**Clasificación de áreas.** Los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.

**Aplicación de la normatividad,** En situaciones específicas y de interés, es posible determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.

**Análisis de la tendencia.** El análisis de los índices en un periodo de tiempo, puede mostrar si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando.

**Información pública.** En este sentido, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.

**Investigación científica.** Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos ambientales.

### 2.2.3 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA – BROWN)

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad del Agua (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

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

- Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/ L)
- Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en mg/L)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987). En dicho trabajo y usando el método Delphi de encuestas (creado con el objeto de integrar efectivamente las opiniones de expertos y eliminar las desventajas colaterales de un proceso de comité), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseñó, a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

🚩 **Estimación del Índice de Calidad**

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown et al., (1970), obteniéndose a partir de una media geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^n [Q^{w_i}]$$

Dónde:

**W<sub>i</sub>:** Son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

**Qi:** Es la calidad del parámetro (i), determinada en curvas estandarizadas (NSF) en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100.

: Representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W.

La evaluación numérica del "ICA", con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown. A continuación, se detallan estos pesos relativos, (Cuadro 2).

Cuadro 2: Pesos relativos para cada parámetro del "ICA"

i	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
1	Coliformes termotolerantes	0,16
2	pH	0,11
3	DBO <sub>5</sub>	0,11
4	Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> )	0,10
5	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,10
6	Cambio de Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Sólidos disueltos Totales	0,07
9	Oxígeno Disuelto	0,17

Sub<sub>i</sub> = Parametro

#### 2.2.4 CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

##### Clasificación de la calidad de agua según el Índice de Calidad del Agua "ICA"

El "ICA" adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo "General" se clasifica la calidad del agua en base al siguiente cuadro:

Cuadro 3: Clasificación del "ICA" Propuesto por Brown

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente	Blue	90-100
Buena	Green	70-90
Regular	Yellow	50-70
Mala	Red	25-50
Pésima	Grey	0-25

Fuente: NSF (2002)

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente	Blue	91 a 100
Buena	Green	71 a 90
Regular	Yellow	51 a 70
Mala	Orange	26 a 50
Pésima	Grey	0 a 25

Fuente: Lobos, J. SNET/MARN (2002)

Las aguas con "ICA" mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un "ICA" de categoría "Regular" tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un "ICA" de categoría "Mala" pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un "ICA" que caen en categoría "Pésima" pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

### Calificación del ICA en función del uso del agua

En base a la clasificación propuesta por Brown y al panel de expertos Dinius (1987) define 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada; (EC) Excesivamente Contaminada.

En función de esta clasificación se establecieron los criterios ver (Figura 02) que a continuación se presenta:

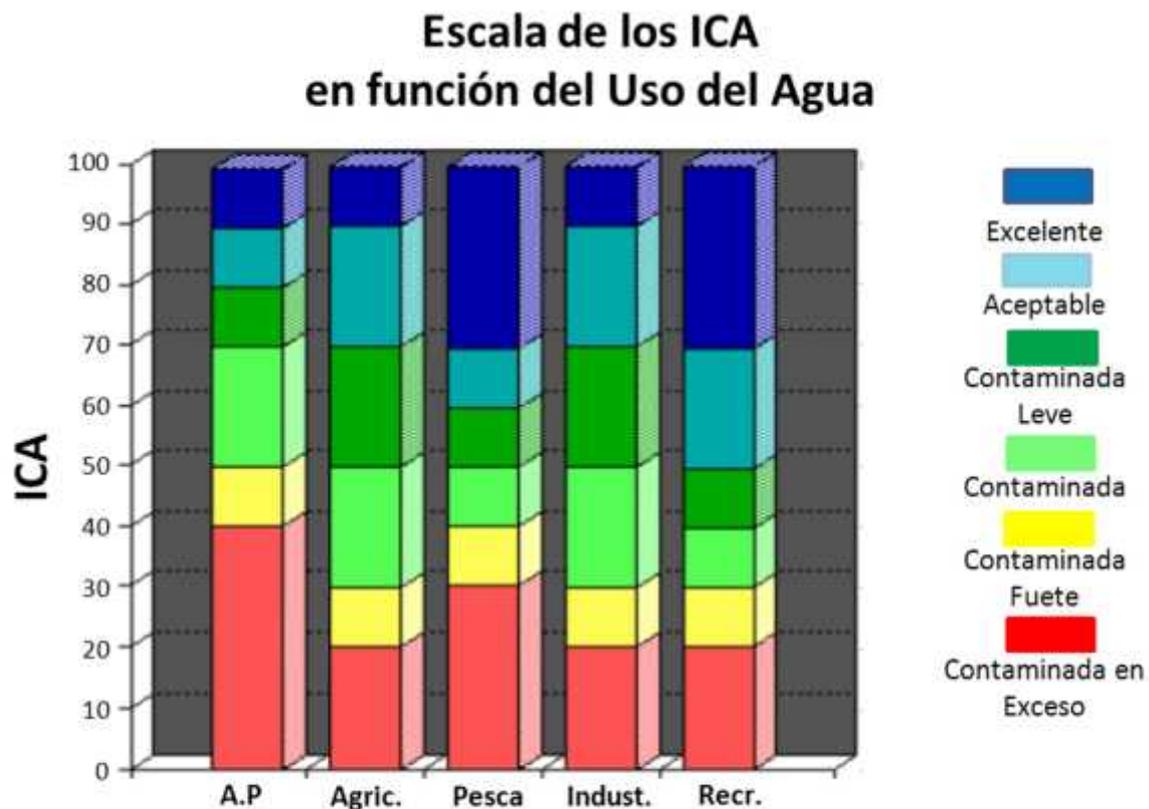


Figura 2: Rangos de calificación del ICA en función del uso del agua

Dependiendo del uso al que se destina el agua indicándose las medidas o límites aconsejables de los seis rangos del estado de la calidad del agua que propone Brown se detalla a continuación, (Cuadro 4).

**Cuadro 4: Criterios Generales del Uso al que se Destina el Agua**

Uso del agua	Rango	Estado de calidad de agua	Descripción
AGUA POTABLE	90 - 100	E	No requiere purificación para consumo.
	80 - 90	A	Purificación menor requerida.
	70 - 80	LC	Dudoso su consumo sin purificación.
	50 - 70	C	Tratamiento potabilizador necesario.
	40 - 50	FC	Dudosa para consumo.
	0 - 40	EC	Inaceptable para consumo.
AGRICULTURA	90 - 100	E	No requiere purificación para riego.
	70 - 90	A	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
	50 - 70	LC	Utilizable en la mayoría de cultivos.
	30 - 50	C	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
	20 - 30	FC	Uso solo en cultivos muy resistentes.
	0 - 20	EC	Inaceptable para riego.
PESCA Y VIDA ACUÁTICA	70 - 100	E	Pesca y vida acuática abundante.
	60 - 70	A	Límite para peces muy sensitivos.
	50 - 60	LC	Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
	40 - 50	C	Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
	30 - 40	FC	Inaceptable para actividad pesquera.
	0 - 30	EC	Inaceptable para vida acuática.
INDUSTRIAL	90 - 100	E	No se requiere purificación.
	70 - 90	A	Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
	50 - 70	LC	No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.
	30 - 50	C	Tratamiento para mayoría de usos.
	20 - 30	FC	Uso restringido en actividades burdas.
	0 - 20	EC	Inaceptable para cualquier industria.
RECREATIVO	70 - 100	E	Cualquier tipo de deporte acuático.
	50 - 70	A	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
	40 - 50	LC	Dudosa para contacto con el agua.
	30 - 40	C	Evitar contacto, sólo con lanchas.
	20 - 30	FC	Contaminación visible, evitar cercanía
	0 - 20	EC	Inaceptable para recreación.

Fuente: León L. (1991)

## Clasificación de las aguas superficiales en el Perú

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) con R.J. N° 202-2010 resuelve aprobar la clasificación de las aguas superficiales y marino costeras. Tal como se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro 5: Clasificación de las aguas superficiales y marino costeras.**

Categoría	Sub Categoría	Características
Categoría 1 Poblacional y recreacional	A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
	A1	Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
	A2	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (Floculación, sedimentación, clorificación filtración, como en Cajamarca)
	A3	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado (Lima)
Categoría 2 Actividades Marino Costeras	B	Aguas superficiales destinadas para recreación
	B1	Contacto Primario: Aguas superficiales destinadas al uso recreativo (ejemplo: baños, piscinas)
	B2	Contacto Secundario: Aguas superficiales destinadas a la recreación (ejemplo: actividades deportivas acuáticas).
	C1	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos (ostras, almejas, choros, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones y similares.
	C2	Extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto (peces, langostinos, etc.)
Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de Animales	C3	Otras actividades diferentes a las precisadas en las subcategorías C1 y C2, tales como tránsito comercial marítimo, infraestructura marina portuaria y de actividades industriales.
	Vegetales de tallo bajo	Aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (ejemplos: ajo, lechuga, fresa, col, apio, arvejas y similares)
	Vegetales de tallo alto	Aguas utilizadas para el riego de plantas, de porte arbustivo o arbóreo. (ejemplos: árboles forestales, árboles frutales, entre otros)
	Bebida de animales	Animales mayores (ejemplo: vacunos ovinos, porcinos) y menores (ejemplo: cuyes, aves, conejos)
Categoría 4 Conservación del ambiente acuático	Lagunas y lagos	Aguas en estado léntico, incluyendo humedales
	Ríos	Ríos de la costa y sierra, y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes. Ríos de la selva y sus afluentes, comprendidos en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes; en las zonas meándricas
	Ecosistemas marinos costeros	Estuarios (zona donde desembocan los ríos en el mar) Marinos

\*No se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas; y las aguas residuales tratadas para reuso.

Fuente: R.J. N° 202-2010 -ANA

## Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Mediante DS N° 002-2008-MINAM se aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA-agua). Donde se establece el nivel de concentración 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. A continuación, se detallan los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos considerados en la presente investigación.

### Estándares nacionales de calidad ambiental para agua de acuerdo a categorías

**Cuadro 6: Categoría 1.- Poblacional y Recreacional.**

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinada a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden 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
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
D.B.O. <sub>5</sub>	mg/L	3	5	10	5	10
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
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)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	**	**
Turbiedad	UNT <sup>(b)</sup>	5	100	**	100	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100mL	0	2 000	20 000	200	1 000

UNT: Unidad Nefelométrica Turbiedad

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

**Fuente: D.S. 002 – 2008 MINAM**

**Cuadro 7: Categoría 3.- Riego de Vegetales y Bebidas de Animales**

Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo  
y tallo alto

Parámetros	Unidad	Valor
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>		
D.B.O. <sub>5</sub>	mg/L	15
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N)	mg/L	10
Oxígeno Disuelto	mg/L	> = 4
pH	Unidad de pH	6,5 -8,5

Fuente: D.S. 002 – 2008 MINAM

Parámetros para riego de vegetales

Parámetros	Unidad	Vegetales Tallo bajo	Vegetales Tallo alto
		Valor	Valor
<b>MICROBIOLÓGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000 (3)

Fuente: D.S. 002 – 2008 MINAM

Parámetros para bebidas de animales

Parámetros	Unidad	Valor
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>		
D.B.O. <sub>5</sub>	mg/L	< = 15
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N)	mg/L	50
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,4
<b>MICROBIOLÓGICO</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000

**NOTA:** 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.

**Fuente: D.S. 002 – 2008 MINAM**

**Cuadro 8: Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático**

Parámetros	Unidad	Ríos
		Costa y Sierra
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	< 10
Temperatura	Celsius	
Oxígeno Disuelto	mg/L	5
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500
Fosfatos Total	mg/L	0,5
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N)	mg/L	10
<b>MICROBIOLÓGICO</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	2 000

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

NMP/100 ml: Número más probable de 100 mL

**Fuente: D.S. 002 – 2008 MINAM**

## 2.2.5 PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

### Toma de muestras en el río

Para tomar las muestras y hacer las determinaciones analíticas conviene seguir las indicaciones del *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA). En estas recomendaciones se dice que hay que hacer la recogida de muestras después de haber lavado el envase varias veces. Hay que dar un pre-tratamiento a la muestra añadiendo ácido nítrico, sulfúrico o hidróxido sódico, según los casos y trasladarlas rápidamente (8 horas en la situación más desfavorable) al laboratorio en el que se vayan a analizar. Las muestras para los análisis microbiológicos según Echarri, 1998; se deben recoger en envases adecuados y estériles.

### Parámetros de la calidad del agua

De acuerdo con la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina, 2002 se tiene que la manera más sencilla y práctica de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o relaciones de las medidas de determinados parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que se encuentra definida por ciertos estándares o criterios. El cálculo de los límites permite llegar a diferentes clasificaciones de calidad de agua de acuerdo al uso específico al que se le destine.

### **Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos considerados en la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

#### ✓ **Turbiedad**

Romero (1999), define turbiedad como la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos e incluso microorganismos, que se presentan principalmente en aguas superficiales.

El aporte al agua de vertimientos con altas concentraciones de sólidos en suspensión, coloidales o finos, aumenta la turbiedad, se disminuye la transparencia, impidiendo la penetración de la luz, disminuyendo la incorporación del oxígeno disuelto por la fotosíntesis, afectando la calidad y productividad de los ecosistemas.

## ✓ **Temperatura**

La temperatura determina la evolución o tendencia de las propiedades físicas, químicas o biológicas. El aumento de la temperatura, aumenta la solubilidad de las sales, ocasionando cambios de la conductividad y el pH.

Almeida y Martínez (2002), considera que la temperatura influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su [metabolismo](#), [productividad](#) primaria, [respiración](#) y descomposición de [materia](#) orgánica. Por ejemplo cuando la temperatura aumenta se da una proliferación del fitoplancton aumentando también la absorción de nutrientes disueltos.

Un líquido caliente que vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de las [reacciones químicas](#), en los usos del agua y en la vida de la flora y la [fauna](#) acuática, ya que puede provocar la coagulación de las [proteínas](#) de la materia orgánica y aumentar la toxicidad de algunas sustancias.

[La lectura](#) de cifras de temperatura se utiliza también en el [cálculo](#) de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en las [operaciones](#) generales de laboratorio.

Igualmente incide en los [procesos](#) biológicos, la temperatura óptima para el [desarrollo](#) bacteriano se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C. A los 15 °C las bacterias productoras de [metano](#) cesan su actividad

## ✓ **pH**

El pH o la actividad del ión hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua.

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno,

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

Dónde:  $[\text{H}^+]$  = actividad de los iones hidrógeno en mol/L

Aguinaga (1996), sostiene que 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<sub>2</sub>. El pH de las aguas naturales se debe a la composición de los terrenos atravesados, el pH alcalino indica que los suelos son calizos y el pH ácido que son síliceos, (CORANTIOQUIA, 2005). Los vertimientos ácidos, pH < 6 en corrientes de agua con baja alcalinidad ocasionan disminuciones del pH del agua natural por debajo de los valores de tolerancia de las especies acuáticas (pH entre 5 y 9), lo mismo sucede con vertimientos alcalinos pH > 9. Los vertidos de pH ácido, disuelve los metales pesados y el pH alcalino los precipitan. Además cabe señalar que el pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, (Lenntech, 2006), es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9.

#### Procesos que se ven afectados por el pH

- ✧ El pH afecta muchos procesos químicos y biológicos tales como la disponibilidad y toxicidad de nutrientes, metales y otros compuestos importantes.
- ✧ Ciertos organismos tienen un rango de pH específico en el cual crecen y se desarrollan.
- ✧ El pH que prefieren la mayoría de las especies está entre 6,5 - 8,0. Un pH fuera de este rango reduce la diversidad de las especies.

Según Almeida y Martínez (2002), los factores que alteran el pH son:

- ✧ Deposición atmosférica (lluvia ácida, nieve, partículas).
- ✧ El tipo de suelo y rocas que rodean al río.
- ✧ Descargas de agua contaminada de la industria

#### ✓ **Sólidos totales, volátiles y fijos**

Aguinaga (1996), manifiesta que los sólidos disueltos en el agua están compuestos por sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica, por su parte Lenntech (2006), afirma que el total de sólidos disueltos se debe a fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas residuales del sector industrial y urbanístico. Es un parámetro útil para conocer las relaciones edáficas y la calidad de un cuerpo de agua.

Los sólidos totales son los residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 103-105°C. Los sólidos totales incluyen volátiles y fijos. Los sólidos fijos son los residuos resultantes luego de calcinar la muestra a 550±50 °C. Los sólidos volátiles corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550±50 °C. Se determinan por diferencia de peso entre sólidos totales y fijos.

✓ **Compuestos del nitrógeno**

El nitrógeno se encuentra en el agua como gas disuelto, combinaciones orgánicas y combinaciones inorgánicas. El nitrógeno inorgánico no gaseoso se halla en forma de nitratos, nitritos y amonio, (**CORANTIOQUIA, 2005**). Los nitratos están presentes en los fertilizantes para la agricultura y como se movilizan rápidamente en el agua pueden llegar a la cadena alimenticia.

✓ **Compuestos del fósforo**

El fósforo disuelto en el agua puede proceder o bien de ciertas rocas, o del lavado en los suelos, en cuyo caso puede tener su origen en pozos sépticos o estercoleros, dependiendo la concentración de fósforo de un agua superficial de la densidad de población, ganadería, (**CORANTIOQUIA, 2005**). El fósforo se encuentra en el agua como fósforo orgánico o inorgánico, disuelto o en suspensión.

Los fosfatos son de difícil detección, en cantidades muy grandes se puede deducir que hay contaminación con detergentes. El fosfato aunque no es tóxico por sí mismo puede causar problemas para la salud del río porque favorecen la eutrofización (crecimiento de algas), lo cual trae como consecuencia el aumento en el medio de materias orgánicas, bacterias heterotrófas, que modifican el carácter fisicoquímico del agua, y hacen que disminuya el oxígeno disuelto.

✓ **Oxígeno Disuelto (OD)**

Lenntech (2006), manifiesta que la presencia de oxígeno en [el agua](#) es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la [presión](#).

Los desperdicios orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor el consumo de oxígeno. En muchas ocasiones esta falta de oxígeno es la causa de la muerte de peces y otros animales acuáticos más que la existencia de compuestos tóxicos.

*Según Almeida y Martínez (2002), los factores que afectan la concentración de oxígeno disueltoson:*

- ✧ La estación del año.
- ✧ La temperatura (el agua fría tienen mayor concentración de oxígeno disuelto que el agua caliente).
- ✧ La altitud (a mayores altitudes hay menor cantidad de oxígeno disuelto)

#### ✓ ***Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)***

Es la medida del oxígeno disuelto que se hace después de cinco días de tomada la muestra y nos da una idea de la carga de materia orgánica que hay en un río (Romero, 2005). Este parámetro mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas.

Cuando la descarga de materia orgánica es alta y se observa una DBO mayor de 10 mg/L, a corto plazo la demanda superará la producción de oxígeno, generándose un déficit que conduce a la anaerobiosis de los sedimentos, que liberan amoníaco, fosfatos y metales produciendo malos olores. Por lo tanto, la cantidad de oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la DBO, ya que si aumenta la producción de oxígeno disminuirá la DBO por la acción de las bacterias aeróbicas que degradaran sin ningún problema la materia orgánica y biodegradable. Valores de DBO mayores de 6 ppm indican alta contaminación.

#### ***Coliformes***

Según Romero (2005), los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es grande y su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de contaminación fecal (coliformes fecales o termotolerantes) con

organismos patógenos y refleja la intervención humana en ese proceso de contaminación.

Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos sino también pueden originarse de animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Aunque no es posible distinguir entre coliformes de origen humano o animal, existen ensayos para diferenciar entre coliformes totales (que incluyen los de animales y suelo) y coliformes termotolerantes o fecales (que incluyen únicamente los humanos).

Aun cuando existen organismos anaeróbicos y facultativos, la mayoría depende grandemente del oxígeno disuelto para realizar procesos propios de metabolización, lo cual lleva a que también exista relación con la temperatura, oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno.

En concordancia con Lenntech (2006), es importante medir coliformes termotolerantes porque si están sobre 200/100mL hay una gran probabilidad de que organismos patógenos estén presentes también. A este nivel la probabilidad de que una persona contraiga una enfermedad es suficientemente grande de tal manera que no debería estar en contacto con el agua.

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

La capacidad de reproducción de los coliformes termotolerantes fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Algunos géneros son autóctonos de aguas con residuos vegetales, como hojas en descomposición.

Además, Rolim (2000) sostiene que los microorganismos pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable. Por estas razones y por la existencia de bacterias que responden a la definición de coliformes que no son de origen fecal y que incluso pueden ser lactosa-negativas (apareciendo como positivas si se aplica la prueba de B-galactosidasa), el grupo de los coliformes totales tiene actualmente poca utilidad como indicador de contaminación fecal. Su uso se ha restringido para aguas tratadas.

## Fuentes de contaminación fecal

- ✧ Plantas de tratamiento
- ✧ Pozos sépticos
- ✧ Desechos animales
- ✧ Aguas urbanas

### **2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES**

**Calidad de agua.** La calidad del agua según su uso se definirá, pues, en función de un conjunto de características fisicoquímicas o variables, así como de sus valores de aceptación o de rechazo: son los indicadores de la calidad del agua. Aquellas aguas que cumplan con los estándares preestablecidos para el conjunto de variables o características consideradas serán aptas para la finalidad a la que se las destina. En caso contrario, deberán ser objeto de tratamiento o depuración previa. Incluso, pueden establecerse diferentes categorías de clasificación de calidad, atendiendo a la existencia de características físico-químicas con valores inadmisibles o, simplemente, mejorables (León, 1991).

**Clasificación de la calidad de las aguas.** Hay muchos sistemas de clasificar la calidad de las aguas. Se suele distinguir según el uso que se le vaya a dar (abastecimiento humano, recreativo, vida acuática) (Echarri, 1998).

**Contaminación.** Cualquier alteración perjudicial en las características físicas, químicas y/o bacteriológicas de las aguas (Ley 29338, 2009).

**Coliformes fecales o termotolerantes.** Se define como coliformes fecales a aquellos que fermentan la lactosa a 44,5 – 45,5 °C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. (Madigan et al., 1997).

**Estándar de Calidad Ambiental (ECA).** Son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (Ley 29338, 2009).

**Índice de la calidad de agua.** El índice de la calidad del agua, agrupa parámetros físicos, químicos y bacteriológicos más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua (León, 1991).

**Límites Máximos Permisibles (LMP).** Miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva (minería, hidrocarburos, electricidad, etc.), que al exceder causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Una de las diferencias es que la medición de un ECA se realiza directamente en los cuerpos receptores, mientras que en un LMP se da en los puntos de emisión y vertimiento. Sin embargo, ambos instrumentos son indicadores que permiten a través del análisis de sus resultados, establecer políticas ambientales (ECA) y correcciones el accionar de alguna actividad específica (LMP) (Ley 29338, 2009).

Obras humanas. Las obras construidas por el hombre, también denominadas intervenciones andrógenas, que se observan en la cuenca suelen ser viviendas, ciudades, campos de cultivo y vías de comunicación. El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos o «desnudándola» de vegetación y trayendo inundaciones en las partes bajas (Lenntech, 2006).

**Río.** Los ríos nacen en manantiales en los que surgen a la superficie aguas subterráneas o en lugares en los que se funden los glaciares. Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado y desemboca en el mar, en un lago o en otro río (Echarri, 1998).

## CAPÍTULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación no experimental, básica, de nivel correlacional y longitudinal en el tiempo.

El método que se usó corresponde al Hipotético – deductivo.

#### 3.2 LOCALIZACIÓN

Según el informe del Programa de Ciudades Sostenibles: Convenio INDECI – PNUD PER /02/051 - UNC. 2003, manifiesta lo siguiente:

Cajamarca, como ciudad, está ubicada en la parte superior oeste de la cuenca del río Cajamarquino, cuyas aguas discurren en dirección SE, teniendo como mejor referencia su Hito Geográfico ubicado en el centro de la Plaza de Armas, cuyas coordenadas UTM son:

N 9 208 535

E 774 450

Altitud: 2 720,15 m.s.n.m

La ciudad de Cajamarca tiene un clima bastante variado a lo largo de todo el año, manifestándose por el régimen de la precipitación pluvial.

En la zona se registran temperaturas máximas absolutas de 25°C y temperaturas mínimas absolutas de 0°C en los meses de junio, Julio y agosto. La temperatura media anual es de 14,2 °C; un módulo pluviométrico medio de 620 mm con tres períodos, uno lluvioso con el 55% de precipitación anual (de Diciembre hasta Marzo), un período intermedio con 36% de la precipitación anual (Abril, Septiembre, Octubre y Noviembre) y un período seco con 9% de la precipitación anual (Mayo, Junio, Julio y Agosto).

En Cajamarca son comunes los “aguaceros” o chubascones, los cuales son precipitaciones de corta duración y de alta intensidad, en áreas relativamente pequeñas; también son comunes las precipitaciones persistentes de baja intensidad y de larga duración y que además cubren extensas áreas, produciéndose importantes escorrentías superficiales.

Por su intensidad, las precipitaciones se identifican en:

- Ligera: Con intensidad menor que 2,5 mm/h
- Moderada: Con intensidad de 2,5 a 7,6 mm/h
- Fuerte: Con intensidad mayor que 7,6 mm/h

Cajamarca, presenta en sus laderas numerosas quebradas, manantiales y algunos ríos, cuyas aguas permanentes o temporales escurren hacia el valle alimentando el caudal de los ríos San Lucas y Mashcón. La zona urbana utiliza agua captada de los ríos: Porcón, Grande (Llushcapampa) y San Lucas (Ronquillo) para consumo humano, mientras que los pobladores ubicados en la parte alta de la Ciudad utilizan agua de manantiales y quebradas existentes.

La zona urbana de mayor densidad es atravesada por las quebradas: Negro Mayo, Calispuquio , Romero y el río San Lucas. Uno de los subsistemas del Sistema de Producción y Distribución de agua potable administrado por la E.P.S. SEDACAJ S.A., es Santa Apolonia, dicho subsistema tiene un caudal de operación de 60 L/s que abastece al 33% de la población de la Ciudad de Cajamarca cuya captación está ubicada en el Ronquillo con una cota de 2 823 m.s.n.m. y la planta de tratamiento está ubicada en Santa Apolonia.

### **Río San Lucas**

Este río es una de las fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad de Cajamarca, también el más estudiado por diferentes profesionales e instituciones debido a los problemas de desbordes en los meses más lluviosos (Enero; Febrero y Marzo), ocasionando daños materiales y personales en la zona baja de la ciudad, especialmente en las cotas 2 711 m.s.n.m. y 2 744 m.s.n.m. donde la sección del cauce se obstruye debido al transporte de sedimentos, basura y restos vegetales; motivo por el cual se ha canalizado desde la cota 2 711 m.s.n.m. hasta la cota 2 761 m.s.n.m. Sin embargo el cauce sigue contaminado con severidad en los meses de estiaje, debido a la descarga de

desagües de algunas viviendas que colindan con la orilla y a la acumulación de basura que los moradores arrojan al cauce.

El río San Lucas fluye de Oeste a Este, atravesando la ciudad de Cajamarca hasta desembocar en el río Mashcón. No existe estación limnimétrica en ningún punto de su recorrido, tan sólo algunos aforos muy puntuales realizados por parte de Bachilleres de la Facultad de Ingeniería de la U.N.C., en la cota 2 823 m.s.n.m. (captación de agua para consumo humano de la Ciudad de Cajamarca), obteniéndose los siguientes caudales:

Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
17/04/1999	0,573
15/05/1999	0,561
30/05/1999	0,506

Sin embargo, en los meses lluviosos la escorrentía superficial se incrementa considerablemente, la cual actualmente sólo se puede estimar con la fórmula Racional.

Los tributarios más importantes del río San Lucas son los ríos: Tres Ríos, Ronquillo y Urubamba. Considerando como punto de descarga la cota 2 711 m.s.n.m., el área de la cuenca es de 67,18 km<sup>2</sup> y el recorrido del cauce principal es de 16,4 km. Otra particularidad de la cuenca del San Lucas, es la existencia de un área muy deleznable en la zona Urubamba. Si ocurriera una precipitación de fuerte intensidad durante algunas horas, toda esa masa se deslizaría hacia el cauce del río San Lucas.



Es notoria la contaminación del río

### **Tramos sedimentables del río San Lucas**

Se observa acumulación de sedimentos y basura entre las cotas 2 744 m.s.n.m. (intersección con el Jr. Dos de Mayo) y 2 711 m.s.n.m. (intersección con la Av. Manuel Seoane).

### **Caudal de máximas avenidas del río San Lucas**

De acuerdo al método Racional, el Coeficiente de esorrentía se estima en 0,51 según las características geomorfológicas y de cobertura vegetal del área de drenaje del río. La intensidad media máxima se ha obtenido de la familia de curvas Intensidad-Frecuencia-Duración de la estación Cumbe Mayo, ubicada a una altitud de 3 410 m.s.n.m., cuyas características geomorfológicas y climáticas son las mismas que de la cuenca del río San Lucas.

Se ha seleccionado como punto de descarga el cruce de la quebrada con la Av. Manuel Seoane. El caudal máximo resulta de 63,45 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un período de retorno de 25 años, por ser un colector natural de drenaje urbano.

## Identificación y Evaluación de Peligros Antrópicos

El río San Lucas es receptor de los ríos Tres Ríos, Ronquillo y Urubamba; además de la quebrada San Vicente, los cuales cruzan la ciudad de SW a NE. En la parte más SE, se encuentran en estado casi natural y limpios; sin embargo desde su intersección con la Av. Perú hasta la Vía de Evitamiento en el borde SE de la ciudad se encuentra fuertemente contaminado por la basura, excretas y aguas negras, colmatando residuos sólidos y líquidos que la población de éstos sectores lanzan hacia el cauce, los cuales producen focos de contaminación de alta peligrosidad, especialmente durante las épocas de estiaje por la falta de agua que discurran por los cauces.



confluencia de la Quebrada San Vicente y Rio Urubamba

### 3.3 DETERMINACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO

Las estaciones de muestreo determinadas en las aguas de los ríos Tres Ríos (ríos manzano, Balconcillo y Cushunga), Ronquillo, Urubamba y San Lucas, tributarios de la Subcuenca San Lucas, fueron seleccionadas bajo el criterio de representatividad, accesibilidad y grado de conservación. Se determinaron 08 estaciones de muestreo (Anexo 1), las cuales se detallan a continuación:

**Cuadro 9: Estaciones de Muestreo**

ESTACIÓN Nº	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD m.s.n.m	COORDENADAS	
			LATITUD SUR	LONGITUD OESTE
1	Tres Ríos (Corisorgona - Chamis)	2924	7° 08'57,36''	78° 32'45,42''
2	Tres Ríos (Puente Tres Ríos)	2921	7° 08'59,84''	78° 32'42,51''
3	Ronquillo (Antes de la zona de captación)	2864	7° 09'18,47''	78° 32'15,12''
4	Ronquillo (Después de la zona de captación)	2834	7° 09'25,22''	78° 32'10,64''
5	Urubamba (Barrio Urubamba II)	2840	7° 09'34,10''	78° 32'06,13''
6	Urubamba (Barrio Urubamba I)	2815	7° 09'31,55''	78° 31'46,97''
7	San Lucas (Puente Amarillo)	2695	7° 09'33,58''	78° 30'21,26''
8	San Lucas (Antes de la desembo- cadura en el río Mashcón)	2660	7° 09'52,00''	78° 28'44,16''

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

1. Selección de estaciones de muestreo (Cuadro N° 9)
2. Delimitación de las estaciones de muestreo (Cuadro N° 9)
3. Preparación de reactivos y soluciones
4. Elaboración de las curvas de calibración para la determinación de fosfatos y nitratos.
5. Selección de parámetros fisicoquímicos y bacteriológico (Cuadro N° 10)
6. Toma de muestras
7. Análisis de laboratorio

**Cuadro 10: Parámetros seleccionados para determinación de los ICA del agua de la Subcuenca del San Lucas de acuerdo a Brown**

N°	PARÁMETROS	TIPO DE PARÁMETRO		
		Físico	Químico	Bacteriológico
1	Temperatura °C	X		
2	Turbidez (UNT)	X		
3	Sólidos disueltos totales (mg/L)	X		
4	Oxígeno Disuelto (OD en % de saturación)		X	
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO <sub>5</sub> en mg/ L)		X	
6	pH (en unidades de pH)		X	
7	Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> en mg/L)		X	
8	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> en mg/L)		X	
9	Coliformes fecales o termotolerantes (NMP/100 mL)			X

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras fueron recogidas mensualmente durante 1 año. El periodo de muestreo comprendió de abril de 2013 a marzo de 2014. Las muestras fueron tomadas lejos de las orillas y en la corriente principal o lo más cerca posible. El muestreo, transporte y conservación de las muestras se realizó de acuerdo con las recomendaciones de la APHA (1992 y 2005).

## **Toma y conservación de muestras**

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de representar con exactitud el material de donde procede. Esto implica que la proporción o concentración relativa de todos los componentes fueron las mismas en las muestras que en el material de donde proceden, y que dichas muestras fueron manejadas de tal forma que no se produjeron alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas correspondientes.

### **Toma de muestras**

1. *Procedimientos de cadena de vigilancia:* Es esencial asegurar la integridad de la muestra desde su toma hasta la emisión del informe. A continuación, se resumen los principales pasos de esta cadena:
  - a) Etiquetado de la muestra. Se detalló en la etiqueta número, fecha, hora y lugar donde se tomó cada una de ellas.
  - b) Las muestras antes de sellarlas fueron llenadas a rebosar para evitar espacios vacíos y de esta manera se pierdan orgánicos volátiles.
  - c) Sellado de la muestra. Se utilizó sellos adhesivos en los cuales se consignó el número y lugar donde hizo el muestreo.
  - d) Libro de registro de campo. Toda la información detallada anteriormente se registró en un cuaderno de campo, en el cual también se consigna todos los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de cada una de las muestras.
  - e) Traslado de muestras al laboratorio. Se trasladaron al laboratorio inmediatamente después de concluir con la etapa de muestreo.
2. *Método de toma de las muestras.* Se tomaron manualmente cada una de las muestras.
3. *Envases de las muestras.* Se utilizaron envases de plástico debidamente esterilizados para cada una de las muestras.

### **Conservación de muestras**

- a) Se determinó la temperatura y pH en el momento que se tomó la muestra.
- b) Las muestras se conservaron a una temperatura de 4 °C, para evitar la biodegradación de las mismas.

### 3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Luego de la toma de muestras en las estaciones antes mencionadas, estas fueron trasladadas al laboratorio de Química Orgánica de la Universidad Nacional de Cajamarca para su análisis correspondiente. Se utilizaron las técnicas estandarizadas de la APHA y se detallan a continuación:

Nº	PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA
1	Temperatura	°C	Termometría
2	Turbidez	UNT	Nefelometría
3	Sólidos disueltos totales	mg/L	Gravimetría
4	Oxígeno Disuelto (OD)	% de saturación	Iodometría
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	Dilución
6	pH	Unidades de pH	Electrometría
7	Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> )	mg/L	Espectrofotometría
8	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Espectrofotometría
9	Coliformes termotolerantes (fecales)	NMP/100 mL	Fermentación en tubo múltiple

**Fuente:** Elaboración propia

#### 1. TEMPERATURA

Normalmente, las medidas de temperatura se realizan con un termómetro Celsius de mercurio, con una escala que tenga marcas cada 0,1 °C sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrado rápido.

#### 2. TURBIDEZ

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra.

***Técnica: Nefelometría***

Agítense cuidadosamente la muestra. Espérese hasta que desaparezcan las burbujas de aire, y viértase la muestra en el tubo del turbidímetro. Léase directamente la turbidez en la escala del aparato. Si la turbidez es superior a 40 UNT, se debe diluir la muestra con unos o más volúmenes de agua libre de turbidez hasta que ésta descienda a 30 – 40 UNT.

**3. SÓLIDOS TOTALES**

Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los «sólidos totales suspendidos», o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los «sólidos disueltos totales» o porción que atraviesa el filtro.

**SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN SECADOS A 103 – 105 °C**

***Técnica: Gravimetría***

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se sea a un peso constante a 103 – 105 °C. El aumento del peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

***Procedimiento***

Móntese el aparato de filtrado y el filtro e iníciase la succión. Ajuste el filtro, humedeciendo éste con una pequeña cantidad de agua destilada. Fíltrese un volumen medido de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lávese con tres volúmenes sucesivos de 10 mL de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados, y continúe succionando durante unos tres minutos después de terminar el filtrado.

Sepárese cuidadosamente el filtro del aparato y trasládese a una plancha de aluminio o de acero inoxidable. Séquese en horno a 103 – 105 °C durante una hora al menos, enfríese en un desecador para equilibrar la temperatura y pésese. Repetir el ciclo de desecación y pesado hasta obtener un peso constante.

## **Cálculos**

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión/L} = \frac{(A - B) \times 1\,000}{\text{volumen de la muestra}}$$

donde:

A: peso del filtro + residuo seco, mg

B: peso del filtro, mg

## **4. OXÍGENO DISUELTO (OD)**

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas.

### ***Técnica: Iodometría***

Este método es el procedimiento titulométrico más exacto y fiable para analizar OD. Se basa en la adición de solución de manganeso divalente, seguido de álcali fuerte, a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio. El OD oxida rápidamente una cantidad equivalente de manganeso divalente. En presencia de iones yoduro y en solución ácida se libera iodo equivalente al contenido original de OD.

### ***Procedimiento***

A la muestra recogida en un frasco de 250 a 300 mL se añade 1 mL de solución de sulfato de manganeso ( $\text{MnSO}_4$ ) y después 1 mL de reactivo álcali – yoduro – azida. Tápese con cuidado para excluir las burbujas de aire, y mézclase invirtiendo varias veces.

Cuando se deposita la mitad de precipitado añada 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado para formar un sobrenadante claro encima del hidróxido de manganeso floculado. Vuélvase a tapar y mézclase hasta disolución completa. Titúlese con solución 0,025 M de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  hasta color paja pálido, añádase unas gotas de solución de almidón y continúese valorando hasta la desaparición del color azul.

## **Cálculos**

$$1 \text{ mL Na}_2\text{SO}_3 = 1 \text{ mg OD/L}$$

## **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) DE 5 DÍAS**

Para evaluar la cantidad total de materia orgánica presente en aguas limpias y residuales se utiliza este método. Esta prueba mide el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica.

### ***Técnica: Dilución***

## **PRUEBA DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DE 5 DÍAS**

El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético de tamaño específico, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el DBO se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final. Debido a que el OD se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluida la que ocurre durante los 15 primeros minutos, se incluye en la determinación del DBO.

### ***Procedimiento***

Hágase varias diluciones de la muestra preparada para obtener captación de OD en dicho intervalo. Utilice diluciones del 25% al 100%. Prepárense las diluciones en probetas y pásense a frascos de vidrio especiales para DBO. Determínese inmediatamente el OD inicial en uno de los frascos. Tápese los otros frascos herméticamente e incúbese durante 5 días a 20°C.

Emplee un blanco de agua de dilución, como un control aproximado de la calidad del agua dilución, selle herméticamente el frasco que contiene el blanco de dilución e incúbese junto con las muestras.

Después de 5 días de incubación, determínese el OD en las diluciones de la muestra, en el blanco.

## Cálculos

$$\text{DBO}_5, \text{ mg/L} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

donde:

$D_1$ : OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/L

$D_2$ : OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, mg/L

$P$ : fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada

## 5. COLIFORMES FECALES O TERMOTOLERANTES

La prueba para coliformes fecales (con medio EC) es aplicable al estudio de la contaminación de corrientes, aguas naturales, sistema de tratamiento de aguas residuales, etc.

### ***Técnica: Fermentación en Tubo Múltiple (NMP)***

Prueba para Coliformes Fecales (Medio EC)

La prueba para coliformes fecales permite diferenciar entre los coliformes de origen fecal (intestino de los animales de sangre caliente) y los procedentes de otras fuentes.

#### *Medio de Cultivo EC*

Triptosa	20,0 g
Lactosa	5,0 g
Mezcla de sales biliares	1,5 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4,0 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,5 g
NaCl	5,0 g

Agua destilada

1 L

🌈 Añádase los ingredientes deshidratados al agua, mézclese cuidadosamente y caliéntese para disolverlos.

### ***Procedimiento***

La técnica de fermentación en tubos múltiples para la determinación de coliformes fecales o termotolerantes consta de dos fases: la fase presuntiva y la fase confirmatoria. En cada tubo colocar un tubo Durham invertido y esterilizar en autoclave. Tener la precaución de que en el momento de iniciar la prueba no estén a la temperatura de refrigeración y cuidar de que ninguno de los tubos presente burbujas producidas en el momento del autoclavado.

Siembra de 10 tubos, cada tubo con 10 mL de muestra.

#### *Prueba presuntiva*

Homogeneizar agitando un número no menor de 25 veces, inclinando el frasco que contiene la muestra de agua. Con una pipeta estéril, sembrar 10 mililitros de muestra en cada uno de los 10 tubos que contienen medio de cultivo EC. Verificar que en cada tubo haya un tubo Durham. Incúbense los tubos inoculados en un baño de agua a  $35,5 \pm 0,5$  °C durante  $24 \pm 2$  horas y agítese cada tubo.

#### Interpretación

Examinar la producción de gas. Retirar los tubos con resultado positivo (producción de gas, retenido en el tubo Durham; no es importante la cantidad de gas) y anotar los resultados. Reincúbese y vuélvase a examinar al final de  $48 \pm 3$  horas. Solamente se llevarán a la fase confirmatoria los tubos que den resultado positivo.

#### *Prueba confirmativa*

La prueba confirmativa para coliformes termotolerantes se realizará sembrando todos los tubos positivos de la prueba presuntiva en tubos con 10 mililitros de caldo EC. Después de la siembra, agitar cada uno de los tubos inoculados. Incúbese los tubos en un baño de agua a  $44,5 \pm 0,2$  °C durante  $24 \pm 2$  horas.

## **Interpretación**

Se considera como reacción positiva la aparición de gas en un medio EC a las 24 horas o menos de incubación.

## **Resultados**

Los resultados se expresan en:

NMP de coliformes fecales o termotolerantes /100 mL

## **6. pH**

La prueba del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. El pH o la actividad del ión hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua.

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno,

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$[\text{H}^+]$  = actividad de los iones hidrógeno en mol/L

### ***Técnica: Electrometría***

El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia.

### ***Procedimiento***

- a) Calibrar el instrumento (seguir las instrucciones del medidor de pH).
- b) En la calibración se usan como mínimo dos de las soluciones buffer, cuyos valores de pH deben cubrir el rango de pH esperado por la muestra a medir.

- c) Medir el pH de la muestra indicando la temperatura de la misma. Realizar la medida con una agitación moderada para minimizar la entrada de dióxido de carbono y suficiente como para homogeneizar la muestra.
- d) Una vez finalizada la medida enjuagar y secar suavemente los electrodos y proceder a ubicarlos en la solución de preserva de los mismos.

### **Resultados**

Los resultados se deben reportar en unidades de pH con una precisión de 0.1 y la temperatura con una precisión de 1 °C.

## **7. NITRATOS (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

El nitrito considerado como una etapa intermedia en el ciclo del nitrógeno puede estar presente en el agua como resultado de la descomposición biológica de materiales proteicos. En aguas superficiales crudas, las huellas de nitritos indican contaminación. También se puede producir el nitrito en las plantas de tratamiento o en los sistemas de distribución de agua, como resultado de la acción de bacterias sobre el nitrógeno amoniacal.

### **Técnica: Espectrofotometría**

Los nitratos absorben la radiación ultravioleta a la longitud de onda de 220 nm. La materia orgánica también absorbe a 220 nm, por consiguiente, es necesario realizar la corrección de la absorbancia midiendo a 275 nm donde los nitratos no absorben. La concentración de nitrato se determina mediante una curva de calibración.

### *Soluciones*

Solución stock de nitrato de potasio, 100 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> N/L: secar el nitrato de potasio a 105°C durante 24 hs. Disolver 0,7218 g en agua destilada. Agregar 2 mL de cloroformo para preservar la solución y diluir a 1000 mL en matraz aforado.

Solución intermedia de nitrato de potasio, 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> N/L: diluir diez veces la solución stock de nitrato con agua destilada y agregar 2 mL de cloroformo.

## **Procedimiento**

*Curva de calibración:*

- a) Preparar soluciones estándares de nitrato en un rango entre 0 y 7 mg N/L por dilución de la solución intermedia de nitrato.
- b) Medir la absorbancia de los estándares a 220 y 275 nm contra un blanco de agua.
- c) Graficar Absorbancia corregida vs concentración de nitrato.

## **Cálculos**

La absorbancia corregida se calcula como:

$$\text{Abs. nitratos} = (\text{Abs}_{220} - \text{Abs}_{275})$$

La concentración de nitratos se obtiene con la curva de calibración y el valor de absorbancia corregido. Los resultados se expresan como:

$$\text{mg/L de nitrato como nitrógeno (mg NO}_3\text{ }^-\text{ N /L)}$$

## **8. FOSFATOS (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)**

En muchas aguas naturales el fosfato se presenta en huellas y a menudo en cantidades apreciables en periodos de baja actividad biológica.

Las huellas de fosfato estimulan la proliferación de las algas en embalses de agua.

### ***Técnica: Espectrofotometría***

La determinación del fosfato por este método se basa en su reacción con el molibdato amónico dando lugar a un complejo de fosfomolibdato que, por la acción del ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico, se reduce a azul de molibdeno. La intensidad de la coloración es proporcional a la cantidad de fosfato y se lee con el espectrofotómetro. De la curva de calibrado obtenida con una serie de soluciones estándar se deduce el contenido en fosfato.

### **Procedimiento**

Pipetear 50,0 mL de muestra en un Erlenmeyer de 125 mL, luego se agregan 2,0 mL de solución de ácido molíbdico y se mezcla por rotación. Se agregan 2,0 mL de ácido aminomaftolsilfónico y se mezcla de nuevo. A los cinco minutos medir la extinción de la muestra por comparación con agua destilada sometida al mismo tratamiento que la muestra. La longitud de onda se fijará en 650 nm.

#### *Curva de calibración:*

- a) Solución madre de fosfato: pesar 0,7165 g de fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) previamente secado y aforar a 1000 mL con agua destilada.

$$1,0 \text{ mL} = 0,500 \text{ mg PO}_4^{3-}$$

Preparar soluciones estándares de fosfato en un rango entre 5 a 30 mL de solución madre, aforarlos a 100 mL con agua destilada y medir la absorbancia de los estándares a 650 nm contra un blanco de agua destilada.

- b) Graficar Absorbancia vs concentración de fosfato.

### **Cálculos**

$$\text{mg/L PO}_4^{3-} = \frac{\text{mg PO}_4^{3-} \times 1.000}{\text{mL de muestra}}$$

### **3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico se realizó aplicando el programa IBM SPSS STATISTICS 19, para determinar:

1. Los estadísticos descriptivos de todos los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos considerados en el estudio de las ocho estaciones monitoreadas. Los valores estadísticos: media, desviación estándar, mediana varianza y percentiles, se muestran en el apéndice 3 (cuadros 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 y 26).

2. La correlación entre variables a través del coeficiente de Pearson ( $r$ ) que se presenta en capítulo IV.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.2 ANÁLISIS FISCOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LAS ESTACIONES CONSIDERADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO

##### 4.1.1 Análisis de la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las 8 estaciones monitoreadas.

###### ✧ Río Tres Ríos

Los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y estadísticos de las dos estaciones monitoreadas en este río se presentan en apéndice 3 (cuadros 11 y 13).

***En este río se consideró dos estaciones:***

- a) Estación 1: Corisorgona - Chamis
- b) Estación 2: Puente Tres Ríos

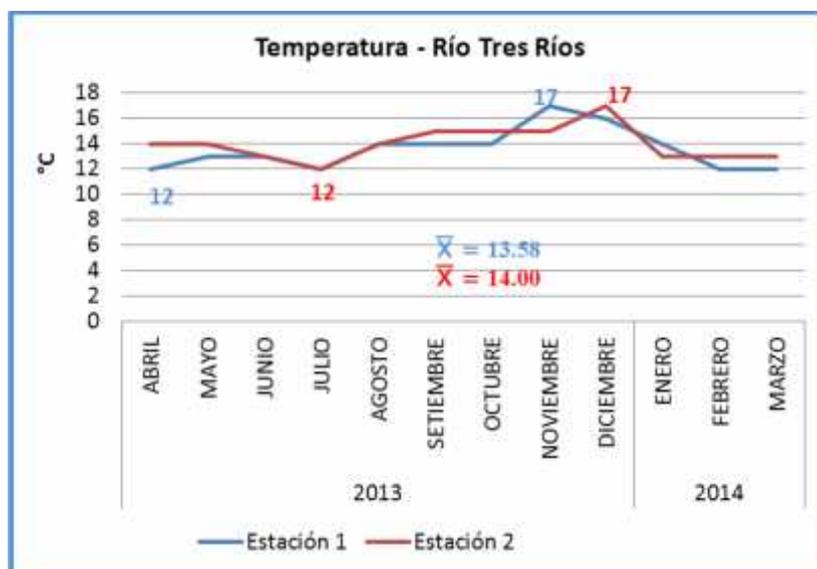


Figura 3: Variación de temperatura en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

La temperatura muestra un comportamiento espacial a lo largo del río Tres Ríos con una clara tendencia a incrementarse aguas abajo, este parámetro es importante para determinar el ICA. Además se debe tener en cuenta que la temperatura influye de forma muy significativa en las especies acuáticas, en la descomposición de materia orgánica y aumenta la absorción de nutrientes disueltos (Almeida y Martínez, 2002) De acuerdo con ello apreciamos en la figura que la temperatura en las dos estaciones del río Tres Ríos varía con en tiempo y espacio pues las temperaturas en esta zona que se encuentra entre los 2 924 y 2 921m.s.n.m son más bajas en comparación con la parte baja de la ciudad de Cajamarca. A continuación, se detalla esta variación de temperatura por estaciones: *estación 1* (zona de Corisorgona – Chamis) se tiene una temperatura mínima de 12°C en el mes de abril y una temperatura máxima de 17°C en noviembre, con una desviación estándar de  $\pm 1,62$  y una temperatura media de 13, 58°C. En la *estación 2* (puente Tres Ríos) se tiene una temperatura mínima de 12°C (julio) y una temperatura máxima de 17°C (diciembre), con una temperatura media de 14°C y  $\pm 1,35$  de desviación estándar.

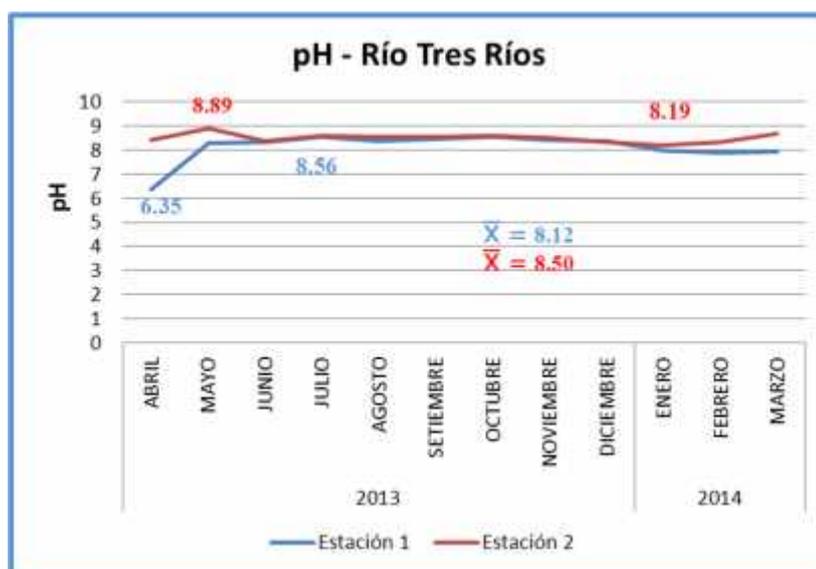


Figura 4: Variación de pH en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

El pH o la actividad del ión hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua. (CORANTIOQUIA, 2005), el pH puede afectarse por componentes químicos en el agua, siendo un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 (Lenntech, 2006). Teniendo en cuenta ello los resultados indican que en la *estación 1* se registra un pH entre 6,35 (abril) y 8,56 (julio), con una desviación estándar de  $\pm 0,60$  y un pH promedio de 8,12 y en la *estación 2* el pH mínimo es 8,19 en el mes de enero y el máximo es de 8,89 en abril, el pH promedio es de 8,50 y la

desviación estándar es  $\pm 0,18$  lo que nos permite afirmar que de acuerdo con la teoría el agua en estudio cumple con el requisito de aceptable. Además, estos resultados nos indican que el pH de las aguas del río Tres Ríos es ligeramente básico, esto se debe a las diversas actividades antrópicas que se desarrollan aguas arriba y en la zona, sin embargo el pH promedio de las aguas del río está dentro de los parámetros normales según los estándares nacionales de calidad ambiental (DS N° 002-2008-MINAM). Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (6,50 – 8,50); Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (6,50 – 8,50), A<sub>2</sub> (5,50 – 9,00), A<sub>3</sub> (5,50 – 9,00), B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> (6,00 – 9,00); Categoría 3.- Riego de vegetales y Bebidas de Animales (6,50 – 8,40).

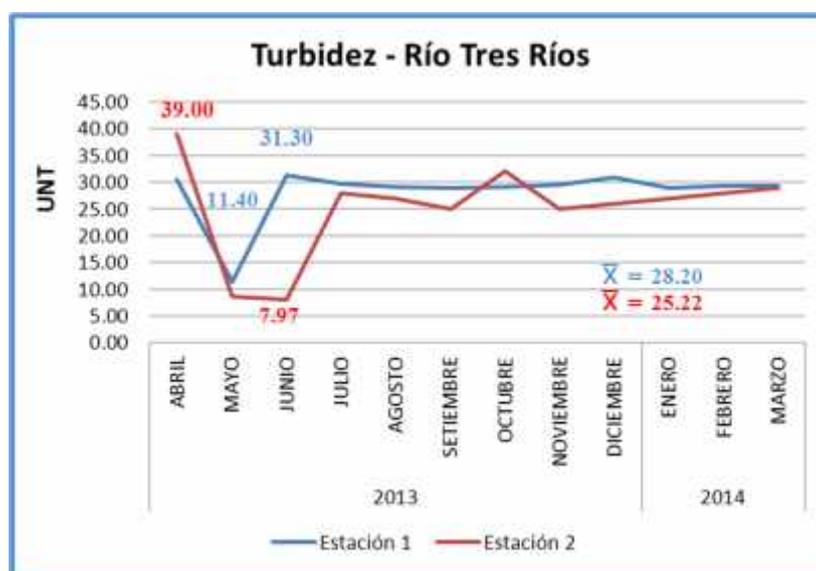


Figura 5: Variación de turbidez en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

Turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión (arcillas, lodos, etc.), coloidales o muy finos e incluso microorganismos, que se presentan principalmente en aguas superficiales (Romero, 1999). Esta reducción de la transparencia del agua se mide en UNT a la luz de la teoría, se presentan los resultados en la figura 5 y se observa que la turbidez varía entre 11,40 y 31,30 UNT en la *estación 1* (Corisorgona – Chamis) con una desviación estándar de  $\pm 5,35$  y la turbidez promedio es de 28,20 UNT; mientras que en la *estación 2* (puente Tres Ríos) esta variación es de 7,97 - 39,00 UNT, la desviación estándar es  $\pm 8,75$  y la media de la turbidez es 25,22 UNT. Los ECA para la Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (5 UNT), A<sub>2</sub> (100 UNT), B<sub>1</sub> (100 UNT), sin embargo, el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM no considera límites máximos permisibles para las demás categorías y subcategorías. Considerando que la teoría sostiene que los límites no deben pasar de los 1 000 UNT (Chapman, 1998), entonces las aguas del río Tres Ríos si cumple con este estándar y con lo establecido en la normatividad vigente.

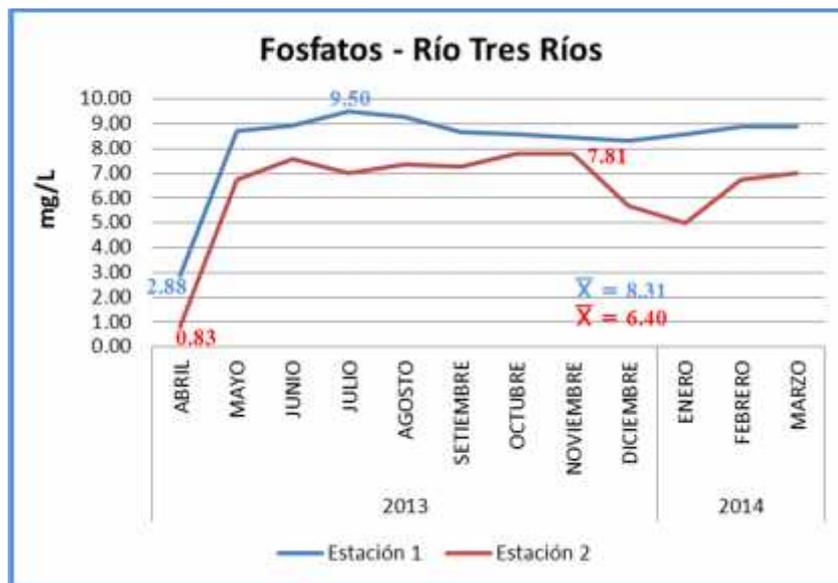


Figura 6: Concentración de fosfatos en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

Los fosfatos, aunque no son tóxicos por sí mismos puede causar problemas a la salud del río porque favorecen la eutrofización (crecimiento de algas), lo cual trae como consecuencia la disminución del oxígeno disuelto (**CORANTIOQUIA, 2005**). Teniendo en cuenta observamos en la figura que en la *estación 1* (Corisorgona – Chamis), los fosfatos varían entre 2,88 mg/L (abril) y 9,50 mg/L (julio) con una desviación estándar de  $\pm 1,74$  y una media de 8,31 mg/L, *estación 2* (puente Tres Ríos) varía entre 0,83 mg/L (abril) y 7,81 mg/L (noviembre), desviación estándar  $\pm 1,94$  y la media es de 6,40 mg/L, y de acuerdo a los ECA de la normatividad vigente que considera las siguientes concentraciones de fosfatos: Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (0,5 mg/L); Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (0,1mg/L), A<sub>2</sub> (0,15 mg/L), A<sub>3</sub> (0,15 mg/L), las aguas del río Tres Ríos presentan concentraciones superiores a las establecidas para las diferentes categorías y subcategorías en el D.S. N° 002-2008-MINAM. Los fosfatos presentes en el agua de acuerdo con la teoría pueden proceder de: a) disolución de rocas y minerales que lo contienen, b) lavado de suelos en los que se encuentra como resto de actividades ganaderas o agrícolas, c) aguas residuales domésticas vertidas a las aguas naturales (Marín, 2003). Dentro de esta última fuente de contaminación, podemos incluir los detergentes utilizados en limpieza doméstica. Estos explicarían el incremento de la concentración de fosfatos y la afectación de la calidad de las aguas del río Tres Ríos.

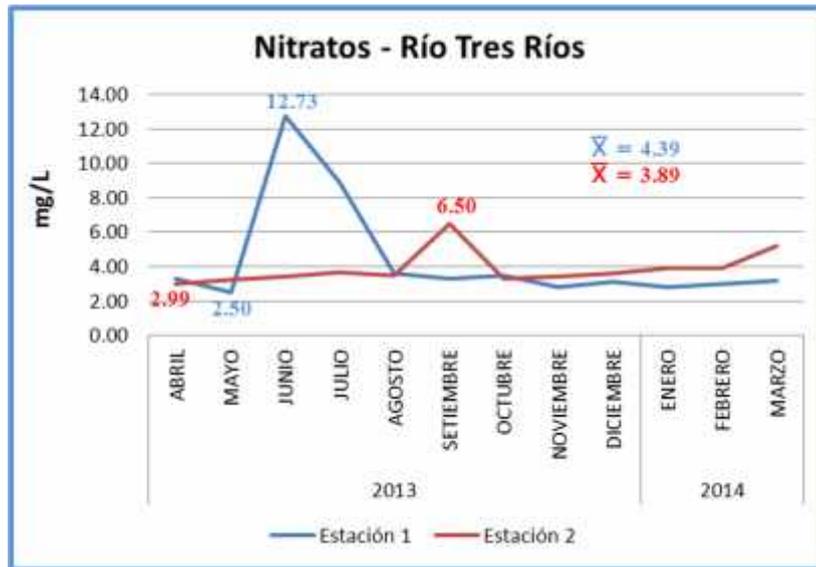


Figura 7: Concentración de nitratos en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

Las principales fuentes de nutrientes en aguas superficiales pueden ser divididas en naturales y antropogénicas (Michaud, 2001), para nuestra investigación tendremos en cuenta esta última pues la actividad agropecuaria que se desarrolla en la zona estaría aportando nutrientes al río. Además, los nitratos están presentes en los fertilizantes para la agricultura y como se movilizan rápidamente en el agua pueden llegar a la cadena alimenticia (CORANTIOQUIA, 2005). A la luz de la teoría en la figura 7 se observa la variación de dichas concentraciones: *Estación 1* (Corisorgona – Chamis), la concentración de nitratos es de 2,50 mg/L en mayo y aumenta a 12,73 en junio con una desviación estándar de  $\pm 3.12$  y una media de 4,39 mg/L, *Estación 2* (puente Tres Ríos) este parámetro varía entre 2,99 mg/L (abril) y 6,50 mg/L (setiembre), con una desviación estándar de  $\pm 0,99$  y una media de 3,89 mg/L. Comparándolo con los ECA establecidos en la normatividad vigente las aguas del río Tres Ríos cumplen con la concentración establecida para la: Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (10 mg/L); Categoría 3.- Bebidas de Animales(50 mg/L), Riego de Vegetales de tallo alto y tallo corto (10 mg/L), solamente en el mes de junio esta concentración aumenta considerablemente en la estación 1; esto podría deberse al uso de fertilizantes en los campos agrícolas aledaños. Sin embargo, no cumple con las concentraciones establecidas en el D.S. N° 002-2008-MINAM para la Categoría 1.-

Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (1mg/L), A<sub>2</sub> (1 mg/L), A<sub>3</sub> (1 mg/L), B<sub>1</sub> [1 (5) mg/L]. Esta concentración de nitratos se debería al uso de fertilizantes naturales y artificiales en zonas agrícolas aledañas, así como de los efluentes provenientes de la crianza de animales mayores y menores, todo ello contribuye a la reducción de la calidad del agua.

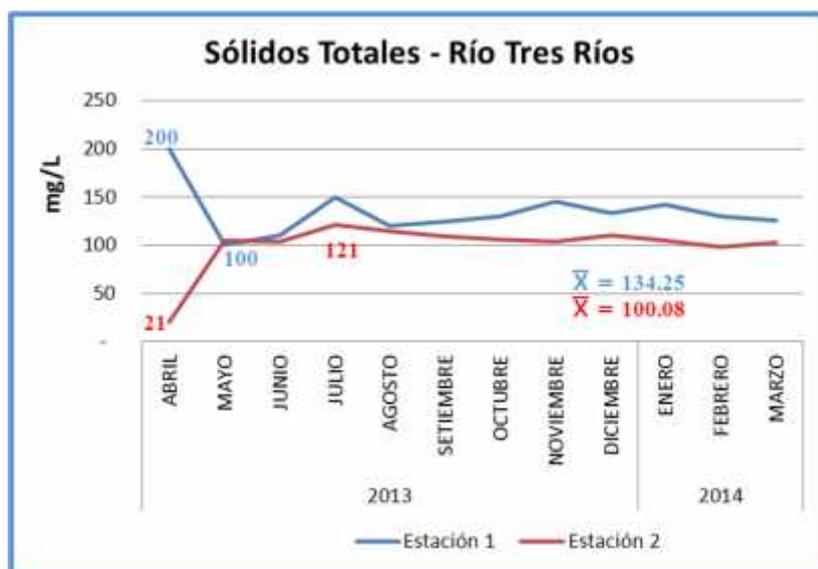


Figura 8: Variación de sólidos disueltos totales en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

El total de sólidos disueltos en el agua comprende sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica, (Aguinaga, 1996). Es un parámetro útil para conocer la calidad de un cuerpo de agua, la concentración de este parámetro fluctúa entre 100 mg/L (mayo) y 200 mg/L (abril) con una desviación estándar de  $\pm 25,05$  y una concentración media de 134,25 mg/L en la *estación 1* (Corisorgona – Chamis) y en la *estación 2* (puente Tres Ríos) esta variación es 21 mg/L (abril) y 121 mg/L (julio), la desviación estándar es de  $\pm 25,62$  y la media es de 100,08 mg/L, como se observa en el gráfico este parámetro en el río Tres Ríos se encuentra por debajo de la concentración máxima aceptable para la categoría 1 : *Poblacional y recreacional* (1000 – 1500 mg/L) y para la categoría 4: *Conservación del Medio Acuático – Ríos de la Costa y Sierra* (500 mg/L), por lo tanto se cumple la premisa que a menor concentración de sólidos disueltos totales corresponden aguas de mejor calidad.

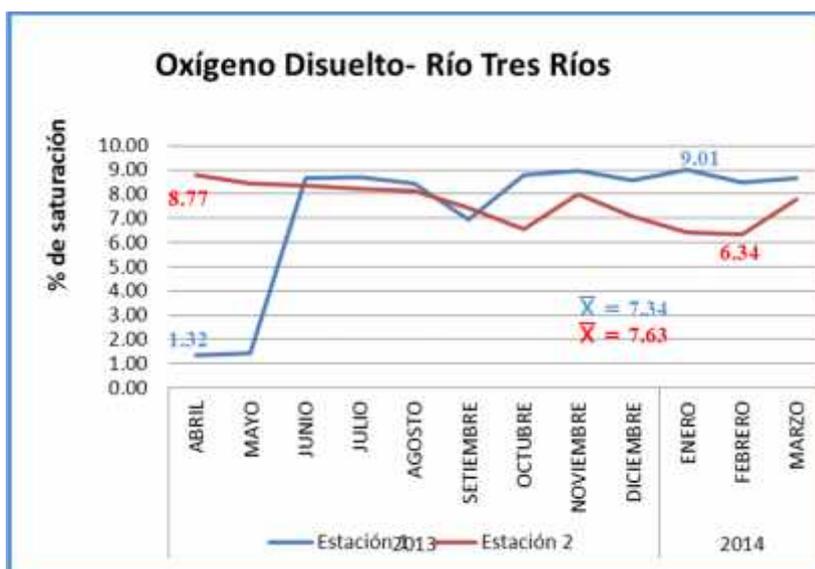


Figura 9: Variación de oxígeno disuelto en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

La presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión (Lenntech, 2006). Además, el porcentaje de saturación del oxígeno en agua depende de la turbulencia y de la superficie de contacto entre el gas y el agua (Marín, 2003), pues en base a la teoría las aguas de este río tendrían un % de saturación de oxígeno bajo, tal como se observa en la figura. El oxígeno disuelto, medido como porcentaje de saturación, fluctúa de 1,32% (0,26 mg/L) en el mes de abril y 9,01 % de saturación (1,20 mg/L) en el mes de enero. Enero, la desviación estándar es de  $\pm 2,83$  y la media es de 7,34 % de saturación (0,80 mg/L) para la *estación 1* (Corisorgona – Chamis) y en la *estación 2* (puente Tres Ríos) esta variación fue de 6,34 % de saturación (0,65 mg/L) mes de febrero y de 8,77 % de saturación (1,12 mg/L) en el mes de abril, la desviación estándar es de  $\pm 0,85$  y la media es 7,63% de saturación (0,90 mg/L). En términos generales en las dos estaciones muestreadas en el río Tres Ríos la concentración de este parámetro está por debajo de los estándares de calidad de agua establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías (  $5 \text{ mg/L}$ ), como se muestra en los cuadros 6, 7 y 8. La concentración de oxígeno disuelto es baja porque se ve afectada por la temperatura, aguas domésticas y residuales, materiales orgánicos disueltos y oxidantes inorgánicos, así como también a la presencia de algas y plantas acuáticas (eutrofización).

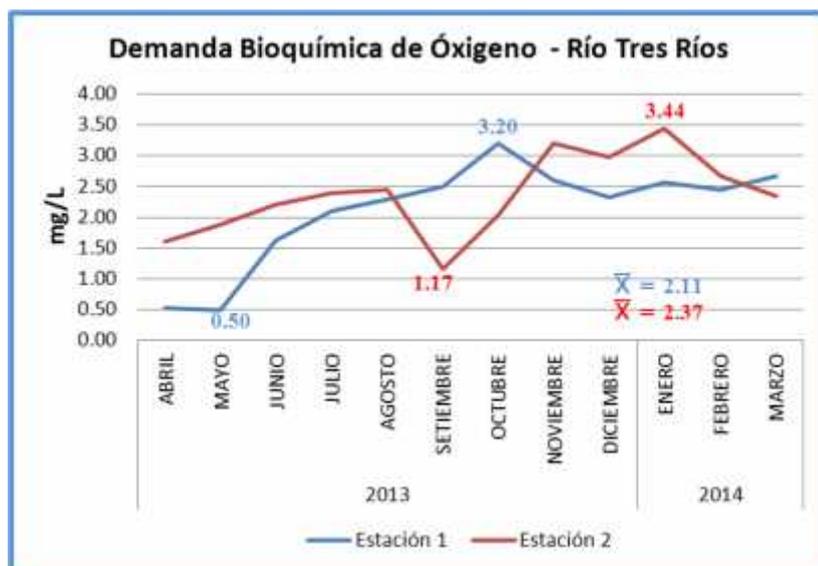


Figura 10: Variación de demanda bioquímica de oxígeno en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

El  $DBO_5$  es la medida del oxígeno disuelto que se hace después de cinco días de tomada la muestra y nos da una idea de la carga de materia orgánica que hay en un río (Romero, 2005). De acuerdo con lo manifestado y a la luz de los resultados las aguas del río Tres Ríos presentan una baja carga de materia orgánica tal como se detalla la concentración de este parámetro a continuación. *Estación 1* (Zona Corisorgona – Chamis) la demanda bioquímica de oxígeno varía entre 0,50 mg/L (mayo) y 3,20 mg/L (octubre) con una desviación estándar de  $\pm 0,83$  y una media de 2, 11 mg/L. *Estación 2* (Puente Tres Ríos), esta variación es de 1,17mg/L (setiembre) y 3,44 mg/L (enero). La desviación estándar es de  $\pm 0,66$  y la media es 2,37 g/L. Como se observa en el gráfico este parámetro en promedio cumple con los ECA establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías, solamente en los meses de octubre (estación 1) y enero (estación 2) superarían los límites de concentración de  $DBO_5$  para la Categoría 1 Poblacional y Recreacional: Subcategoría A<sub>1</sub> (aguas que pueden potabilizarse con desinfección) lo que indica en términos generales que el río Tres Ríos mantiene su capacidad asimilativa de materia orgánica y autodepuración, pues la calidad de agua es mejor cuando el  $DBO_5$  es menor.

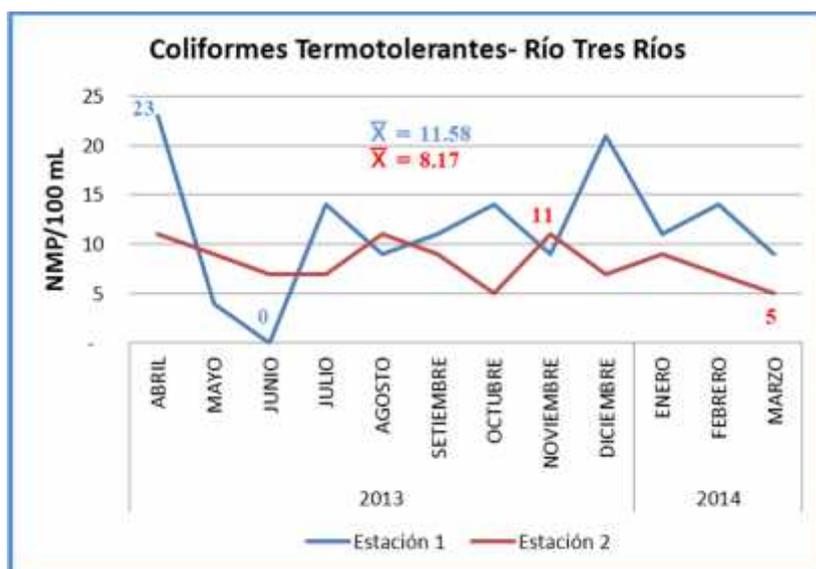


Figura 11: Variación de coliformes termotolerantes en el río Tres Ríos, estación 1 (Zona Corisorgona – Chamis) y estación 2 (Puente Tres Ríos)

Los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. Su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de contaminación (Romero, 2005). Además, los coliformes termotolerantes influyen directamente en la contaminación del agua y las concentraciones de coliformes no es fácil de predecir puesto que dependen de condiciones específicas para su desarrollo y estas cambian rápidamente (Michaud, 2001). Sin embargo. Las concentraciones de coliformes termotolerantes en esta investigación fueron muy bajas, tal como se detalla a continuación.

*Estación 1* (Zona Corisorgona – Chamis) la variación de coliformes termotolerantes es de 0 (mes de junio) y 23 NMP/100 mL (mes de abril), con una desviación estándar de  $\pm 6,39$  y una media de 11,58 NMP/100 mL. *Estación 2* (Puente Tres Ríos), la variación es de 5 NMP/100 mL (mes de marzo) y 11,00 NMP/100 mL (mes de noviembre), la desviación estándar es de  $\pm 2,17$  y una media de 8,17 NMP/100 mL. De acuerdo con la normatividad vigente las aguas del río Tres Ríos pueden ser destinadas a la producción de agua potable categoría 1,- Poblacional y Recreacional, subcategoría A<sub>2</sub> aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (2 000 NMP/100 mL); aguas superficiales destinadas para recreación subcategorías A<sub>1</sub> contacto primario (200 NMP/100 mL), A<sub>2</sub> contacto secundario (1 000 NMP/100 mL).

También cumple con los estándares de calidad ambiental para la categoría 4.- Conservación del ambiente acuático, ríos costa y sierra (2 000 NMP/100 mL); categoría 3.- Riego de Vegetales y Bebidas de Animales: vegetales de tallo bajo (1 000 NMP/100 mL), vegetales de tallo alto (2 000 NMP/100 mL), bebida de animales (1 000 NMP/100 mL). Solamente no cumple con los LMP para la subcategoría A<sub>1</sub> aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (0) lo que indica que estas aguas deben estar exentas de coliformes termotolerantes.

#### ✧ Río Ronquillo

Los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos de las dos estaciones monitoreadas en este río se presentan en apéndice 3 (cuadros 15 y 17).

##### **Estaciones de muestreo:**

- Estación N° 3: Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia
- Estación N° 4: Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

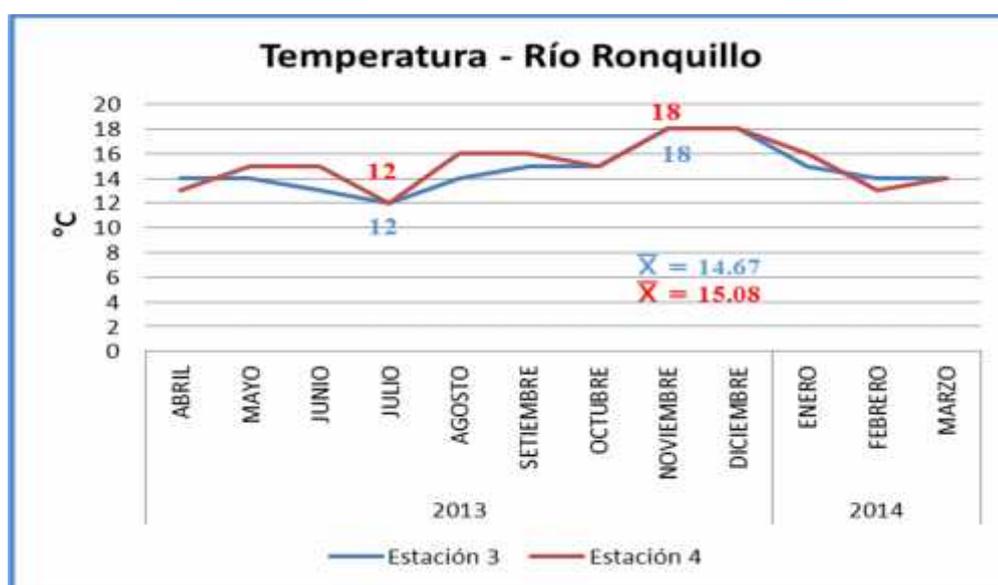


Figura 12: Variación de temperatura en el río Ronquillo, estación 3 y , antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

Como podemos apreciar en el gráfico la variación de temperatura en la *estación 3* (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 12 a 18 °C con una desviación estándar de  $\pm 1,78$  y una media de 14,67°C y en la *estación 4* (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) el rango de variación es igual que en la estación 3, la desviación estándar es  $\pm 1,88$  y una media de 15,08°C.

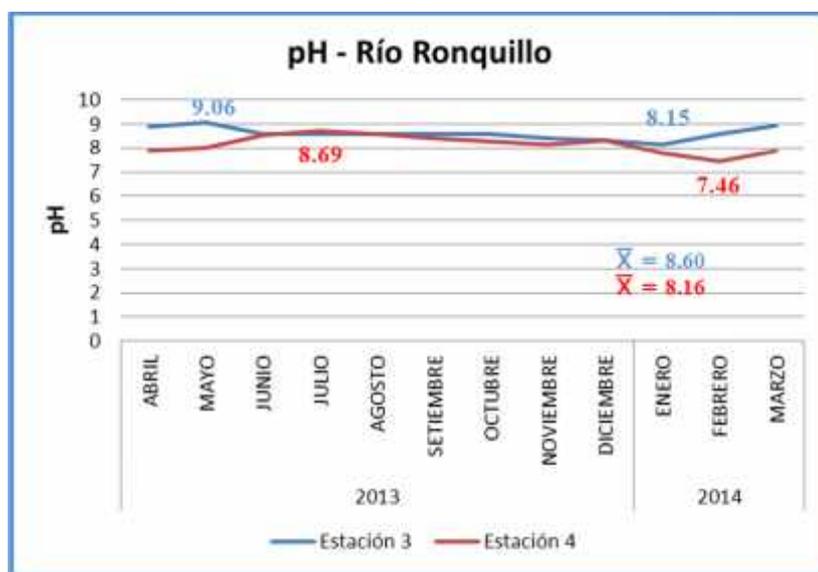


Figura 13: Variación de pH en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

Se observa en el gráfico N° 13 que en la *estación 3* el pH varía de 8,15 a 9,06 con una desviación estándar de  $\pm 0,25$  y una media de 8,60, mientras que en la *estación 4* esta variación es de 7,46 a 8,69 con una desviación estándar de  $\pm 0,37$  y la media es 8,16. En términos generales el pH de las aguas del río Ronquillo es ligeramente básico y cumple con la normatividad vigente (DS N° 002-2008-MINAM). Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (6,50 – 8,50); Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (6,50 – 8,50), A<sub>2</sub> (5,50 – 9,00), A<sub>3</sub> (5,50 – 9,00), B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> (6,00 – 9,00); Categoría 3.- Riego de vegetales y Bebidas de Animales (6,50 – 8,40).

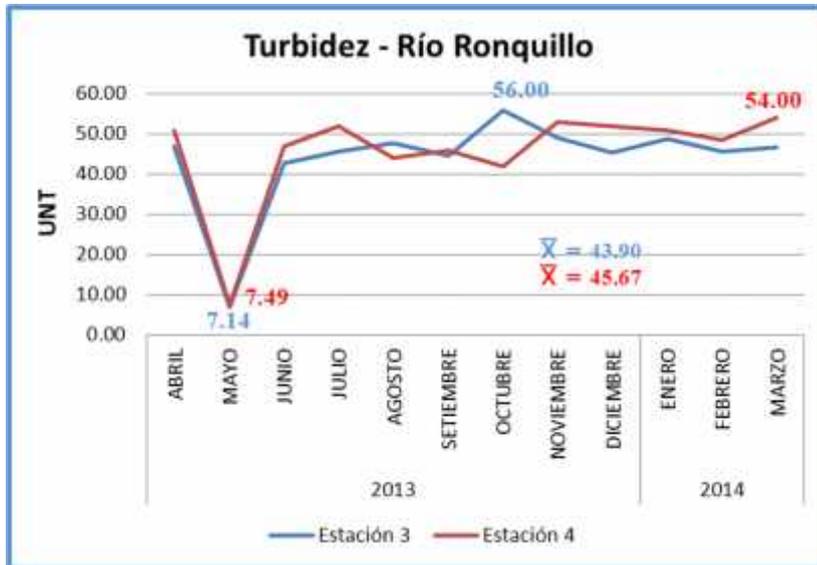


Figura 14: Variación de turbidez en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

En el gráfico se observa que la variación de turbidez en la estación 3 (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 7,14 – 56,00 UNT, la desviación estándar es de  $\pm 12,03$  y la media es 43,90 UNT, y en la estación 4 (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) esta variación es de 7,49 a 54,00 UNT, la desviación estándar es de  $\pm 12,59$  y la media es de 45,67 UNT. El Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM considera LMP solamente para la Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (5 UNT), A<sub>2</sub> (100 UNT), B<sub>1</sub> (100 UNT). De acuerdo con esto y la teoría que manifiesta que la turbidez no debe ser superior a los 1 000 UNT, las aguas del río Ronquillo si cumple con este requisito y la normatividad vigente.

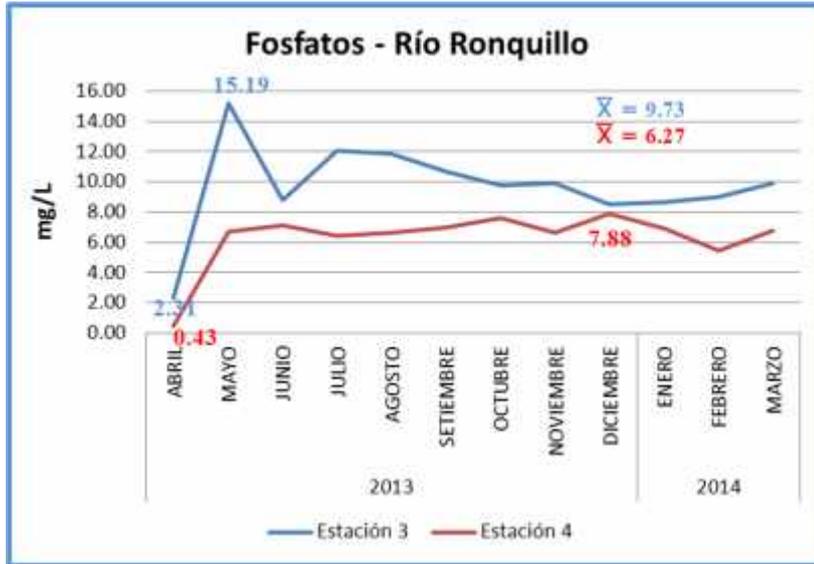


Figura 15: Concentración de fosfatos en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)

En el gráfico se muestra que la variación de la concentración de fosfatos en la estación 3 (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 2,31 - 15,19 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 3,02$  y una media es 9,73 mg/L. En la estación 4 (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia), esta variación es de 0,43 a 7,88 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 1,93$  y la media es 6,27 mg/L.

De acuerdo con estos resultados las aguas del río Ronquillo presentan concentraciones superiores a las establecidas para las diferentes categorías y subcategorías en el D.S. N° 002-2008-MINAM. Este incremento de fosfatos se puede deber diversos factores tales como disolución de rocas ricas en fosfatos, actividades ganaderas o agrícolas, aguas servidas, detergentes utilizados en limpieza doméstica, entre otros.

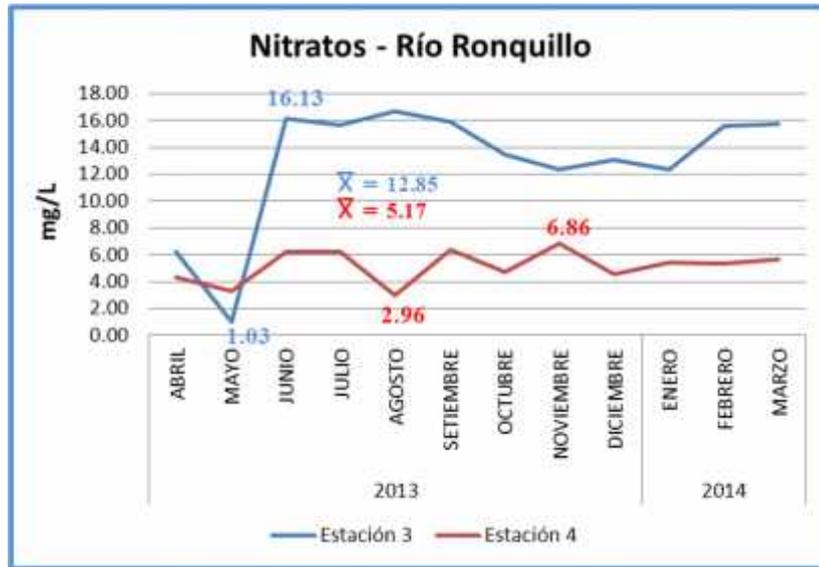


Figura 16: Concentración de nitratos en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

Como se observa en el gráfico la variación de nitratos en la *estación 3* (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 1,03 a 16,13 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 4,71$  y una media de 12,85 mg/L, mientras que en la *estación 4* (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia), esta variación es de 2,96 a 6,86 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 1,22$  y la media es 5,17 mg/L. De acuerdo con la normatividad vigente (D.S. N° 002-2008-MINAM) *la estación 3* no cumple con los ECA correspondientes a la Categoría 1.- Poblacional y Recreacional (1 mg/L). Categoría 4.- Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (10 mg/L). Categoría 3,- Riego de Vegetales y Bebidas de Animales: riego de vegetales de tallo alto y bajo (10 mg/L), solamente cumpliría con lo establecido para el uso de las aguas de este río para bebida de animales (50 mg/L). Sin embargo en la *estación 2* la concentración de nitratos está dentro de los LMP establecidos para las categorías 3 y 4, pero no cumple con la concentración de nitratos establecida para la categoría 1. Como ya se manifestó este incremento en la concentración de nitratos de debe a las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan en la zona.

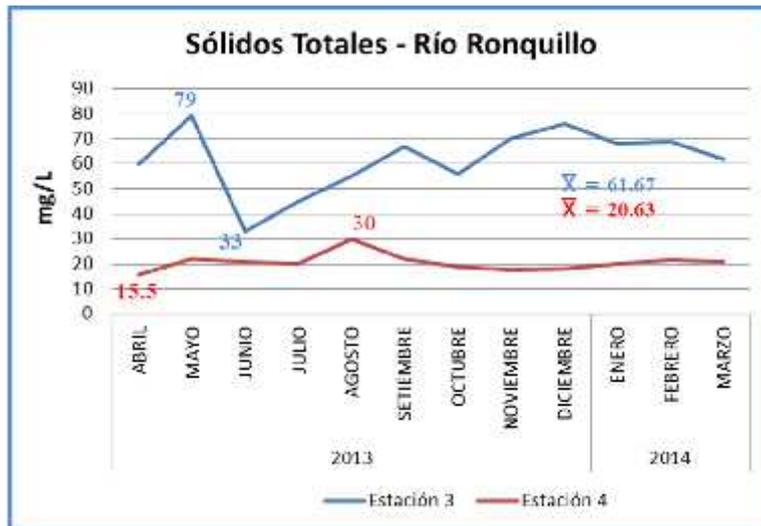
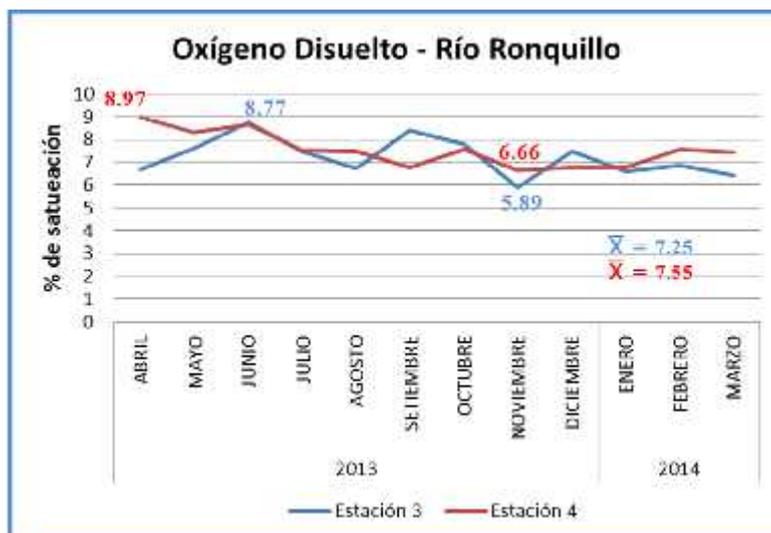


Figura 17: Variación de sólidos disueltos totales en el río Ronquillo, estación 3 y 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

Como podemos apreciar en el gráfico la variación de sólidos totales en la estación 3 es de 33 - 79 mg/L, con un promedio de 12,85 mg/L y una desviación estándar de  $\pm 13,06$  mientras que en la estación 4 esta variación es de 15,50 a 30,00 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 3,55$  y la media es 20,63 mg/L. En concordancia con la normatividad vigente, la concentración de este parámetro en las aguas del río Ronquillo es inferior a la concentración máxima aceptable para la: categoría 1 (1000 – 1500 mg/L) y 4 (500 mg/L), para la categoría 3 el D.S. N° 002-2008-MINAM) no lo establece, por lo que a menor concentración de sólidos disueltos totales mejor calidad de agua.



En el gráfico N° 18, se observa que la variación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la *estación 3* es de (0,60 mg/L) 5,89 % de saturación a (1,00 mg/L) 8,77 % de saturación, con una desviación estándar de  $\pm 0,84$  y una media de 7,25 % de saturación (0,90 mg/L), y en la *estación 4* esta variación es de 6,66% de saturación (0,8 mg/L) a 8,97 % de saturación (1,10 mg/L), la desviación estándar es de  $\pm 0,77$  y la media es 7,55 % de saturación (1,00 mg/L). En términos generales en las dos estaciones muestreadas en el río Ronquillo la concentración de este parámetro está por debajo de los estándares de calidad de agua establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías (  $5 \text{ mg/L}$ ), como se muestra en los cuadros 6 - 8.

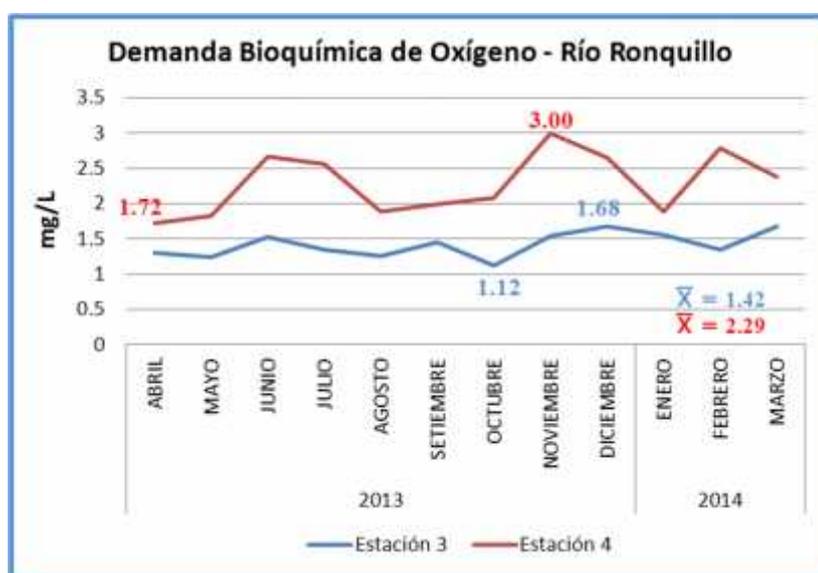


Figura 19: Variación de demanda bioquímica de oxígeno en el río Ronquillo, estación 3 y estación 4, antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

En el gráfico se aprecia que la variación de la demanda bioquímica de oxígeno por 5 días en la *estación 3* (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 1,12 – 1,68 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 0,18$  y una media de 1,42 mg/L; en la *estación 4* (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) dicha variación es de 1,72 a 3,00 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 0,44$  y la media es 2,29 mg/L. Este parámetro en general cumple con los ECA establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías lo que nos indica que el río Ronquillo mantiene su capacidad asimilativa de materia orgánica y autodepuración.



Figura 20: Variación de coliformes termotolerantes en el río Ronquillo, estación 3 y 4. antes y después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

Se observa en el gráfico que la variación de coliformes termotolerantes en la estación 3 (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 15 – 70 NMP/100 mL con una desviación estándar de  $\pm 15,23$  y una media de 32,92 NMP/ 100 mL, y en la estación 4 (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia) es de 15,00 a 1 100 NMP/100 mL, la desviación estándar es de  $\pm 308,80$  y la media es 120,67 NMP/100 mL. De acuerdo con estos resultados y la normatividad vigente las aguas del río Ronquillo cumplen los ECA establecidos para este parámetro en las categorías 1 (excepto subcategoría A<sub>1</sub>), 3 y 4, solamente en el mes de abril la concentración de coliformes termotolerantes se dispara a límites superiores, esto se debería al incremento de arrojado de aguas servidas al cauce del río.

### Río Urubamba

Los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y estadísticos de las dos estaciones monitoreadas en este río se presentan en apéndice 3 (cuadros 19 y 21).

**Estaciones de muestreo:**

- a) Estación N° 5: Río Urubamba (Barrio Urubamba II)
- b) Estación N° 6: Río Urubamba (Barrio Urubamba I)

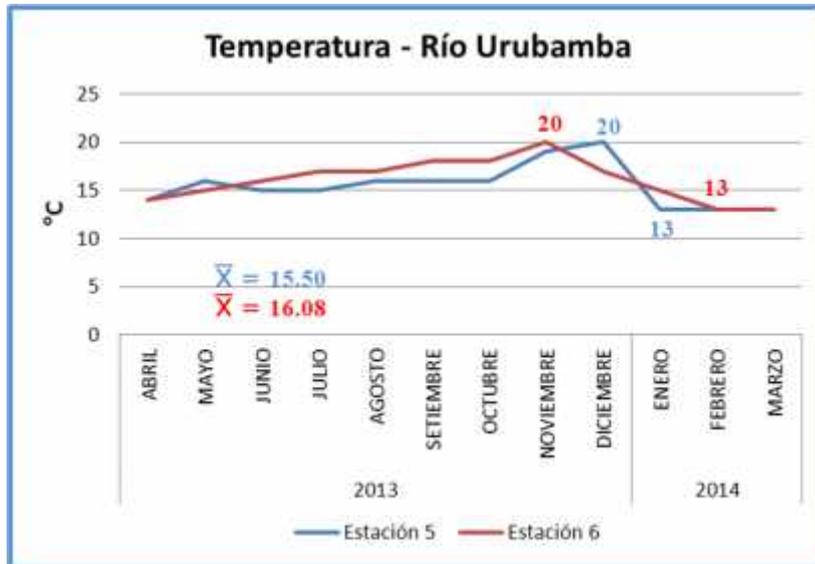


Figura 21: Variación de temperatura en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

Observamos en el gráfico que en la estación 5 (Barrio Urubamba II) se tiene una temperatura mínima de 13°C (enero) y una temperatura máxima de 20°C (diciembre), con una desviación estándar de  $\pm 2,24$  y una temperatura media de 15,50°C. En la estación 6 (Barrio Urubamba I) se tiene una temperatura mínima de 13°C (julio) y una temperatura máxima de 20°C (diciembre), con una temperatura media de 16,08°C y  $\pm 4,63$  de desviación estándar.

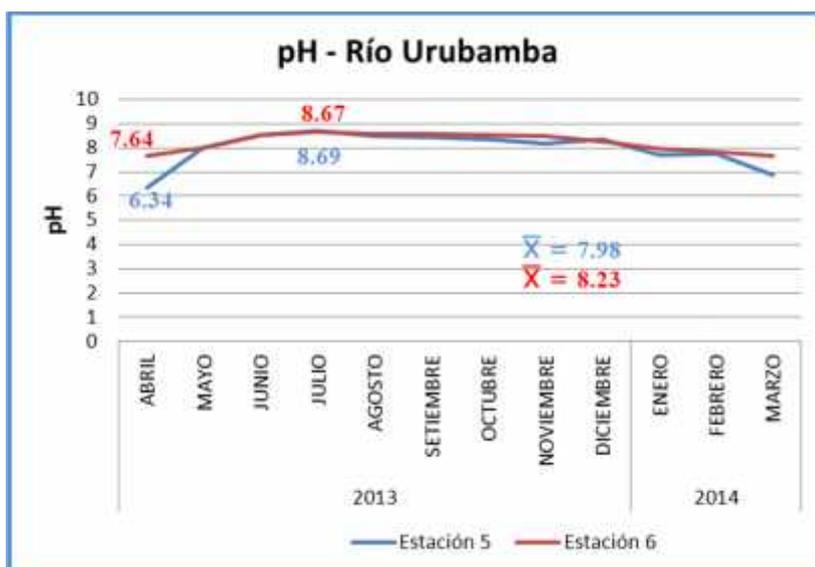


Figura 22: Variación de pH en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 (Lenntech, 2006). Teniendo en cuenta ello y a la luz de los resultados las aguas del río Urubamba son ligeramente alcalinas, acorde con la teoría a continuación se detalla la variación de este parámetro en las dos estaciones monitoreadas.

Estación 5 (Barrio Urubamba II) se registra un pH entre 6,34 (abril) y 8,69 (julio), con una desviación estándar de  $\pm 0,72$  y un pH promedio de 7,98 y en la estación 6 (Barrio Urubamba I) el pH mínimo es 7,64 en el mes de abril y el máximo es de 8,67 en julio, el pH promedio es de 8,23 y la desviación estándar es  $\pm 0,38$ , por lo tanto el pH promedio de las aguas del río Urubamba está dentro de los parámetros normales según los estándares nacionales de calidad ambiental para todas las categorías (DS N° 002-2008-MINAM), tal como como se muestra en los cuadros 6 - 8.

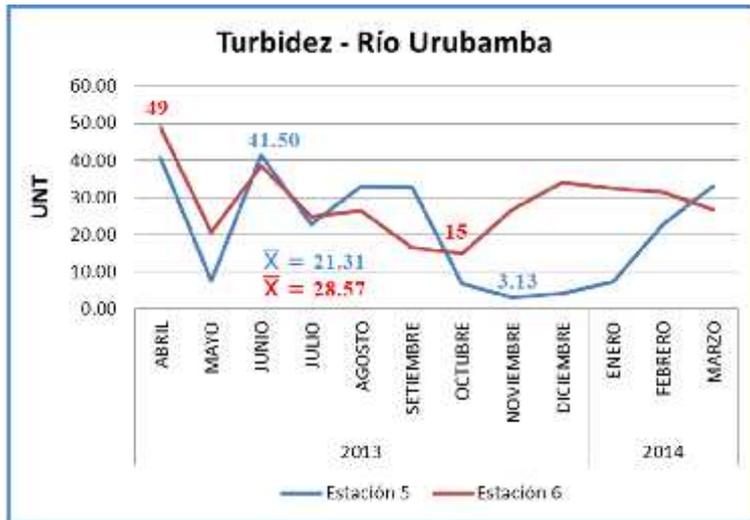


Figura 23: Variación de turbidez en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

La variación de turbidez en la estación 5 (Barrio Urubamba II) es de 3,13 – 41,50 UNT, la desviación estándar es de 14,86 y la media es 21,31 UNT, y en la estación 6 (Barrio Urubamba I) esta variación es de 15,00 a 49,00 UNT, la desviación estándar es de 9,48 y la media es de 28,57 UNT. Como el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM solamente considera LMP para la Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (5 UNT), A<sub>2</sub> (100 UNT), B<sub>1</sub> (100 UNT), pero teniendo en cuenta lo que manifiesta la teoría que la turbidez no debe ser mayor a 1 000 UNT, entonces las aguas del río Urubamba si cumple con los estándares teóricos y la normatividad vigente.

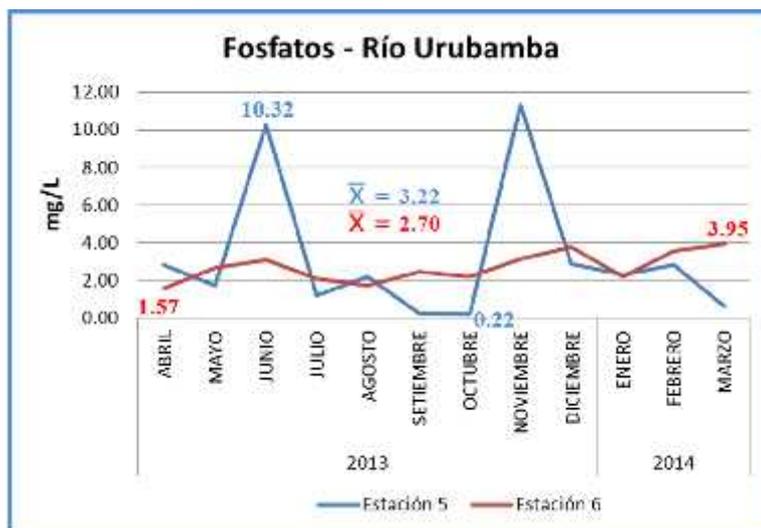


Figura 24: Concentración de fosfatos en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

La concentración de fosfatos en la *estación 5* (Barrio Urubamba II) varía entre 0,22 y 10,32 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 3,69$  y una de 3,22 mg/L y en la *estación 6* (Barrio Urubamba I), esta variación es de 1,57 a 3,95 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 0,80$  y la media es 2,70 mg/L.

A la luz de estos resultados las aguas del río Urubamba presentan concentraciones superiores a las establecidas para las diferentes categorías en el D.S. N° 002-2008-MINAM. Este incremento de fosfatos se debería a diversos factores tales como disolución de rocas ricas en fosfatos, actividades agropecuarias, aguas servidas, detergentes utilizados, entre otros.

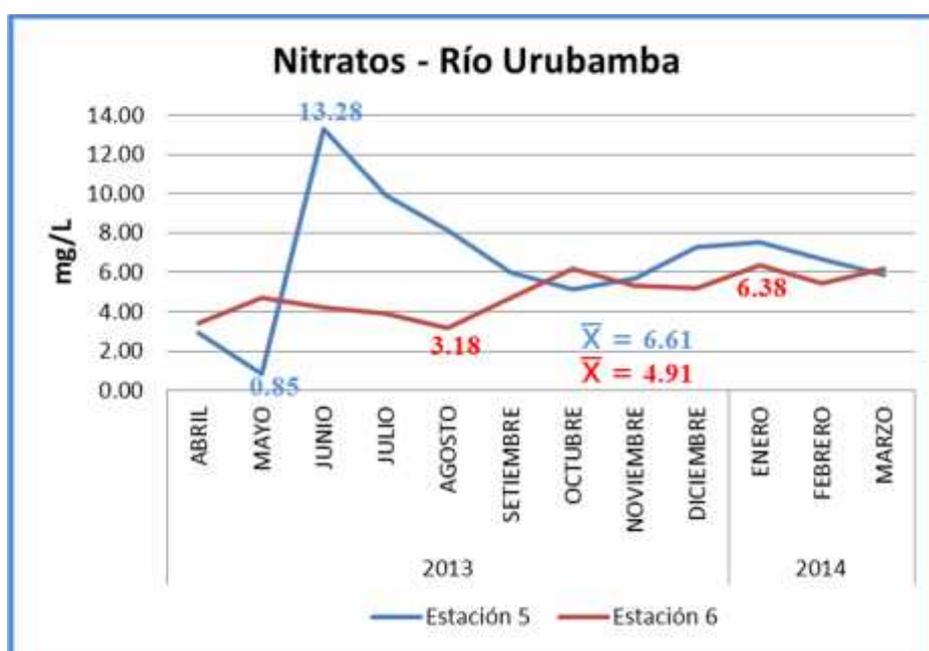


Figura 25: Concentración de nitratos en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

En la figura 25 se observa que en la *Estación 5* (Barrio Urubamba II) la variación en la concentración de nitratos es de 0,85 mg/L en mayo y aumenta a 13,28 en junio con una desviación estándar de  $\pm 3,16$  y una media de 6,61 mg/L, *Estación 6* (Barrio Urubamba I) este parámetro varía entre 3,18 mg/L (agosto) y 6,38 mg/L (enero), con una desviación estándar de  $\pm 1,07$  y una media de 4,91 mg/L.

Comparándolo con los ECA establecidos en la normatividad vigente en promedio las aguas del río Urubamba cumplen con las concentración establecida para las: Categoría 4 - Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (10 mg/L); Categoría 3.- Bebidas de Animales(50 mg/L), Riego de Vegetales de tallo alto y tallo corto (10 mg/L), solamente en el mes de junio esta concentración aumenta considerablemente en la estación 1; esto podría deberse al uso de fertilizantes en los campos agrícolas aledaños. Sin embargo, no cumple con las concentraciones establecidas en el D.S. N° 002-2008-MINAM para la categoría 1 (1 mg/L).

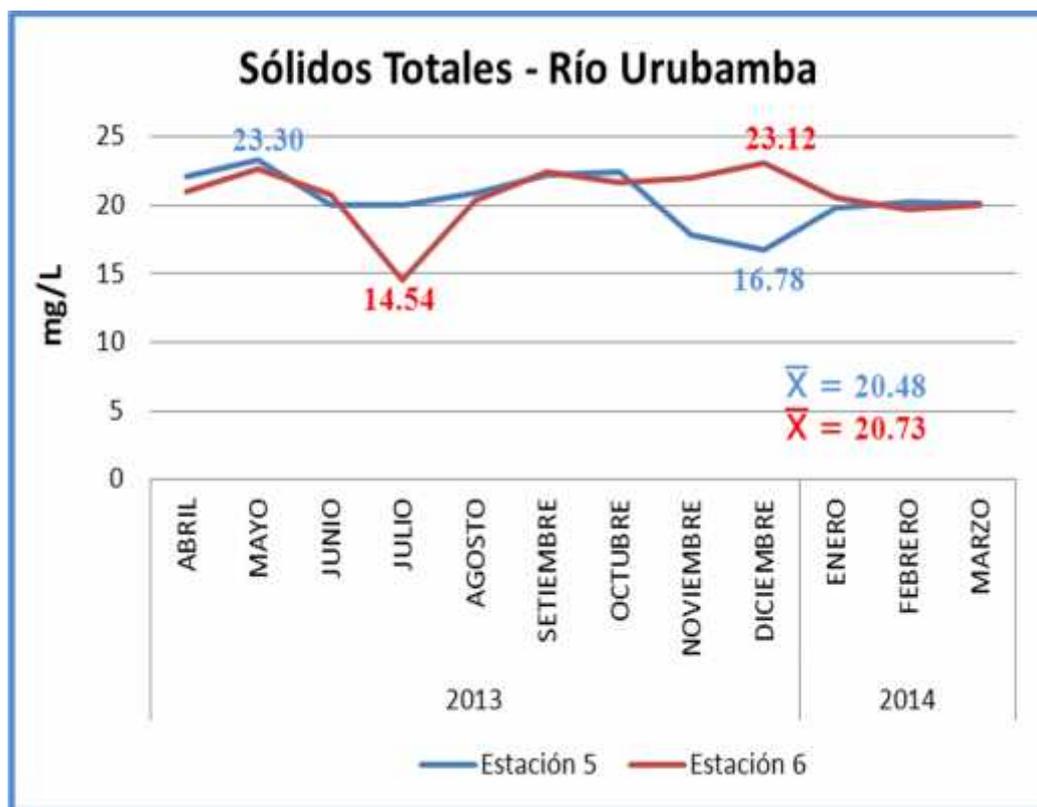


Figura 26: Variación de sólidos disueltos totales en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

Como podemos apreciar en el gráfico la variación de sólidos totales en la estación 5 es de 16,78 (diciembre) y 23,30 (mayo) con una desviación estándar de  $\pm 1,89$  y una media de 20,48 mg/L, y en la estación 6 esta variación es de 14,54 a 23,12 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 2,23$  y la media es 20,73 mg/L. En consecuencia, de acuerdo a la normatividad vigente la concentración de este parámetro en las aguas del río Urubamba es inferior a la concentración máxima aceptable para las categorías 1 (1000 – 1500 mg/L) y 4 (500 mg/L), pues para la categoría 3 el D.S. N° 002-2008-MINAM) no lo establece, en consecuencia a menor concentración de sólidos disueltos totales el agua es de mejor calidad.

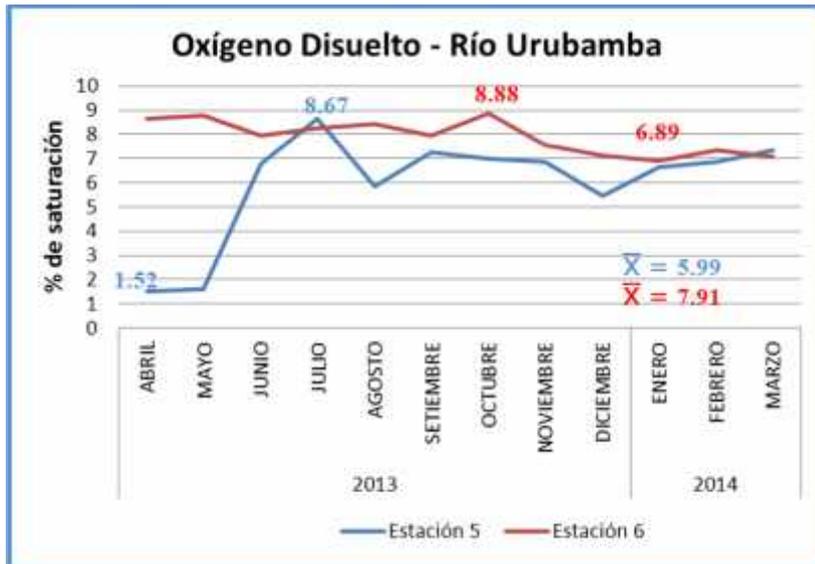


Figura 27: Variación de oxígeno disuelto en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

En la figura podemos apreciar que la variación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la *estación 5* (Barrio Urubamba II) es de (0,20 mg/L) 1,52 % de saturación (mes de abril) y de (0,75 mg/L) 8,67 % de saturación (mes de julio), con una desviación estándar de  $\pm 2,22$  y una media de 5,99 % de saturación (0,65 mg/L), y en la *estación 6* (Barrio Urubamba I) esta variación es de 6,89% de saturación (0,8 mg/L) a 8,88 % de saturación (1,20 mg/L), la desviación estándar es de  $\pm 0,71$  y la media es 7,91 % de saturación (1,05 mg/L). En términos generales en las dos estaciones muestreadas en el río Urubamba la concentración de este parámetro está por debajo de los estándares de calidad de agua establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías ( $< 5$  mg/L), como se muestra en los cuadros 6 - 8. La concentración de oxígeno disuelto es baja porque se debería a factores tales como la temperatura, aguas domésticas y residuales, materiales orgánicos disueltos y oxidantes inorgánicos, así como también a la presencia de algas y plantas acuáticas (eutrofización).

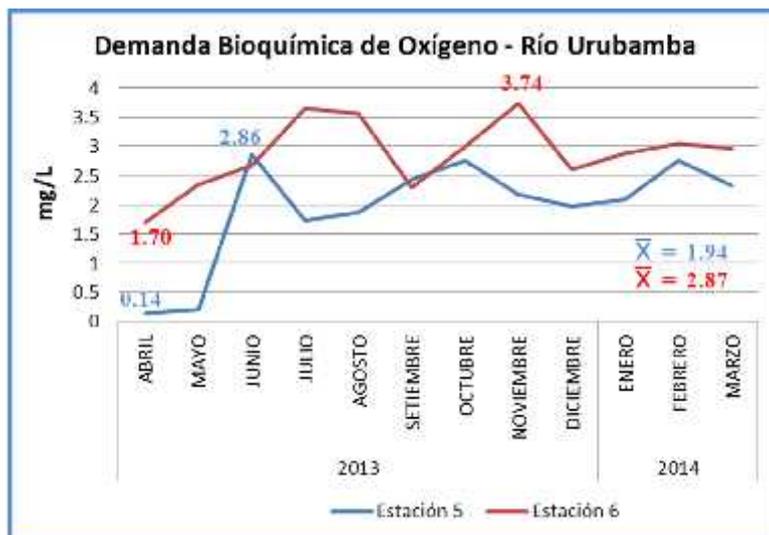


Figura 28: Variación de demanda bioquímica de oxígeno en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

En el gráfico se observa que la variación de la demanda bioquímica de oxígeno por 5 días en la estación 5 (Barrio Urubamba II) es de 0,14 – 2,86 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 0,90$  y una media de 1,94 mg/L; en la estación 6 (Barrio Urubamba I) dicha variación es de 1,70 a 3,74 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 0.60$  y la media es 2,87 mg/L. Este parámetro en general cumple con los ECA establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías lo que nos indica que las aguas del río Urubamba mantienen su capacidad asimilativa de materia orgánica y autodepuración.

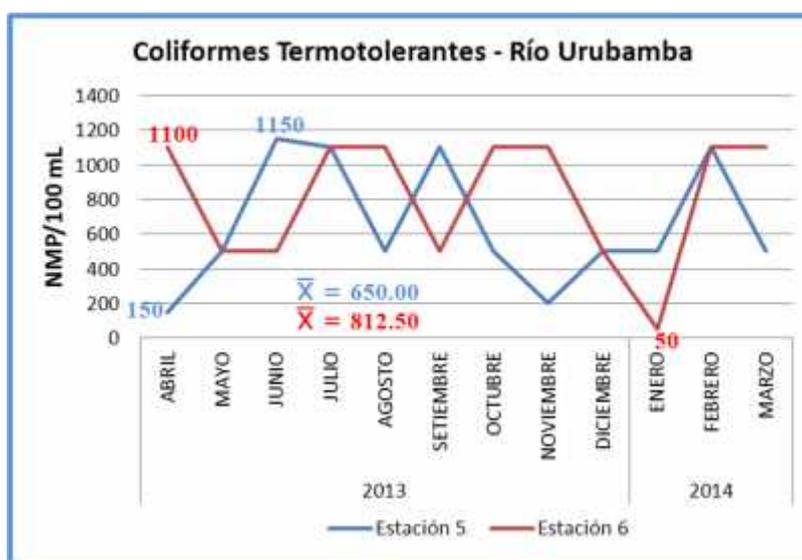


Figura 29: Variación de coliformes termotolerantes en el río Urubamba, estación 5 (Barrio Urubamba II) y estación 6 (Barrio Urubamba I)

Se aprecia en la figura 29 que la cantidad de coliformes termotolerantes en la *estación 5* (Barrio Urubamba II) varía de 150 NMP/100 mL (abril) a 1 150 NMP/100 mL (junio) con una desviación estándar de  $\pm 362,44$  y una media de 650,00 NMP/100 mL, mientras que en la *estación 6* (Barrio Urubamba I) esta variación es de 50,00 NMP/100 mL(enero) a 1 100 NMP/100 mL, con una desviación estándar de  $\pm 375,45$  y una media es 812,50 NMP/100 mL. De acuerdo con estos resultados y la normatividad vigente las aguas del río Urubamba cumplen los ECA establecidos para este parámetro en las categorías 1 (excepto subcategoría A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>), 3 y 4, el incremento en la cantidad de coliformes termotolerantes con respecto a las estaciones anteriores se debería al arrojado de residuos orgánicos y aguas servidas al cauce del río.

#### ✧ Río San Lucas

Los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y estadísticos de las dos estaciones monitoreadas en este río se presentan en el apéndice 3 (cuadros 23 y 25).

#### **Estaciones de muestreo:**

- a) Estación N° 7: Río San Lucas (Puente amarillo)
- b) Estación N° 8: Río San Lucas (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión)

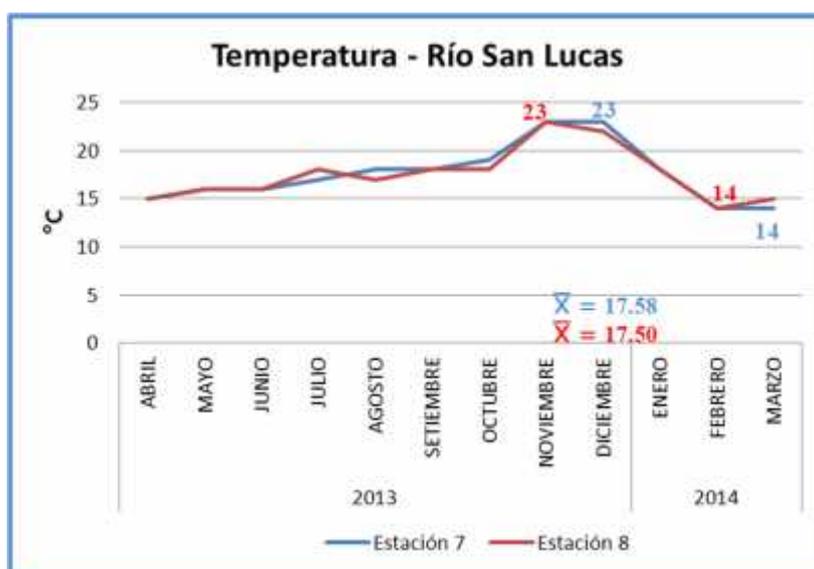


Figura 30: Variación de temperatura en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

En la figura se aprecia que en la *estación 7* (Puente amarillo) se tiene una temperatura mínima de 14°C (marzo) y una temperatura máxima de 23°C (diciembre), con una desviación estándar de  $\pm 3,00$  y una temperatura media de 17, 58°C. En la *estación 8* (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) se tiene una temperatura mínima de 14°C (febrero) y una temperatura máxima de 23°C (noviembre), con una temperatura media de 17,50°C y  $\pm 2,71$  de desviación estándar.

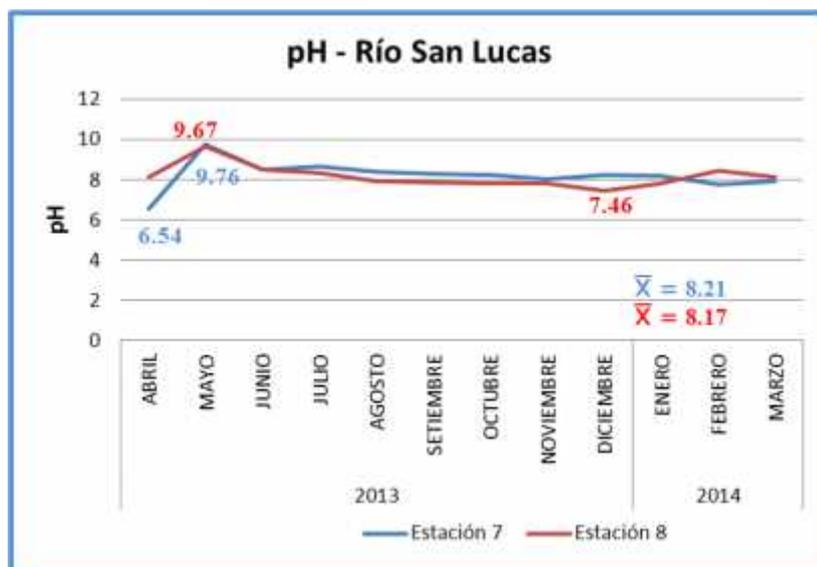


Figura 31: Variación de pH en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

El pH óptimo de las aguas superficiales debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 (Lenntech, 2006). De acuerdo con la teoría los resultados indican que las aguas del río San Lucas en promedio son ligeramente básicas. A continuación detallamos este parámetro por estación monitoreada: *estación 7* (Puente amarillo) se registra un pH entre 6,54 (mes de abril) y 9,76 (mes de mayo), con una desviación estándar de  $\pm 0,73$  y un pH promedio de 8,21 y en la *estación 8* (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) el pH mínimo es 7,46 en el mes de diciembre y el máximo es de 9,67 en el mes de mayo, el pH promedio es de 8,17 y la desviación estándar es  $\pm 0,57$ .

Teniendo en cuenta estos resultados las aguas de este río están dentro de los parámetros normales según los estándares nacionales de calidad ambiental para todas las categorías (DS N° 002-2008-MINAM), tal como se muestra en los cuadros 6 - 8. Como se observa en el gráfico solamente en el mes de mayo hay un aumento considerable en el pH que supera el máximo valor aceptable (9,00), esto debe a las actividades antropogénicas que se desarrollan en la zona.

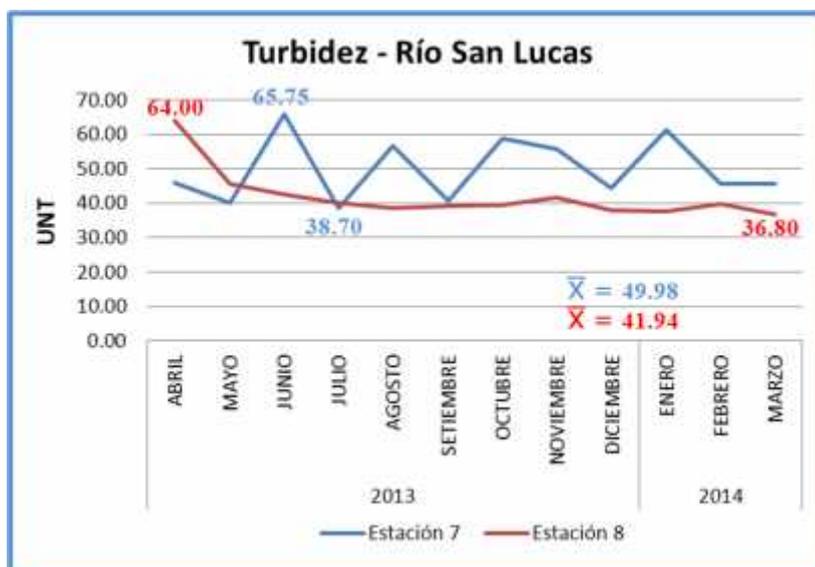


Figura 32: Variación de turbidez en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

Se aprecia en la figura que la variación de turbidez en la estación 7 (Puente amarillo) es de 38,70 – 68,75 UNT, la desviación estándar es de  $\pm 9,21$  y la media es 41,94 UNT, y en la estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) esta variación es de 36,80 a 64,00 UNT, la desviación estándar es de  $\pm 7,34$  y la media es de 49,98 UNT. El Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM considera solamente límites máximo permisible para Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (5 UNT), A<sub>2</sub> (100 UNT), B<sub>1</sub> (100 UNT), para las otras categorías no lo considera relevante.

Sin embargo, la teoría sostiene que la turbidez no debe ser superior a las 1 000UNT (Chapman, 1998), por lo tanto, teniendo en cuenta este dato y los resultados obtenidos en la investigación podemos afirmar que las aguas del río San Lucas si cumple con los estándares teóricos y la normatividad vigente.

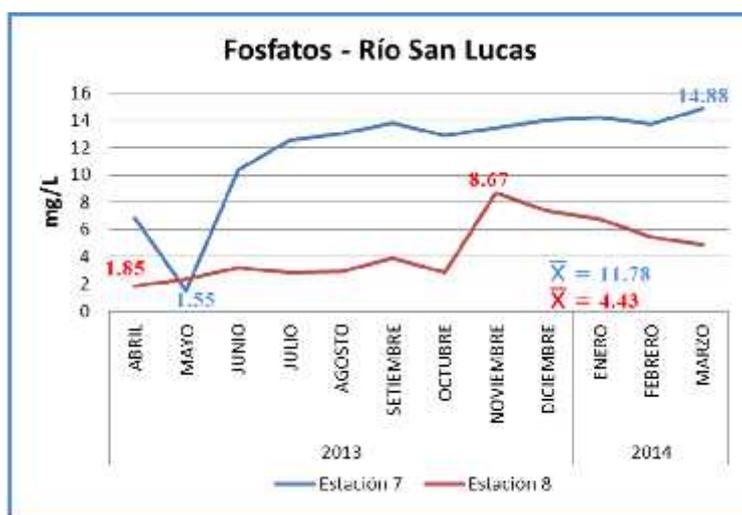


Figura 33: Concentración de fosfatos en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

Se observa en la figura 24 que la variación de la concentración de fosfatos en la *estación 7* (Puente amarillo) es de 1,55 - 14,88 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 3,87$  y una media es 11,78 mg/L. En la *estación 8* (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón), esta variación es de 1,85 a 8,67 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 2,19$  y la media es 4,43 mg/L. De acuerdo con estos resultados las aguas del río San Lucas presentan concentraciones superiores a las establecidas para las diferentes categorías y subcategorías en el D.S. N° 002-2008-MINAM. Este incremento de fosfatos se debería a la presencia de rocas ricas en fosfatos, actividades agropecuarias, aguas servidas y detergentes utilizados en las labores domésticas.

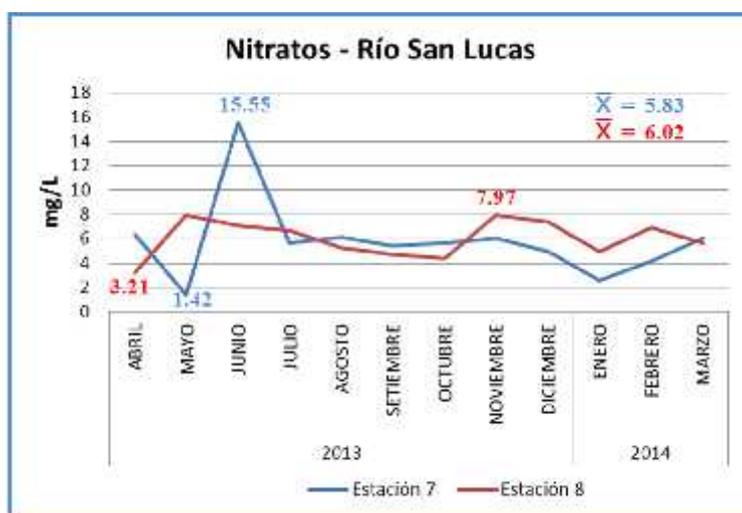


Figura 34: Concentración de nitratos en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

En la figura N° 34 se aprecia que la variación de nitratos en la *estación 7* (Puente amarillo) es de 1,42 (mayo) a 15,55 mg/L (junio) con una desviación estándar de  $\pm 3,42$  y una media de 5,83 mg/L, mientras que en la *estación 8* (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón), esta variación es de 3,21 (abril) a 7,97 mg/L (noviembre), la desviación estándar es de  $\pm 1,53$  y la media es 6,02 mg/L. Comparándolo con los ECA establecidos en la normatividad vigente en promedio las aguas del río San Lucas cumplen con las concentración establecida para las: Categoría 4 - Conservación del Ambiente Acuático, ríos de la sierra (10 mg/L); Categoría 3.- Bebidas de Animales(50 mg/L), Riego de Vegetales de tallo alto y tallo corto (10 mg/L), solamente en el mes de junio esta concentración aumenta considerablemente en la estación 7; como ya se manifestó este incremento en la concentración de nitratos de debe a las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan en la zona. Por otro lado, ninguna de las dos estaciones monitoreadas cumple con las concentraciones establecidas en el D.S. N° 002-2008-MINAM para la categoría 1 (1 mg/L).

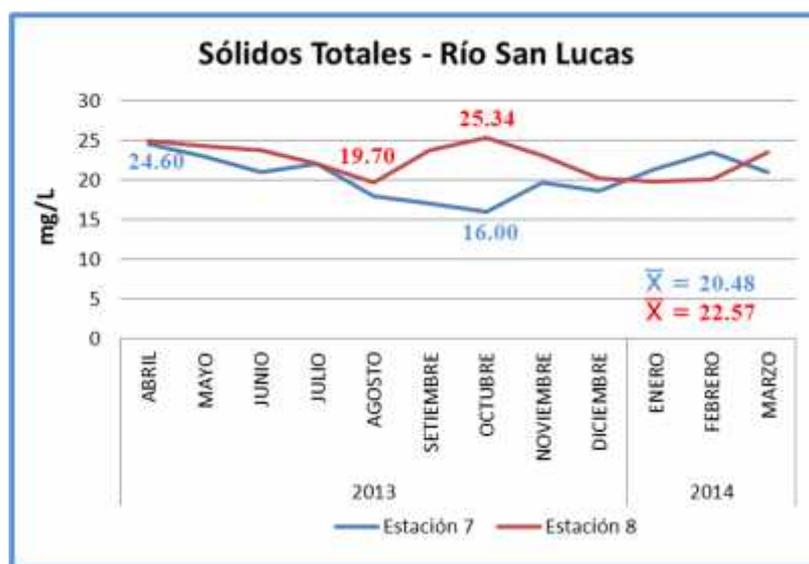


Figura 35: Variación de sólidos disueltos totales en el río San Lucas, estación 7 Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

Como podemos apreciar en el gráfico la variación de sólidos totales en la estación 7 (Puente amarillo) es de 16,00(octubre) – 24,60 mg/L (abril) con una desviación estándar de  $\pm 2,67$  y una media de 20,48 mg/L, y en la estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) ésta variación es de 19,70 (agosto) a 25,34 mg/L (octubre), la desviación estándar es de  $\pm 2,09$  y la media es 22,57 mg/L. Teniendo en cuenta la normatividad vigente este parámetro en las aguas del río San Lucas se encuentra en una concentración inferior a la concentración máxima aceptable para las categorías 1 (1000 – 1500 mg/L) y 4 (500 mg/L), pues para la categoría 3 el

D.S. N° 002-2008-MINAM) no lo establece, por lo que podemos aceptar la premisa que a menor concentración de sólidos disueltos totales le corresponde aguas de mejor calidad.

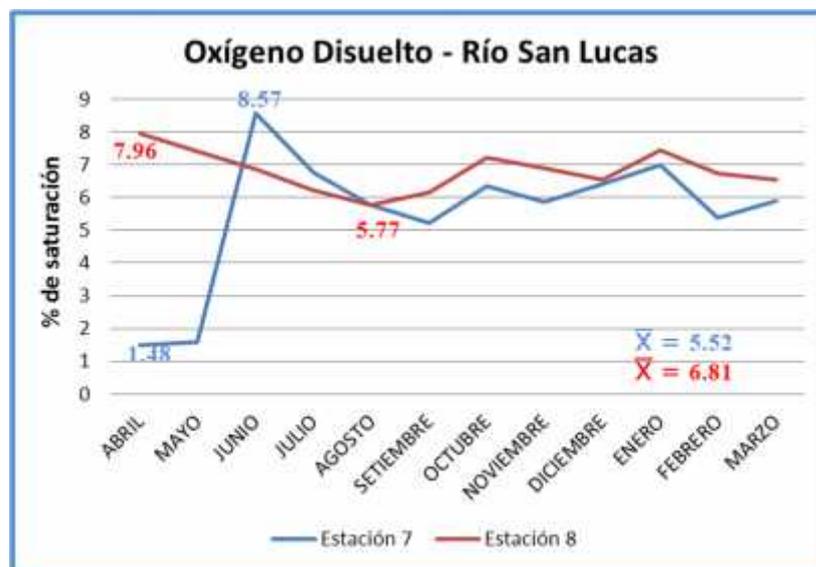


Figura 36: Variación de oxígeno disuelto en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

En la figura observamos que la variación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la estación 7 (Puente amarillo) es de (0,15 mg/L) 1,48 % de saturación (mes de abril) a (1,00 mg/L) 8,57 % de saturación (mes de junio), con una desviación estándar de  $\pm 2.06$  y una media de 5,52 % de saturación (0,55 mg/L), y en la estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) esta variación es de 5,77% de saturación (0,60 mg/L) en el mes de agosto a 7,96 % de saturación (0,80 mg/L) en el mes de abril, la desviación estándar es de  $\pm 0,62$  y la media es 6,81 % de saturación (0,70 mg/L).

Teniendo en cuenta la normatividad vigente, en las dos estaciones monitoreadas del río San Lucas la concentración de este parámetro está por debajo de los estándares de calidad de agua establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías (  $5 \text{ mg/L}$ ), como se muestra en los cuadros 6 - 8. La concentración de oxígeno disuelto es baja porque se ve afectada por la temperatura, aguas domésticas y residuales, materiales orgánicos disueltos y oxidantes inorgánicos, así como también a la presencia de algas y plantas acuáticas (eutrofización). Además, debemos tener en cuenta que las aguas del río San Lucas son poco turbulentas en consecuencia la superficie de contacto entre el gas y el agua es pobre lo cual se ve reflejado en el bajo porcentaje de saturación.

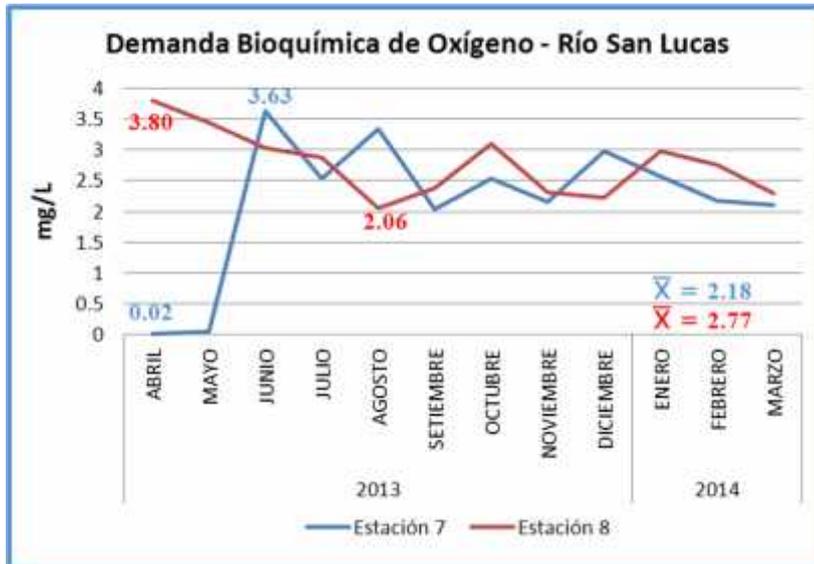


Figura 37: Variación de demanda bioquímica de oxígeno en río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

Se aprecia en la figura que la variación de la demanda bioquímica de oxígeno por 5 días en la estación 7 (Puente amarillo) es de 0,02 – 3,80 mg/L con una desviación estándar de  $\pm 1,12$  y una media de 2,18 mg/L; en la estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) dicha variación es de 2,06 a 3,80 mg/L, la desviación estándar es de  $\pm 0,53$  y la media es 2,77 mg/L. La concentración de  $DBO_5$  cumple con los ECA establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM para todas las categorías lo que nos indica que el río San Lucas mantiene su capacidad asimilativa de materia orgánica y autodepuración.

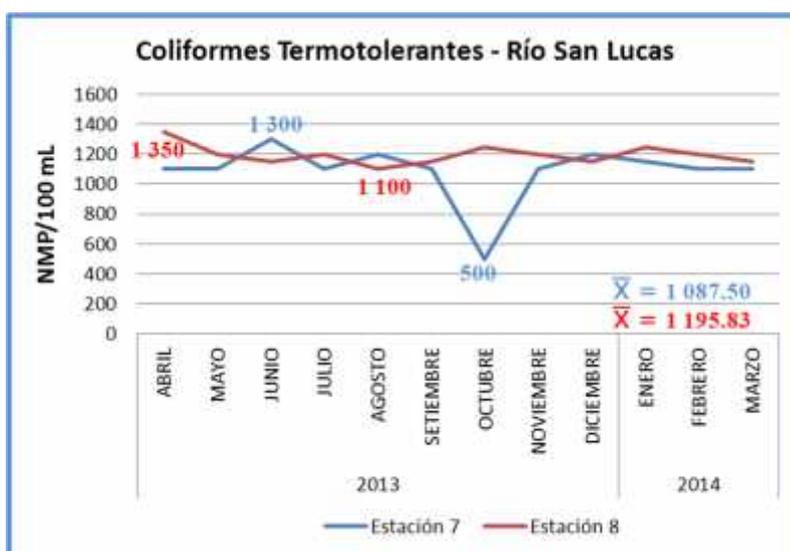


Figura 38: Variación de coliformes termotolerantes en el río San Lucas, estación 7 (Puente amarillo) y estación 8 (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón)

Como se observa en la figura 20 la variación de coliformes termotolerantes en la *estación 7* (Puente amarillo) es de 500 – 1 300 NMP/100 mL con una desviación estándar de  $\pm 195,55$  y una media de 1 087,50 NMP/ 100 mL, y en la *estación 8* (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón) es de 1 100,00 a 1 350 NMP/100 mL, la desviación estándar es de  $\pm 65,57$  y la media es 1 195,83 NMP/100 mL. A la luz de estos resultados y teniendo en cuenta la normatividad vigente las aguas del río San Lucas pueden ser destinadas a la producción de agua potable categoría 1,- Poblacional y Recreacional, subcategoría A<sub>2</sub> aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (2 000 NMP/100 mL). También cumple con los estándares de calidad ambiental para la categoría 4.- Conservación del ambiente acuático, ríos de la costa y la sierra (2 000 NMP/100 mL); categoría 3.- Riego de vegetales de tallo alto (2 000 NMP/100 mL). Estas aguas no cumplen con los LMP para la categoría 1,- Poblacional y Recreacional: subcategoría A<sub>1</sub> aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (0) es decir no debe existir presencia de coliformes termotolerantes, subcategorías B<sub>1</sub> contacto primario (200 NMP/100 mL), B<sub>2</sub> contacto secundario (1 000 NMP/100 mL); categoría 3.- Riego de Vegetales y Bebidas de Animales: vegetales de tallo bajo (1 000 NMP/100 mL), bebida de animales (1 000 NMP/100 mL). El incremento de este parámetro se debería entre otros factores al arrojamiento de aguas servidas al cauce del río. Cabe mencionar que la presencia de estos microorganismos en el agua es considerada como un índice evidente de contaminación (Romero, 2005), pues los coliformes termotolerantes influyen directamente en la contaminación del agua.

#### **4.1.2 Resumen de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en las ocho estaciones monitoreadas y el uso de estas aguas de acuerdo al D.S. N° 002-2008-MINAM**

En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológico de las muestras tomadas durante el periodo 2013-2014 en las 8 estaciones precitadas en las figuras (3 a la 38) se analizan los parámetros fisicoquímicos y bacteriológico en promedio de todas las estaciones monitoreadas, asimismo se expone el uso de estas aguas de acuerdo a la clasificación de aguas superficiales consideradas en la Ley General de Recursos Hídricos, los cuales se presentan a continuación:

Río	Estación	Nombre de la estación
Tres Ríos	1	Zona Corisorgona – Chamis
	2	Puente Tres Ríos
Ronquillo	3	Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia
	4	Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia
Urubamba	5	Barrio Urubamba II
	6	Barrio Urubamba I
San Lucas	7	Puente amarillo
	8	Antes de la desembocadura en el río Mashcón - Barrio Bella Unión

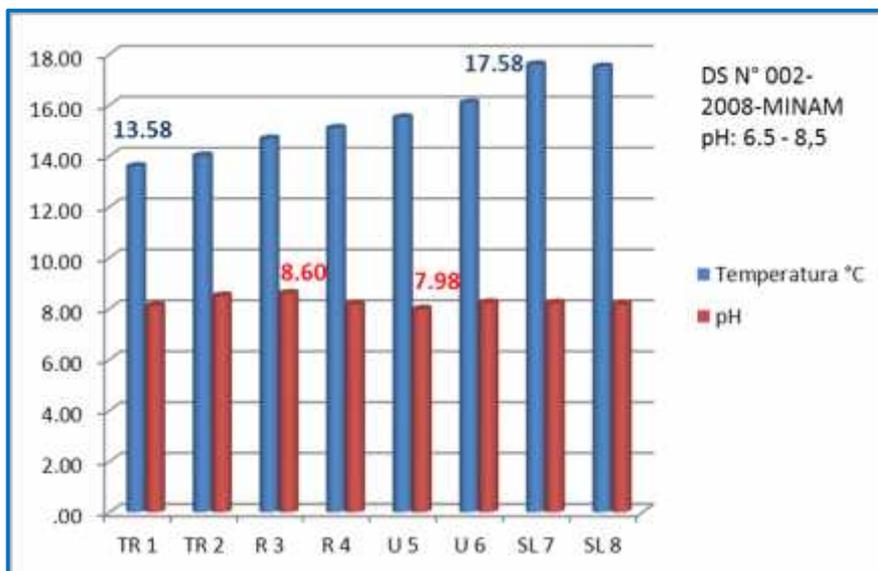


Figura 39: Temperatura y pH en los Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas

Como se observa en la figura la variación de la temperatura en las ocho estaciones monitoreadas (13,58°C – 17,58°C), dependen de la altitud a la que se encuentran estos ríos, temperaturas bajas en la parte alta (río Tres Ríos) incrementándose en la zona baja de la ciudad de Cajamarca (río San Lucas). Además, estos ríos presentan un pH ligeramente alcalino y cumple con los ECA establecidos en la Ley de Recursos Hídricos para ríos de la sierra, solamente en el río Ronquillo el pH se aleja 0,10 unidades del límite establecido para los ríos de la sierra, este incremento es mínimo y se debe a que en el mes de mayo el pH fue de 9,06 debido a las actividades domésticas que se desarrollan en la zona.

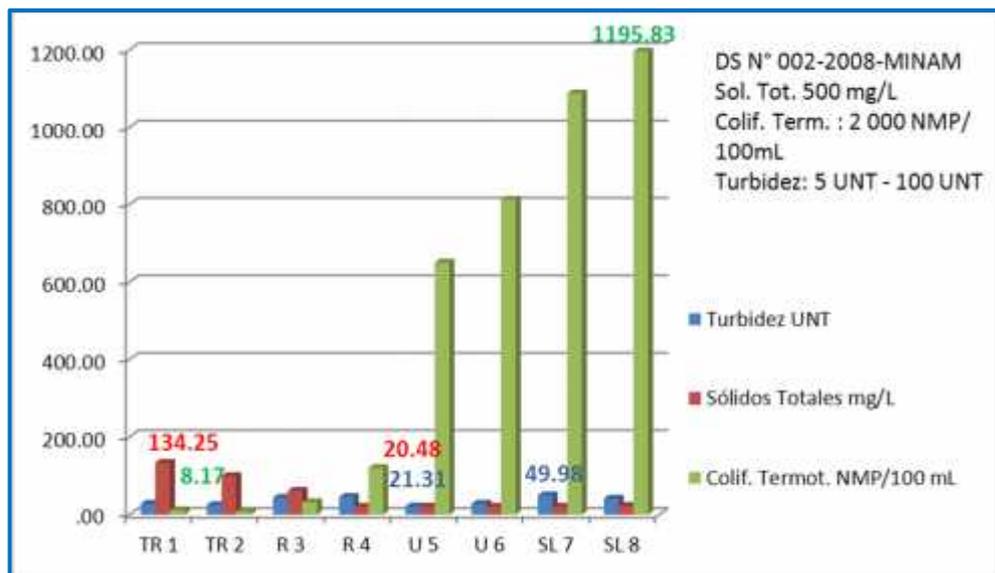


Figura 40: Turbidez, sólidos totales y coliformes termotolerantes en los Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas

En la figura 31 se aprecia que la turbidez en las 8 estaciones muestreadas fluctúa entre 21,31 UNT y 49,98 UNT, el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM considera LMP solamente para la Categoría 1.- Poblacional y Recreacional, subcategorías A<sub>1</sub> (5 UNT), A<sub>2</sub> (100 UNT), B<sub>1</sub> (100UNT), pero los estándares teóricos señalan que la turbidez de las aguas no deben ser superiores a los 1 000 UNT (Chapman, 1998), de acuerdo con ello las aguas de los tres río monitoreados son ligeramente turbias incrementándose esta turbiedad en el río San Lucas (puente amarillo). Los sólidos totales disueltos varían entre 20,48 mg/L – 134,25 mg/L, que de acuerdo con este decreto este parámetro cumple con los estándares de calidad establecidos para los ríos de la sierra, sin embargo observamos que en el río Tres Ríos la concentración de este parámetro es superior a la de los demás ríos esto se debería a los procesos de erosión naturales y los provocados por el hombre, así como a la falta de protección de los suelos, lo que ocasiona arrastre de materiales por escorrentía superficial durante las lluvias producidas en la zona. También se aprecia que el número de coliformes termotolerantes en todas las estaciones muestreadas se encuentran por debajo de los LMP establecidos para los ríos de la sierra (2 000 NMP/100 mL), sin embargo podemos observar que en los ríos Tres ríos y Ronquillo la presencia de coliformes fecales es baja en comparación con los ríos Urubamba y San Lucas, este incremento se debe al arrojado de aguas servidas al cauce de estos ríos así como a la existencia de letrinas y desagües que desembocan en estos ríos.

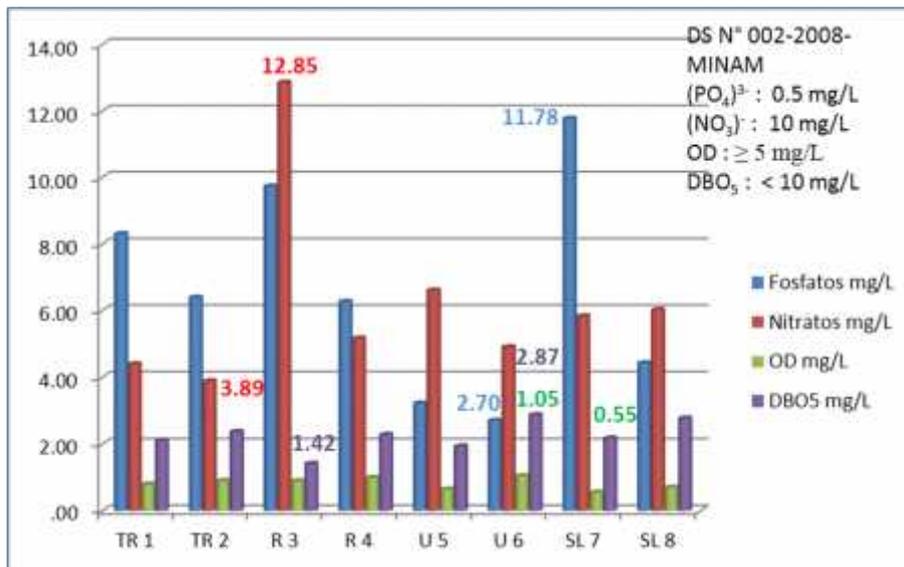


Figura 41: Fosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno en los Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas

En la figura 32 observamos que la variación de fosfatos en las ocho estaciones muestreadas es de 2,70 mg/L – 11,78 mg/L. parámetro que se encuentra por encima del valor establecido por la normatividad vigente para los ríos de la sierra que es de 0,5 mg/L, esto se debería a la presencia de rocas ricas en fósforo así como a las actividades antropogénicas desarrolladas en la zona sobre todo al uso de detergentes en el lavado doméstico, La concentración de nitratos en las 7 estaciones se encuentran en el valor aceptable para ríos de la sierra establecido en el D.S. N° 002-2008-MINAM, solamente en la estación 3 – Río Ronquillo este valor se eleva en 2,85 unidades sobre el valor establecido en la normatividad vigente, el incremento de nutrientes se puede deber al uso de fertilizantes en la zona, pues a la ribera de este río se encuentran terrenos de cultivo de forrajes y artículos de pan llevar, así como a la crianza de animales mayores y menores. También apreciamos en la figura que la concentración de oxígeno disuelto en todas las estaciones se encuentra por debajo de los límites establecidos para los ríos de la sierra esto mayormente se debería a varios factores los más resaltantes serían la presencia de alta concentración de fosfatos que se traduce en eutrofización es decir incremento de plantas y algas acuáticas las cuales consumen oxígeno para la fotosíntesis y el poco caudal que genera poca turbulencia en los ríos y no permite que el oxígeno entre en contacto con el agua. En cambio, la demanda bioquímica de oxígeno es menor al límite establecido para las aguas de los ríos de la sierra (10 mg/L).

## Destino de las aguas de las estaciones considerados en la presente investigación

A continuación, se detalla el significado de las abreviaturas:

Río	Abreviatura	Significado
Tres Ríos	ZC - CH	Zona Corizorgona - Chamis
	PTR	Puente Tres Ríos
Río Ronquillo	ACAPTSA	Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta de Santa Apolonia
	DSAPTSA	Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta de Santa Apolonia
Río Urubamba	BU II	Barrio Urubamba II
	BU I	Barrio Urubamba I
Río San Lucas	PA	Puene Amarillo
	ADRM	Antes de la desembocadura en el río Mashcón

Cuadro 11: Calidad de uso de las aguas de los ríos Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas, D.S. N° 002-2008-MINAM

Normativa	Destino del Agua	Estación							
		C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II	BU - I	PA	ADRM
Ley de Recursos Hídricos	Agua potable con tratamiento convencional	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II	BU - I	PA	ADRM
	Para recreación, contacto primario	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA				
D.S. N° 002-2008-MINAM	Riego de vegetales de tallo alto y bajo	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II	BU - I		
	Riego de vegetales de tallo alto	PA	ADRM						
	Bebida para animales	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II	BU - I		

### **Fuente: Elaboración propia**

El presente análisis del uso de agua tres ríos en estudio se lo realizaron teniendo en cuenta los estándares de calidad de la ley nacional, pero cabe recalcar que estos ríos presentan problemas de eutrofización y poco caudal, lo que incide en el bajo porcentaje de oxígeno disuelto.

### 4.1.3 Análisis Estadístico y Coeficiente de correlación de Pearson

Cuadro 12: Estadísticos descriptivos de las estaciones monitoreadas

Parámetros	Media	Desviación típica	N
Oxígeno Disuelto	7.0000	.84110	8
Coliformes Termotolerantes	489.8963	505.84879	8
pH	8.2463	.20396	8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.2438	.45981	8
Fosfatos	6.6050	3.18580	8
Nitratos	6.2088	2.82581	8
Sólidos Disueltos Totales	50.1113	44.65223	8
Temperatura	15.4988	1.48634	8
Turbidez	35.5988	10.91136	8

Cuadro 13: Correlación de Pearson entre los parámetros estudiados en las ocho estaciones monitoreadas

Parámetros	Oxígeno Disuelto	Coliformes Termotolerantes	pH	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Temperatura	Turbidez
Oxígeno Disuelto	1	-.561	.400	.268	-.338	-.119	.377	-.568	-.247
Coliformes Termotolerantes	-.561	1	-.436	.522	-.201	-.138	-.696	.953	.247
pH	.400	-.436	1	-.325	.398	.501	.317	-.298	.211
Demanda Bioquímica de Oxígeno	.268	.522	-.325	1	-.559	-.723	-.263	.421	-.123
Fosfatos	-.338	-.201	.398	-.559	1	.328	.302	-.038	.610
Nitratos	-.119	-.138	.501	-.723	.328	1	-.135	-.001	.366
Sólidos Disueltos Totales	.377	-.696	.317	-.263	.302	-.135	1	-.791	-.385
Temperatura	-.568	.953	-.298	.421	-.038	-.001	-.791	1	.504
Turbidez	-.247	.247	.211	-.123	.610	.366	-.385	.504	1

● La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

● La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

**Fuente:** Elaboración propia

Los coeficientes positivos indican que uno de los parámetros crece en forma simultánea y proporcional al otro parámetro relacionado. Los coeficientes negativos indican que cuando uno de los parámetros crece el otro decrece en la misma proporción (Murray, 1969). Para tomar

como aceptable o no una relación y por tratarse de parámetros de calidad de agua, se tomó el criterio de aceptable cuando el coeficiente  $r \geq 0.50$  (García, 2002).

De la matriz de correlaciones (Cuadro 29) se observa que la forma en que las variables más se correlacionan corresponde a:

- ✧ Un primer grupo con una correlación positiva aceptable conformada por: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno y temperatura; nitratos y pH; fosfatos y turbidez; temperatura y turbidez con un nivel de significancia 0,05 (bilateral) muestra la fuerte dependencia lineal positiva con coeficientes de correlación  $r > 0,5$ .
- ✧ Un segundo grupo con correlación lineal positiva conformado por oxígeno disuelto, pH y demanda bioquímica de oxígeno; coliformes termotolerantes y turbidez; pH, nitratos, fosfatos, sólidos totales; demanda bioquímica de oxígeno y temperatura; nitratos fosfatos y turbidez; sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, pH y fosfatos; turbidez, coliformes termotolerantes, pH y nitratos. Este grupo podría estar describiendo enriquecimiento de nutrientes (nitratos y fosfatos), la dependencia del pH en función de estos nutrientes y al mismo tiempo se estarían acumulando sedimentos. Estos nutrientes pueden estar causando una sobreproducción de algas y plancton (eutrofización), que se descomponen y consumen oxígeno lo que se reflejaría en una baja concentración de oxígeno disuelto en el agua.

## **4.2 DETERMINACIÓN DEL ICA DE LOS RÍOS EN ESTUDIO Y LA COMPARACIÓN CON LA CLASIFICACIÓN DE LA LEY DE RECURSOS HÍDRICOS DEL PERÚ**

### **4.2.1 Índice de Calidad de las 8 estaciones monitoreadas**

Como se ha mencionado en el marco teórico, el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NFS - WQI) fue desarrollada por Roberto Brown bajo la metodología Delphi. En base a este índice y haciendo uso de las curvas de la NSF y los parámetros correspondientes se valoró cada estación monitoreada, obteniéndose los resultados del Cuadro 30 que también ilustra el color de cada índice de acuerdo a su clasificación. Además, cabe resaltar que en el anexo 4 se muestra un ejemplo de cómo aplicar la ecuación de Brown para calcular el Índice de Calidad del Agua. Además para calificar las aguas de cada una de las estaciones monitoreadas se tomó como base los colores de las categorías propuestas por Brown (Cuadro 3) y los Índices de Calidad del agua de cada una de las 8 estaciones consideradas en el presente estudio y se presentan en el apéndice 4 Cuadros 34 al 41.

Cuadro 14: Resumen del Índice de Calidad del Agua ICA en las 8 estaciones monitoreadas

Río	Estación	ICA	Estado de Calidad de agua	Color
Tres Ríos	Zona Corisorgona – Chamis	56	Regular	Amarelo
	Puente Tres Ríos	56	Regular	Amarelo
Ronquillo	Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	51	Regular	Amarelo
	Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia	50	Regular	Amarelo
Urubamba	Barrio Urubamba II	51	Regular	Amarelo
	Barrio Urubamba I	49	Mala	Rojo
San Lucas	Puente amarillo	45	Mala	Rojo
	Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión	46	Mala	Rojo

**Fuente:** Elaboración propia

Las aguas con “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas, mientras que las aguas que pertenecen a la categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

De acuerdo con la calificación del ICA en función del uso del agua, Brown definió 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada; (EC) Excesivamente Contaminada. Estos rangos se muestran en el Cuadro N° 4 y en base a ellos se ha establecido el uso al que se pueden destinar las aguas de cada una de las 8 estaciones monitoreadas que se presentan a continuación.

Cuadro 15: Criterios Generales del Uso al que se Destina el Agua

Normativa	ICA	Destino del Agua	Estación				
Ecuación de Brown	Regular	Agua potable con tratamiento potabilizador	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II
		Utilizable en la mayoría de cultivos	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II
		Restringir los deportes de inmersión precaución si se ingiere (bacterias)	C - CH	PTR	ACAPTSA	DSAPTSA	BU - II
	Mala	Dudosa para consumo	BU - I	PA	ADRM		
		Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos	BU - I	PA	ADRM		
		Dudosa para contacto con el agua	BU - I	PA	ADRM		

**Fuente:** Elaboración propia

Como se aprecia en el cuadro el Índice de Calidad del Agua (ICA). indica en primer lugar que el agua de los ríos Tres Ríos, Ronquillo califican como regular en sus dos estaciones a diferencia del río Urubamba que solamente la estación del barrio Urubamba II, y en segundo lugar la segunda estación del río Urubamba (Barrio Urubamba I) y las dos estaciones del río San Lucas califican en la categoría de mala, esto debido al incremento de coliformes termotolerantes tal como se muestra en los cuadros anteriores, lo que sugiere que las aguas de estos ríos están presentando problemas de contaminación por el arrojado de aguas servidas al cauce de estos ríos y el incremento de arrojado de residuos orgánicos e inorgánicos en las riveras y al mismo cauce de estos ríos.

## CAPÍTULO V

### COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

#### 5.1 Hipótesis General

La clasificación del uso de agua de los tributarios de la Subcuenca del San Lucas en función del Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown presenta diferencias significativas en espacio y tiempo, cuyos valores no corresponden con la clasificación establecida en la Ley de Recursos Hídricos del Perú.

Cuadro 16: Comparación del Destino del Agua entre la Ley de Recursos Hídricos y el Índice de Calidad del Agua

NORMATIVA	DESTINO DEL AGUA	ESTACIÓN							
		C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA	BU - II	BU - I	PA	ADRM
ICA Ecuación de Brown	Agua potable con tratamiento potabilizador	C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA	BU - II			
	Utilizable en la mayoría de cultivos	C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA	BU - II			
	Restringir los deportes de inmersión precaución si se ingiere (bacterias)	C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA	BU - II			
	Dudosa para consumo	BU - I	PA	ADRM					
	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos	BU - I	PA	ADRM					
	Dudosa para contacto con el agua	BU - I	PA	ADRM					
Ley de Recursos Hídricos	Agua potable con tratamiento convencional	C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA	BU - II	BU - I	PA	ADRM
	Para recreación, contacto primario	C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA				
D.S. N° 002- 2008-MINAM	Riego de vegetales de tallo alto y bajo	C - CH	PTR	ACAP TSA	DSAP TSA	BU - II	BU - I		
	Riego de vegetales de tallo alto	PA	ADRM						

Leyenda  Semejante  
 Diferente

**Fuente:** Elaboración propia

En el cuadro se observa semejanzas y diferencias entre los estándares de calidad considerados en la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N° 002-2008-MINAM) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) que a continuación se detallan:

Las aguas de las dos estaciones de los ríos Tres Ríos, Ronquillo y la estación Barrio Urubamba II (río Urubamba) califican para ser destinadas a la producción de agua potable con tratamiento potabilizador mientras que los ECA considerados en la Ley de Recursos Hídricos considera que no solamente las aguas de las 5 primeras estaciones sino también las aguas de las estaciones restantes (barrio Urubamba I) y las dos estaciones del río San Lucas pueden ser utilizadas para producir agua potable con tratamiento convencional.

Otra diferencia se da en las aguas utilizadas para recreación, el ICA en la categoría de regular que se da en las dos estaciones de los ríos Tres Ríos, Ronquillo y Urubamba en su primera estación recomienda restringir los deportes por inmersión o sea en contacto primario y evitar ingerir el agua porque puede haber presencia de bacterias; sin embargo, en la ley peruana para todas estas estaciones menos el río Urubamba en sus dos estaciones permite el contacto primario con estas aguas sin ninguna restricción y además no presenta límites para los parámetros de fosfatos y sólidos totales disueltos.

En cuanto al riego de vegetales de acuerdo a la clasificación de Brown se puede utilizar las aguas de las estaciones: 1.- Zona Corizorgona – Chamis, 2.- Puente Tres Ríos, 3.- Antes de la captación de agua para la PTAP de Santa Apolonia, 4.- Después de la captación de agua para la PTAP de Santa Apolonia, 5.- Barrio Urubamba II para riego de la mayoría de cultivos y las aguas de las estaciones 6.- Barrio Urubamba I, 7.- Puente Amarillo y 8.- Antes de la desembocadura en el río Mashcón considera que estas aguas deben ser tratadas (PTAR) antes de ser utilizadas para riego en la mayoría de cultivos. En cambio, los ECA establecidos en la Ley de Recursos Hídricos (Nº 29338) permite el riego de vegetales de tallo alto y bajo con las aguas de los ríos Tres Ríos, Ronquillo y Urubamba y las aguas del río San Lucas se deben utilizar para regar plantas de tallo alto.

De acuerdo con lo expuesto podemos concluir que si se cumple la hipótesis planteada pues si existen diferencias significativas entre la clasificación del ICA y la Ley de Recursos Hídricos sobre todo en lo que respecta a la presencia de coliformes termotolerantes (0,16) y al oxígeno disuelto (0,17) a cuyos parámetros ICA les asigna coeficientes de ponderación altos tal como se muestra en el Cuadro 2, mientras que los ECA considerados en nuestra ley son más flexibles. Utilizando la ecuación de Brown y las curvas de la NSF hemos clasificado las diversas categorías consideradas en el DS N° 002-2008-MINAM las cuales solamente la categoría 1 subcategoría A<sub>2</sub> (producción de agua potable) y B<sub>1</sub> (recreación) se encuentran con un ICA 55 que clasifican en calidad regular las otras categorías clasifican en calidad mala, como podemos apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro 17: Índice de Calidad del Agua (ICA) de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua de acuerdo a categorías DS N° 002-2008-MINAM

Destino del agua	ICA	Estado de Calidad de agua	Color
Producción de agua potable	55	Regular	Amarelo
Recreación	55	Regular	Amarelo
Conservación del ambiente acuático (ríos)	48	Mala	Rojo
Riego de vegetales de tallo bajo	42	Mala	Rojo
Riego de vegetales de tallo alto	42	Mala	Rojo
Bebida para animales	36	Mala	Rojo

**Fuente:** Elaboración propia

Teniendo todo en consideración, existen dos parámetros en todas las estaciones como son el oxígeno disuelto, fosfatos y en menor medida, los nitratos, que reflejan que las estaciones están sometidas a impactos o alteraciones de la calidad del agua, estos tres parámetros están relacionados pues la falta de oxígeno disuelto es un indicador de contaminación que puede estar en función de la presencia de plantas acuáticas, materia orgánica oxidable, de organismos y de gérmenes aerobios, existencias de grasas, de hidrocarburos, de detergentes, etc.

Resumiendo:

- ✓ Los fosfatos aunque no son tóxicos por sí mismos puede causar problemas para la salud de los ríos, la presencia de los mismos se debe al uso de detergentes en las actividades domésticas que se realizan dentro y fuera del cauce de los ríos así como el uso de fertilizantes en terrenos agrícolas los cuales son arrastrados o lavados por las precipitaciones en la zona, pues si entran cantidades excesivas de fosfatos en los cursos de agua, las algas y plantas acuáticas crecerán excesivamente, obstruirán el curso y consumirán grandes cantidades de oxígeno.
- ✓ Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esta forma cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y, consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno.

- ✓ Los compuestos que contienen nitrógeno actúan como nutrientes en corrientes y ríos, estas reacciones para convertir el nitrógeno en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en el agua dulce pueden agotar el oxígeno. Las principales vías de ingreso de nitrógeno en las masas de agua son las aguas residuales locales, descargas de terrenos de engorde de chanchos, los desechos animales (entre ellos, de aves y pescados).
  
- ✓ El oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, proveniente principalmente del oxígeno absorbido de la atmósfera por el movimiento constante del agua como los oleajes, saltos y rápidos, pero el caudal de estos ríos es bajo esto afectaría el porcentaje de saturación como se lo ha presentado en tiempo y espacio en los cuadros anteriores que esta saturación es demasiado baja pues para que el río sea saludable este porcentaje debe ser mayor al 70%, el poco caudal de los ríos no solamente se observa en época de estiaje sino también en invierno debido a que sus aguas son desviadas a través de acequias para regadío de pequeñas parcelas y fincas lo cual no permite que las aguas de estos ríos se oxigenen adecuadamente.

Finalmente, es preciso indicar que a partir de la estación 6 (Urubamba I) la calidad del agua es mala porque se incrementa la concentración de coliformes termotolerantes (coliformes fecales) esto indica que el agua está contaminada con materia fecal de seres humanos o animales; asimismo, el agua puede estar contaminada con patógenos, bacterias o virus que producen enfermedades. La presencia de contaminación fecal indica que existe riesgo potencial para la salud de los individuos expuestos a esta agua. Las bacterias coliformes fecales pueden aparecer en las aguas ambientales debido al desborde de aguas residuales domésticas o provenientes de fuentes no específicas de desecho humano y animal.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en todas las estaciones monitoreadas del río Tres Ríos, Ronquillo, Urubamba y San Lucas cumplen los Estándares de Calidad Ambiental del agua establecidos por la Ley de Recursos Hídricos del Perú (D.S. N° 002 – 2008 MINAM), a excepción de los fosfatos que superan el ECA establecido para este parámetro que es de 0,5 mg/L y el oxígeno disuelto que se encuentra por debajo de la concentración establecida para este parámetro (OD < 5 mg/L)
- La tendencia de los valores calculados para el ICA en las estaciones de los ríos Tres Ríos, Ronquillo y la estación Barrio Urubamba II califican en la categoría regular en la cual las aguas de estas estaciones pueden usarse para consumo humano previa potabilización, recreación y riego de todo tipo de cultivos. La estación Barrio Urubamba I y las dos estaciones del río San Lucas califican en la categoría mala la calidad de estas aguas son dudosas para consumo y contacto con ella, requiere tratamiento para la mayoría de los usos agrícolas e industriales.
- Existen diferencias significativas entre la clasificación del ICA y la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N° 002-2008-MINAM ), pues el ICA es mucho más exigente en la calificación de los parámetros en estudio sobre todo en lo que respecta a la presencia de coliformes termotolerantes y al oxígeno disuelto en aguas destinadas para diferentes usos.
- Los ríos Tres Ríos, Ronquillo y la parte alta del río Urubamba se encuentran en la zona rural y su calidad de agua es mejor que la que presentan la parte baja del río Urubamba y el río San Lucas que se encuentran en la zona urbana, lo que demuestra que los pobladores que viven a la ribera de estos ríos arrojan residuos orgánicos e inorgánicos, así como aguas servidas a las cuencas de estos ríos, lo que incrementa la presencia de coliformes termotolerantes que deteriora la calidad de sus aguas presentando mayor contaminación que en los ríos de la parte alta de la ciudad.

📊 El Índice de Calidad del Agua – Ecuación de Brown es un método de evaluación química que permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua, que podría usarse para monitorear toda la Subcuenca del Río San Lucas y sus tributarios y utilizar los resultados para evaluar su propio problema de contaminación.

## 6.2 Recomendaciones

A las Autoridades competentes, instituciones públicas, privadas y personas individuales que tienen el deseo de contribuir a mejorar y recuperar la subcuenca del San Lucas:

- ✨ La presente investigación debe servir como base para estudios posteriores, ya que a través de su lectura e interpretación establece una metodología que podría ser utilizada para complementar y enriquecer más la realización de trabajos similares.
- ✨ Se debe monitorear las aguas de estos ríos para lograr establecer la variabilidad temporal de la calidad de agua, a fin de determinar si se presentan cambios a lo largo del tiempo por causas naturales o por acción antropogénica o fuente de contaminación.
- ✨ Se puede utilizar el ICA, como una herramienta alternativa de evaluación de la calidad de agua para usos generales, por ser un método rápido y eficaz que permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad de aguas superficiales, alteradas por contaminación antropogénica o impactos mineros e industriales, teniendo en cuenta en primer lugar, la ponderación de los parámetros de mayor incidencia en la zona de influencia.

## LISTA DE REFERENCIAS

- 📄 Agencia Catalana del Agua. Índices de Calidad. 2000. Generalitat de Catalunya Disponible en [mediambient.gencat.net/aca/es//aiguamedi/rius/indexs\\_qualitat.jsp](http://mediambient.gencat.net/aca/es//aiguamedi/rius/indexs_qualitat.jsp)
- 📄 Aguinaga, S. 1996. Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y efluentes. Laboratorio DINAMA (Dirección Nacional de Medio Ambiente). Uruguay
- 📄 Almeida, A y Martínez, E. Manuales de Monitoreo Ambiental Comunitario (3). (2002, Quito, Ecuador). Indicadores físicos en ríos. Disponible en: [in-la.nivel7.net/fileadmin/Manualespdf/Manuales\\_scan\\_doc CEASPA/Manual\\_de\\_monitoreo\\_3.pdf](http://in-la.nivel7.net/fileadmin/Manualespdf/Manuales_scan_doc CEASPA/Manual_de_monitoreo_3.pdf)
- 📄 APHA. American Public Health Association. 1992. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. España. edc. Diaz de Santos.
- 📄 APHA. American Public Health Association. 2005. Standards Methods for the examination of water & wastewater. 21 ed. Washington, DC.
- 📄 Beamonte, E; Casino, A; Veres, E. y Bermúdez, J. 2004. Un indicador global para la calidad de agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. Estadística Española. v.46, nº. 156, p. 357 – 384. Disponible en [www.ine.es/revistas/estaespa/156\\_6.pdf](http://www.ine.es/revistas/estaespa/156_6.pdf)
- 📄 Brown, M.; McClelland, I.; Deininger, A. and Tozer, G. 1970. A Water Quality Index - Do We Dare? Water Sewage Works. USA.
- 📄 Canter, L. 1998. Manual de Evaluación del Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los Estudios de Impacto. 2 ed. España. Editorial Mc. Graw – Hill.
- 📄 Cassini A. 2003. Confirmación Hipotético-Deductiva y Confirmación Bayesiana. Universidad de Buenos Aires (CONICET). Disponible en... <http://www.scielo.org.ar/pdf/anafil/v23n1/v23n1a03.pdf>
- 📄 Chapman, D. (1998). Water quality assesment: A guide to the use of biota, sediments and water inenviromental monitoring. UNESCO/WHO/UNEP E&FN SPON, London.
- 📄 Centro de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (CIEFIM), disponible en... <http://sites.google.com/site/ciefim/investigaci%C3%B3ncorrelacional>
- 📄 Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (**CORANTIOQUIA**). Gestión Ambiental para la Vida. Colombia. ©Copyright 2005. Disponible en... [www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID74.pdf](http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID74.pdf)
- 📄 Dinius, S. 1987. Design of a Water Quality Index, W.R. Bulletin 23 (5): 833 -843.

- ✚ Echarri, L. 1998. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente: Contaminación de las aguas. España. Editorial Teide. 200 p. Libro electrónico. Disponible en... [www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/00General](http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/00General)
- ✚ García, H. (2002). Cuantificación de la calidad del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa en un período de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada al lago de Amatitlán. Estudio especial, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -ERIS-, Universidad San Carlos, Facultad de ingeniería. Guatemala
- ✚ INDECI et al. Programa de Ciudades Sostenibles. 2003. Mapa de Peligros de la Ciudad de Cajamarca (Informe final).
- ✚ IOWA DNR/IGS: The IOWa Department of Natural Resources. 2007. Water Quality Index (WQI). Disponible en... [wqm.igsb.uiowa.edu/wqi/wqi.asp](http://wqm.igsb.uiowa.edu/wqi/wqi.asp)
- ✚ LENNTECH. Agua & Tratamiento del Aire Holding (2006 Holanda). Copyright © 1998-2008. Disponible en... e-mail: [info@lenntech.com](mailto:info@lenntech.com)
- ✚ León, L. 1991. Índice de Calidad del Agua (ICA). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Inf. SH-9101/01). México.
- ✚ Ley de Recursos Hídricos. 2009. Ley N° 29338. Perú.
- ✚ Madigan, M.; Martinku, J. y Parker, J. 1997. Biología de los microorganismos. 8 ed. Madrid. Editorial Prentice Hall.
- ✚ Marín, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas. España. Editorial Díaz de Santos. Universidad Politécnica de Cartagena.
- ✚ Michaud, J. (2001). Eurovisión – Environmental Consulting Service-Olympia-Washington. Disponible en... [ww.ecy.gov/programs/wq/plant/management/yourmanual/streams.html](http://ww.ecy.gov/programs/wq/plant/management/yourmanual/streams.html).
- ✚ Murray, S. (1969). Estadística, teoría y problemas. Bogotá. Editorial Mc Graw-Hill.1969
- ✚ National Sanitation Foundation. Field Manual for Water Quality Monitoring. Disponible en... <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring>
- ✚ Normas Técnicas del ICCA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) y CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. Preparado por: Biblioteca Conmemorativa Orton (IICA / CATIE) 4 ed.
- ✚ Ott, W.1978. Environmental Indices, Theory And Practice, Aa Science, Ann Arbor, Michigan
- ✚ Revista Ambientum. Índices de Calidad. Edición abril 2004 - Aguas. Consultado el 26 oct. 2011. Disponible en... [www.ambientum.com/revista/2004\\_04/INDICES](http://www.ambientum.com/revista/2004_04/INDICES)
- ✚ Rolim, S. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización. 1 ed. Bogotá. Editorial Mc Graw Hill.
- ✚ Romero, J. 1999. Calidad del agua. Colombia. Editorial Alfaomega.

- ✚ Romero, J. 2005. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Práctica. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ✚ Saldaña, F; García, J. y Navarrete, V. 1996. Impacto de las Descargas Antropogénicas en el Rio Apatlaco, Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- ✚ Sancha, A. y Espinoza, C. 2001. Determinación de contenido natural e índices de calidad: ¿Presente y futuro de calidad de aguas?. XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS-CHILE. Santiago, Chile
- ✚ Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2002. Índice de Calidad de Agua. El Salvador. Disponible en... [www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf](http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf)
- ✚ Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina. Calidad de agua. 2002. Disponible en... [www.rekursoshidricos.gov.ar/CalidadAgua.htm](http://www.rekursoshidricos.gov.ar/CalidadAgua.htm)
- ✚ Ugarte, O. y Marroquín, E. 2006. Contribuciones para una Visión del Desarrollo de Cajamarca: Lineamientos para una Política Regional de Salud. Editor Francisco Guerra García. 1ª ed. Cajamarca, Perú. Editorial Visual Service. v. 5.
- ✚ Tam, J., Vera, G. y Oliveros R. 2008. Tipos, métodos y estrategias de investigación. Pensamiento y acción. 5: 145 – 154

# APÉNDICE 1

## GALERÍA DE FOTOS DE ESTACIONES DE MUESTREO

### RÍO TRES RÍOS

❖ Estación N° 1: Zona Corisorgona – Chamis





Estación Nº 2: Puente Tres Ríos





## RÍO RONQUILLO

❖ Estación N° 3: Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia





❖ Estación N° 4: Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia





## RÍO URUBAMBA

❖ Estación N° 5: Barrio Urubamba II





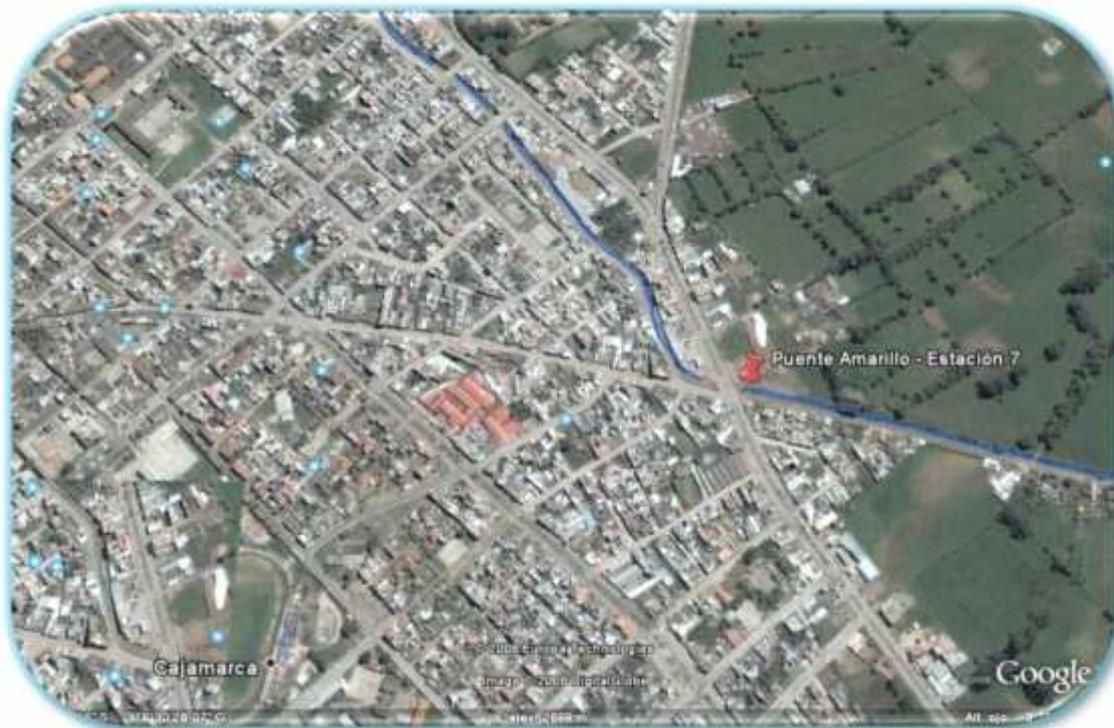
❖ Estación N° 6: Barrio Urubamba I





## RÍO SAN LUCAS

❖ Estación N° 7: Puente amarillo





Ç



❖ Estación N° 8: Antes de la desembocadura en el Río Mashcón (Barrio Bella Unión)

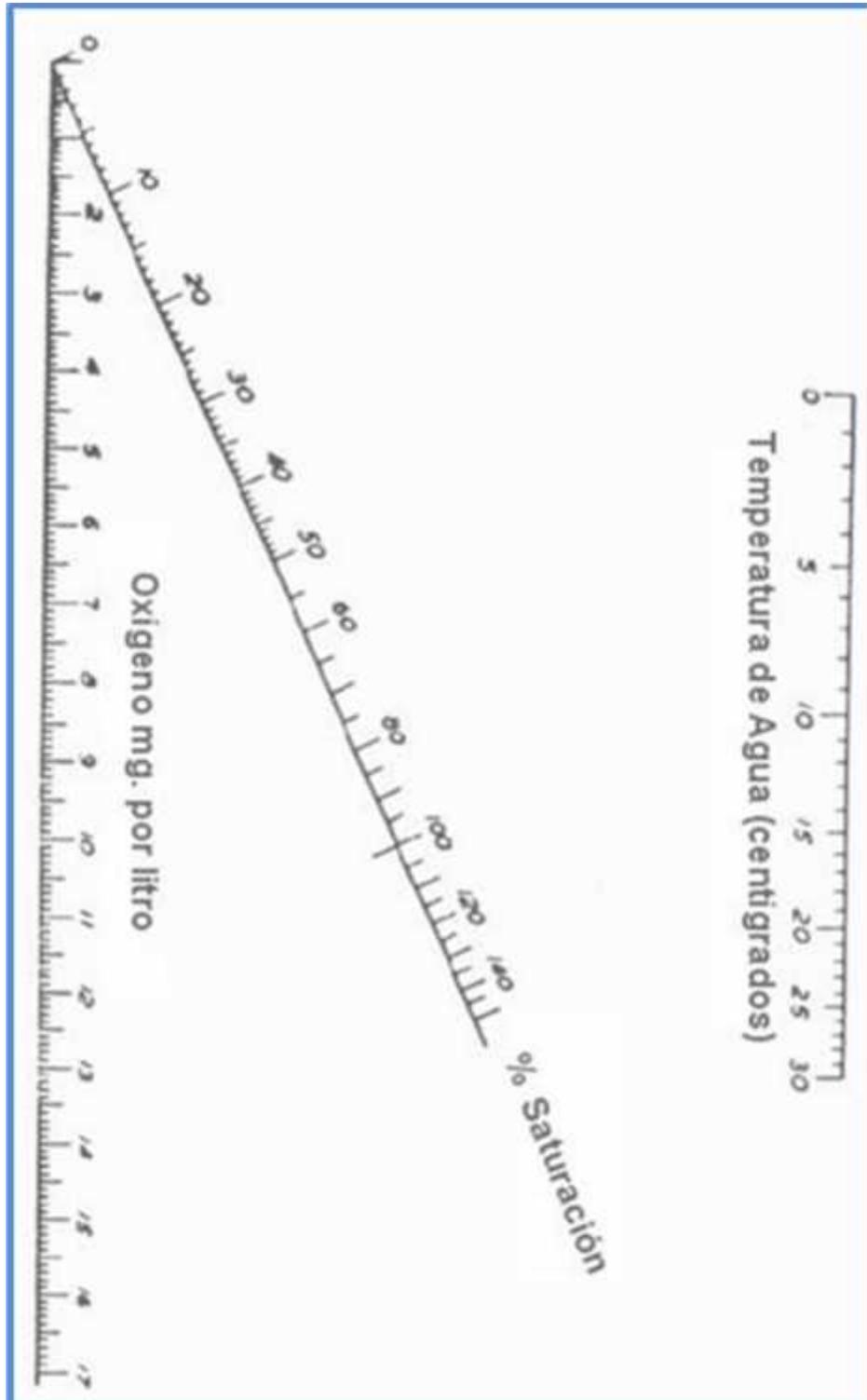




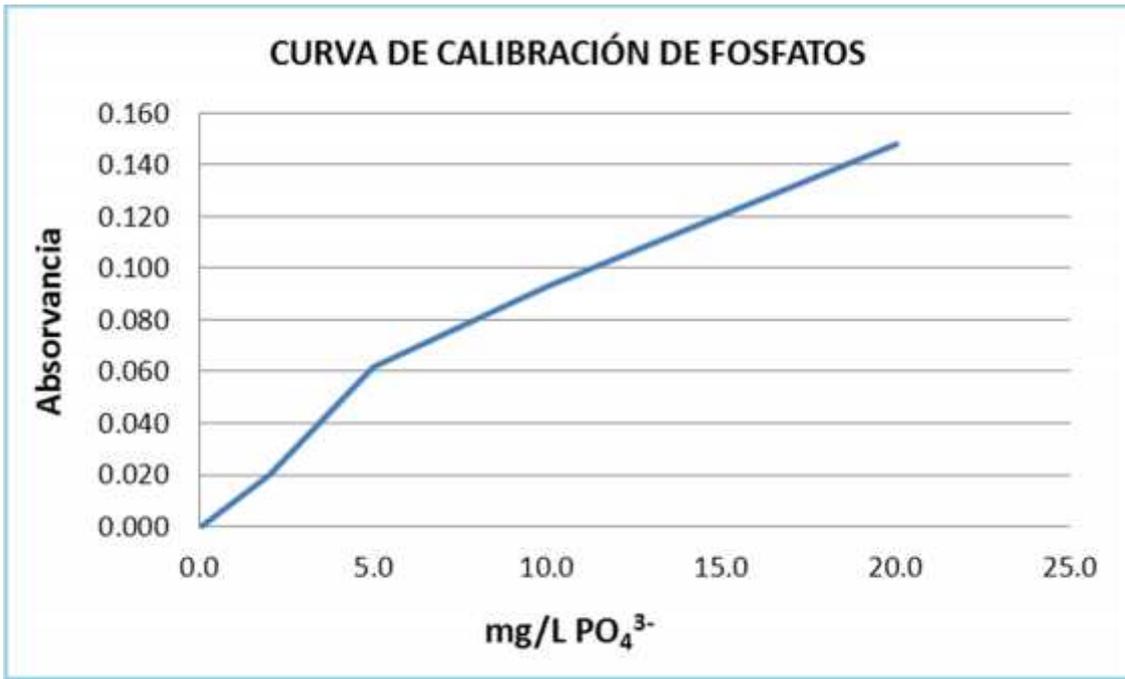
## APÉNDICE 2

### CURVAS DE ANÁLISIS

Figura 33: Nivel de saturación de oxígeno

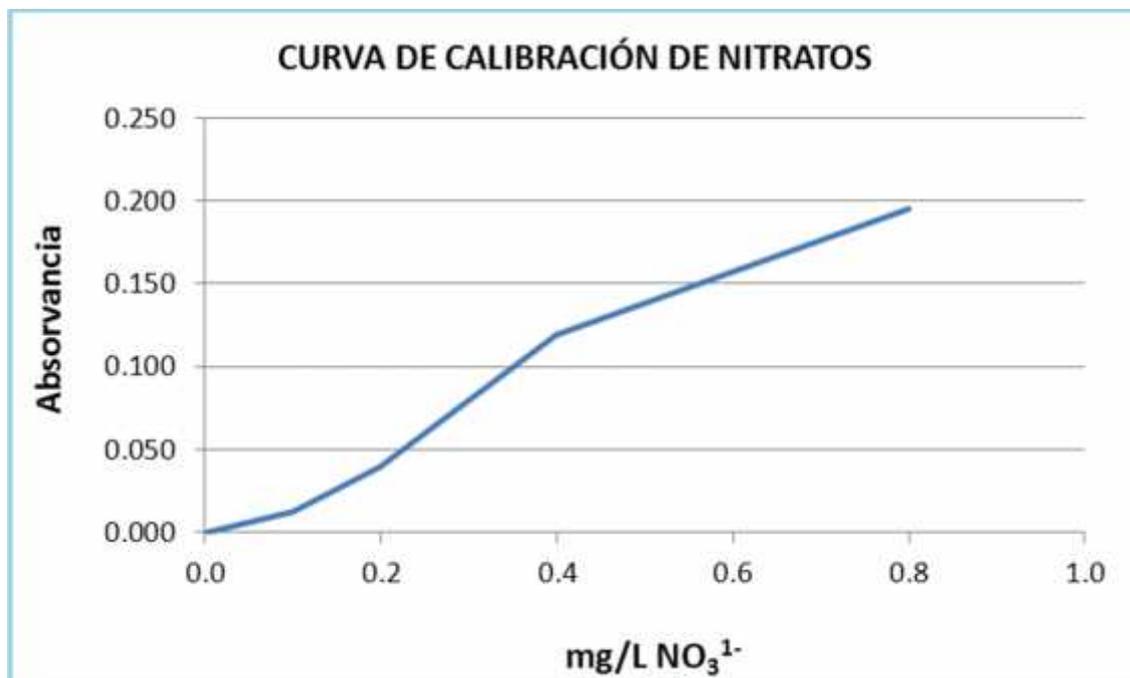


Fuente: Estudio Internacional Ambiental de la Calidad del Agua  
Figura 34: Curva de calibración para la determinación de fosfatos en agua



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 35: Curva de calibración para la determinación de fosfatos en agua



**Fuente:** Elaboración propia

## APÉNDICE 3

### PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, BACTERIOLÓGICOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS ESTACIONES MONITOREADAS



#### A. Río Tres Ríos

##### Estación.- Zona Corisorgona – Chamis

Cuadro 18: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación 1 - Río Tres Ríos (Zona Corisorgona – Chamis)

AÑO	MES	Tempe- ratura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	DBO x 5 días	Coliformes Termotolerantes
		°C		UNT	mg/L	mg/L	mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
2013	ABRIL	12	6.35	30.50	2.88	3.31	200	1.32	0.52	23
	MAYO	13	8.29	11.40	8.71	2.50	100	1.44	0.50	4
	JUNIO	13	8.30	31.30	8.95	12.73	110	8.67	1.62	0
	JULIO	12	8.56	29.80	9.50	8.90	150	8.70	2.10	14
	AGOSTO	14	8.35	29.10	9.30	3.60	120	8.45	2.30	9
	SEPTIEMBRE	14	8.45	29.00	8.65	3.30	125	6.96	2.50	11
	OCTUBRE	14	8.55	29.20	8.56	3.50	130	8.77	3.20	14
	NOVIEMBRE	17	8.41	29.50	8.44	2.80	145	8.97	2.60	9
DICIEMBRE	16	8.36	31.00	8.33	3.10	133	8.57	2.33	21	
2014	ENERO	14	7.98	28.90	8.57	2.78	142	9.01	2.56	11
	FEBRERO	12	7.87	29.30	8.90	3.00	130	8.50	2.45	14
	MARZO	12	7.92	29.40	8.88	3.20	126	8.67	2.67	9

**Fuente:** Elaboración propia

Cuadro 19: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación 1 - Río Tres Ríos (Zona Corisorgona – Chamis)

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Media	13.58	8.12	28.20	8.31	4.39	134.25	7.34	2.11	11.58
Mediana	13.50	8.33	29.35	8.68	3.25	130.00	8.62	2.39	11.00
Desviación estándar	1.62	.60	5.35	1.74	3.12	25.05	2.83	.83	6.39
Varianza	2.63	.36	28.62	3.04	9.76	627.48	8.01	.70	40.81
Percentil 50	13.50	8.33	29.35	8.68	3.25	130.00	8.62	2.39	11.00
Percentil 75	14.00	8.44	30.33	8.94	3.58	144.25	8.75	2.59	14.00
Percentil 83	15.58	8.53	30.90	9.23	7.79	148.95	8.93	2.66	19.53

**Fuente:** Elaboración propia

**Estación.- Puente Tres Ríos**

Cuadro 20: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación 2 - Río Tres Ríos (Puente Tres Ríos)

AÑO	MES	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	DBO x 5 días	Coliformes Termotolerantes
		°C		UNT	mg/L	mg/L	mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
2013	ABRIL	14	8.41	39.00	0.83	2.99	21	8.77	1.6	11
	MAYO	14	8.89	8.71	6.75	3.21	105	8.45	1.88	9
	JUNIO	13	8.38	7.97	7.56	3.45	104	8.34	2.21	7
	JULIO	12	8.58	28.00	7.00	3.67	121	8.23	2.40	7
	AGOSTO	14	8.52	27.00	7.34	3.46	115	8.14	2.45	11
	SEPTIEMBRE	15	8.55	25.00	7.28	6.50	109	7.45	1.17	9
	OCTUBRE	15	8.59	32.00	7.78	3.32	106	6.55	2.04	5
	NOVIEMBRE	15	8.50	25.00	7.81	3.42	104	7.98	3.21	11
DICIEMBRE	17	8.34	26.00	5.67	3.60	110	7.07	2.98	7	
2014	ENERO	13	8.19	27.00	4.98	3.89	105	6.43	3.44	9
	FEBRERO	13	8.34	28.00	6.75	3.91	98	6.34	2.67	7
	MARZO	13	8.67	29.00	7.00	5.21	103	7.80	2.34	5

**Fuente:** Elaboración propia

Cuadro 21: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación 2 - Río Tres Ríos (Puente Tres Ríos)

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Media	14.00	8.50	25.22	6.40	3.89	100.08	7.63	2.37	8.17
Mediana	14.00	8.51	27.00	7.00	3.53	105.00	7.89	2.37	8.00
Desviación estándar	1.35	.18	8.75	1.94	.99	25.62	.85	.66	2.17
Varianza	1.82	.03	76.62	3.77	.99	656.27	.71	.43	4.70
Percentil 25	13.00	8.35	25.00	5.94	3.35	103.25	6.68	1.92	7.00
Percentil 50	14.00	8.51	27.00	7.00	3.53	105.00	7.89	2.37	8.00
Percentil 75	15.00	8.59	28.75	7.51	3.91	109.75	8.31	2.90	10.50

**Fuente:** Elaboración propia

## B. Río Ronquillo

### Estación.- Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

Cuadro 22: Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 3: Río Ronquillo (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)

AÑO	MES	Tempe- ratura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	DBO x 5 días	Coliformes Termotolerantes
		°C		UNT	mg/L	mg/L	mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
2013	ABRIL	14	8.87	47.00	2.31	6.22	60.00	6.68	1.3	40
	MAYO	14	9.06	7.14	15.19	1.03	79.00	7.60	1.24	15
	JUNIO	13	8.56	42.80	8.80	16.13	33.00	8.77	1.52	20
	JULIO	12	8.56	45.60	12.10	15.66	45.00	7.50	1.34	23
	AGOSTO	14	8.60	47.80	11.89	16.71	55.00	6.75	1.26	70
	SETIEMBRE	15	8.59	44.60	10.70	15.89	67.00	8.40	1.45	23
	OCTUBRE	15	8.58	56.00	9.80	13.45	56.00	7.80	1.12	40
	NOVIEMBRE	18	8.40	49.00	9.90	12.34	70.00	5.89	1.54	40
DICIEMBRE	18	8.32	45.50	8.50	13.10	76.00	7.50	1.68	23	
2014	ENERO	15	8.15	48.90	8.67	12.34	68.00	6.60	1.56	21
	FEBRERO	14	8.56	45.70	9.03	15.60	69.00	6.88	1.34	40
	MARZO	14	8.92	46.70	9.90	15.78	62.00	6.45	1.67	40

**Fuente:** Elaboración propia

Cuadro 23: Análisis Estadístico de los Parámetros Fisicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 3: Río Ronquillo (Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotole- rantes
Media	14.67	8.60	43.90	9.73	12.85	61.67	7.25	1.42	32.92
Mediana	14.00	8.57	46.20	9.85	14.53	64.50	7.25	1.40	31.50
Desviación estándar	1.78	.25	12.03	3.02	4.71	13.06	.84	.18	15.23
Varianza	3.15	.06	144.71	9.10	22.14	170.61	.70	.03	231.90
Percentil 25	14.00	8.44	44.83	8.70	12.34	55.25	6.62	1.27	21.50
Percentil 50	14.00	8.57	46.20	9.85	14.53	64.50	7.25	1.40	31.50
Percentil 75	15.00	8.80	48.63	11.59	15.86	69.75	7.75	1.56	40.00

**Fuente:** Elaboración propia

**Estación. - Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia**

**Cuadro 24: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 4: Río Ronquillo (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)**

AÑO	MES	Tempe- ratura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	DBO x 5 días	Coliformes Termotolerantes
		°C		UNT	mg/L	mg/L	mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
2013	ABRIL	13	7.89	51.00	0.43	4.32	15.50	8.97	1.72	1100
	MAYO	15	8.02	7.49	6.69	3.31	22.00	8.32	1.83	70
	JUNIO	15	8.52	47.00	7.09	6.21	21.00	8.68	2.67	15
	JULIO	12	8.69	52.00	6.45	6.22	20.00	7.52	2.56	21
	AGOSTO	16	8.56	44.00	6.66	2.96	30.00	7.48	1.89	23
	SETIEMBRE	16	8.42	46.00	6.98	6.35	22.00	6.78	1.99	23
	OCTUBRE	15	8.27	42.00	7.59	4.75	18.90	7.56	2.08	21
	NOVIEMBRE	18	8.16	53.00	6.66	6.86	17.60	6.66	3.00	15
DICIEMBRE	18	8.31	52.00	7.88	4.57	18.00	6.80	2.65	40	
2014	ENERO	16	7.78	50.90	6.90	5.45	20.20	6.77	1.89	40
	FEBRERO	13	7.46	48.70	5.45	5.34	21.60	7.56	2.78	40
	MARZO	14	7.87	54.00	6.76	5.66	20.80	7.45	2.38	40

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 25: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 4: Río Ronquillo (Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia)**

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotole- rantes
Media	15.08	8.16	45.67	6.27	5.17	20.63	7.55	2.29	120.67
Mediana	15.00	8.22	49.80	6.69	5.40	20.50	7.50	2.23	31.50
Desviación estándar	1.88	.37	12.59	1.93	1.22	3.55	.77	.44	308.80
Varianza	3.54	.13	158.55	3.74	1.49	12.60	.59	.19	95360.42
Percentil 25	13.25	7.88	44.50	6.50	4.38	18.23	6.79	1.89	21.00
Percentil 50	15.00	8.22	49.80	6.69	5.40	20.50	7.50	2.23	31.50
Percentil 75	16.00	8.50	52.00	7.04	6.22	21.90	8.13	2.67	40.00

**Fuente:** Elaboración propia

### C. Río Urubamba

#### Estación. - Barrio Urubamba II

Cuadro 26: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 5: Río Urubamba (Barrio Urubamba II)

MES	Tempe-	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos	Oxígeno	DBO x	Coliformes
	ratura					Totales	Disuelto	5 días	Termotolerantes
	°C					mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
ABRIL	14	6.34	41.00	2.82	2.96	22.10	1.52	0.14	150
MAYO	16	8.00	7.56	1.72	0.85	23.30	1.58	0.21	500
JUNIO	15	8.53	41.50	10.32	13.28	19.98	6.76	2.86	1150
JULIO	15	8.69	22.70	1.22	9.91	20.00	8.67	1.72	1100
AGOSTO	16	8.49	33.10	2.18	8.15	20.87	5.87	1.87	500
SETIEMBRE	16	8.43	32.70	0.24	6.02	22.23	7.27	2.43	1100
OCTUBRE	16	8.37	6.75	0.22	5.12	22.45	6.98	2.76	500
NOVIEMBRE	19	8.19	3.13	11.34	5.67	17.86	6.87	2.17	200
DICIEMBRE	20	8.36	4.28	2.88	7.26	16.78	5.46	1.96	500
ENERO	13	7.69	7.18	2.31	7.56	19.80	6.66	2.09	500
FEBRERO	13	7.73	22.70	2.81	6.66	20.21	6.88	2.76	1100
MARZO	13	6.89	33.10	0.60	5.89	20.12	7.35	2.33	500

**Fuente:** Elaboración propia

Cuadro 27: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 5: Río Urubamba (Barrio Urubamba II)

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Media	15.50	7.98	21.31	3.22	6.61	20.48	5.99	1.94	650.00
Mediana	15.50	8.28	22.70	2.25	6.34	20.17	6.82	2.13	500.00
Desviación estándar	2.24	0.72	14.86	3.69	3.16	1.89	2.22	0.90	362.44
Varianza	5.00	0.51	220.74	13.61	9.96	3.58	4.91	0.81	131363.64
Percentil 25	13.25	7.70	6.86	0.76	5.26	19.85	5.56	1.76	500.00
Percentil 50	15.50	8.28	22.70	2.25	6.34	20.17	6.82	2.13	500.00
Percentil 75	16.00	8.48	33.10	2.87	8.00	22.20	7.20	2.68	1100.00

**Fuente:** Elaboración propia

**Estación.- Barrio Urubamba I**

**Cuadro 28: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 6: Río Urubamba (Barrio Urubamba I)**

MES	Tempe-	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos	Oxígeno	DBO x	Coliformes
	ratura					Totales	Disuelto	5 días	Termotolerantes
	°C					mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
ABRIL	14	7.64	49.00	1.57	3.44	21.00	8.67	1.70	1100
MAYO	15	8.00	20.70	2.67	4.73	22.65	8.78	2.35	500
JUNIO	16	8.52	38.50	3.10	4.25	20.76	7.95	2.67	500
JULIO	17	8.67	25.00	2.08	3.89	14.54	8.25	3.64	1100
AGOSTO	17	8.59	26.56	1.71	3.18	20.37	8.44	3.56	1100
SETIEMBRE	18	8.56	16.40	2.45	4.71	22.45	7.95	2.30	500
OCTUBRE	18	8.52	15.00	2.19	6.17	21.67	8.88	2.99	1100
NOVIEMBRE	20	8.47	26.70	3.16	5.31	21.95	7.56	3.74	1100
DICIEMBRE	17	8.27	34.00	3.78	5.20	23.12	7.14	2.6	500
ENERO	15	7.98	32.60	2.19	6.38	20.54	6.89	2.87	50
FEBRERO	13	7.84	31.60	3.56	5.45	19.67	7.33	3.05	1100
MARZO	13	7.68	26.80	3.95	6.18	20.02	7.06	2.97	1100

**Fuente: Elaboración propia**

**Cuadro 29: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 6: Río Urubamba (Barrio Urubamba I)**

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Media	16.08	8.23	28.57	2.70	4.91	20.73	7.91	2.87	812.50
Mediana	16.50	8.37	26.75	2.56	4.97	20.88	7.95	2.92	1100.00
Desviación estándar	2.15	0.38	9.48	0.80	1.07	2.23	0.71	0.60	375.45
Varianza	4.63	0.14	89.86	0.64	1.15	4.99	0.50	0.36	140965.91
Percentil 25	14.25	7.88	21.78	2.11	3.98	20.11	7.19	2.41	500.00
Percentil 50	16.50	8.37	26.75	2.56	4.97	20.88	7.95	2.92	1100.00
Percentil 75	17.75	8.55	33.65	3.46	5.99	22.33	8.61	3.43	1100.00

**Fuente: Elaboración propia**

## D. Río San Lucas

### Estación.- Puente amarillo

Cuadro 30: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 7: Río San Lucas (Puente amarillo)

MES	Tempe-	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos	Oxígeno	DBO x	Coliformes
	ratura					Totales	Disuelto	5 días	Termotolerantes
	°C					mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
ABRIL	15	6.54	46.00	6.89	6.35	24.60	1.48	0.02	1100
MAYO	16	9.76	40.10	1.55	1.42	23.00	1.60	0.05	1100
JUNIO	16	8.52	65.75	10.34	15.55	21.00	8.57	3.63	1300
JULIO	17	8.64	38.70	12.56	5.68	22.00	6.77	2.54	1100
AGOSTO	18	8.38	56.70	13.00	6.17	18.00	5.76	3.34	1200
SETIEMBRE	18	8.31	40.70	13.78	5.45	17.00	5.23	2.04	1100
OCTUBRE	19	8.24	58.90	12.89	5.67	16.00	6.35	2.54	500
NOVIEMBRE	23	8.02	55.76	13.45	6.02	19.70	5.86	2.16	1100
DICIEMBRE	23	8.23	44.34	13.98	4.96	18.60	6.40	2.98	1200
ENERO	18	8.21	61.40	14.23	2.57	21.40	6.98	2.56	1150
FEBRERO	14	7.78	45.67	13.75	4.14	23.50	5.39	2.18	1100
MARZO	14	7.92	45.78	14.88	6.03	21.00	5.89	2.11	1100

**Fuente:** Elaboración propia

Cuadro 31: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 7: Río San Lucas (Puente amarillo)

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Media	17.58	8.21	49.98	11.78	5.83	20.48	5.52	2.18	1087.50
Mediana	17.50	8.24	45.89	13.23	5.68	21.00	5.88	2.36	1100.00
Desviación estándar	3.00	0.73	9.21	3.87	3.42	2.67	2.06	1.12	195.55
Varianza	8.99	0.53	84.73	15.01	11.71	7.15	4.23	1.25	38238.64
Percentil 25	15.25	7.95	41.61	10.90	4.35	18.15	5.27	2.06	1100.00
Percentil 50	17.50	8.24	45.89	13.23	5.68	21.00	5.88	2.36	1100.00
Percentil 75	18.75	8.49	58.35	13.93	6.14	22.75	6.68	2.88	1187.50

**Fuente:** Elaboración propia

**Estación.- Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión**

**Cuadro 32: Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 8: Río San Lucas (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión)**

MES	Tempe-	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos	Oxígeno	DBO x	Coliformes
	ratura					Totales	Disuelto	5 días	Termotolerantes
	°C					mg/L	% saturación	mg/L	NMP/100 mL
ABRIL	15	8.14	64.00	1.85	3.21	25.00	7.96	3.80	1350
MAYO	16	9.67	45.50	2.36	7.96	24.30	7.40	3.45	1200
JUNIO	16	8.52	42.60	3.21	7.08	23.80	6.87	3.03	1150
JULIO	18	8.37	40.10	2.87	6.69	22.10	6.22	2.87	1200
AGOSTO	17	7.92	38.70	2.96	5.28	19.70	5.77	2.06	1100
SETIEMBRE	18	7.86	39.23	3.92	4.73	23.70	6.15	2.38	1150
OCTUBRE	18	7.8	39.56	2.87	4.43	25.34	7.23	3.10	1250
NOVIEMBRE	23	7.82	41.56	8.67	7.97	23.12	6.88	2.31	1200
DICIEMBRE	22	7.46	37.87	7.35	7.43	20.18	6.54	2.22	1150
ENERO	18	7.84	37.60	6.78	4.93	19.87	7.43	2.98	1250
FEBRERO	14	8.45	39.75	5.44	6.89	20.12	6.74	2.76	1200
MARZO	15	8.14	36.80	4.87	5.67	23.56	6.55	2.30	1150

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 33: Análisis Estadístico de los Parámetros Físicoquímico y Bacteriológico de la Estación N° 8: Río San Lucas (Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión)**

Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Fosfatos	Nitratos	Sólidos Totales	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Media	17.50	8.17	41.94	4.43	6.02	22.57	6.81	2.77	1195.83
Mediana	17.50	8.03	39.66	3.57	6.18	23.34	6.81	2.82	1200.00
Desviación estándar	2.71	0.57	7.34	2.19	1.53	2.09	0.62	0.53	65.57
Varianza	7.36	0.32	53.95	4.81	2.35	4.37	0.39	0.29	4299.24
Percentil 25	15.25	7.83	38.08	2.87	4.78	20.14	6.30	2.30	1150.00
Percentil 50	17.50	8.03	39.66	3.57	6.18	23.34	6.81	2.82	1200.00
Percentil 75	18.00	8.43	42.34	6.45	7.34	24.18	7.36	3.08	1237.50

**Fuente:** Elaboración propia

## APÉNDICE 4

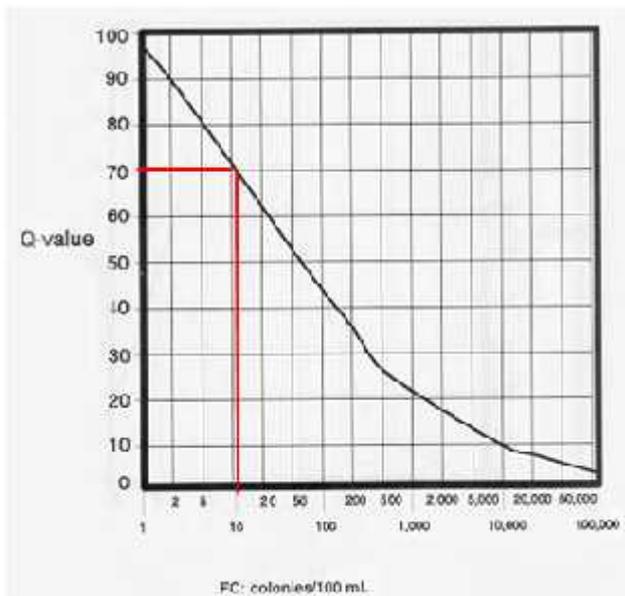
### CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA APLICANDO LA ECUACIÓN DE BROWN

Para determinar el ICA de cada estación monitoreada se siguió la siguiente secuencia:

- Considerar los pesos específicos ( $w_i$ ) de cada parámetro (Cuadro 2)
- Se determinó la calidad ( $Q_i$ ) utilizando la concentración de los cada uno parámetros considerados en la investigación y las curvas estandarizadas de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF) cuya calificación oscila entre 0 y 100.
- Se aplicó la ecuación de Brown
- Se determinó el ICA para cada una de las estaciones consideradas en el presente estudio.

#### 1. Río Tres Ríos: Estación N° 1.- Zona Corisorgona – Chamis

- Índice de la Calidad del Agua: Coliformes Termotolerantes (fecales)

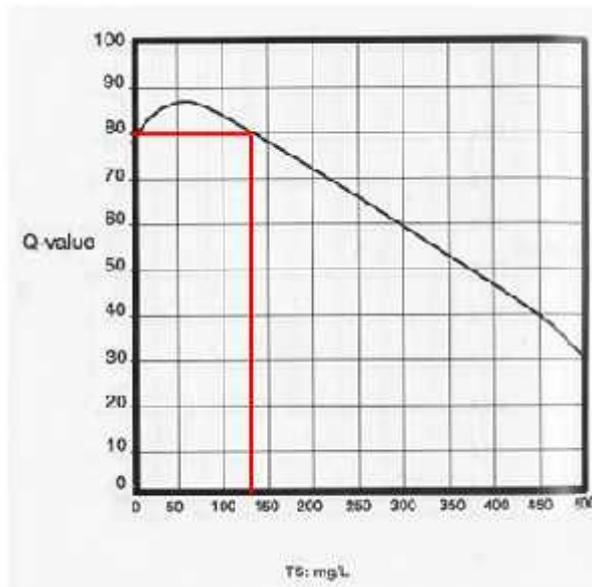


**Nota:** Si el número de colonias de coliformes fecales es mayor que 100 000, el índice de

Coliformes Termotolerantes: 11.58 NMP/100 mL

Calidad del agua ( $Q_i$ ): 70

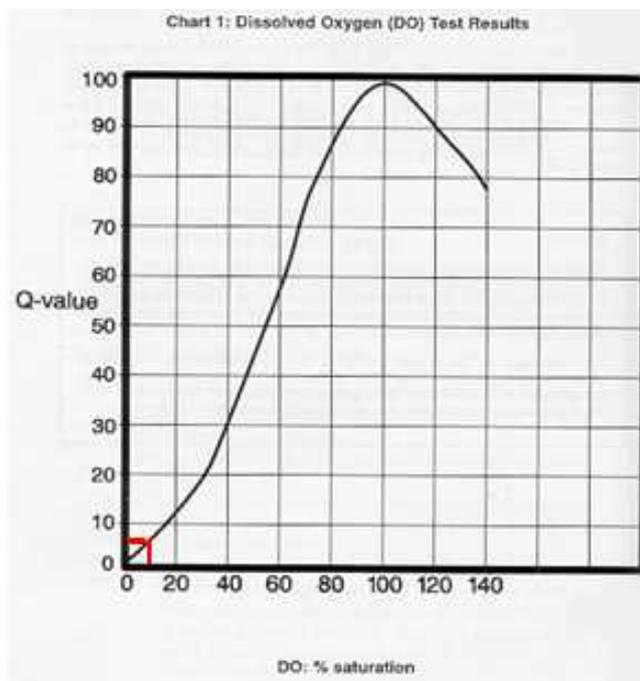
b) Índice de la Calidad del Agua: Sólidos Totales



**Nota:** Si el total de sólidos es mayor que 500 ppm, el índice de calidad es igual a 20.

Sólidos Totales: 134.25  
Calidad del agua (Q<sub>i</sub>): 80

c) Índice de la Calidad del Agua: OD % saturación

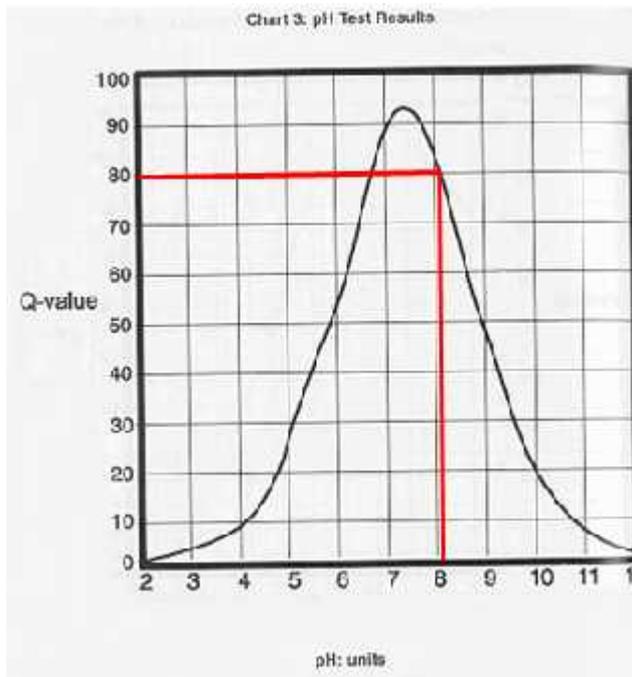


**Nota:** Si el oxígeno disuelto es superior a 140%, el índice de calidad es igual a 50.

Oxígeno disuelto: 7.34

Calidad del agua (Q<sub>i</sub>): 6

## Índice de la Calidad del Agua: pH

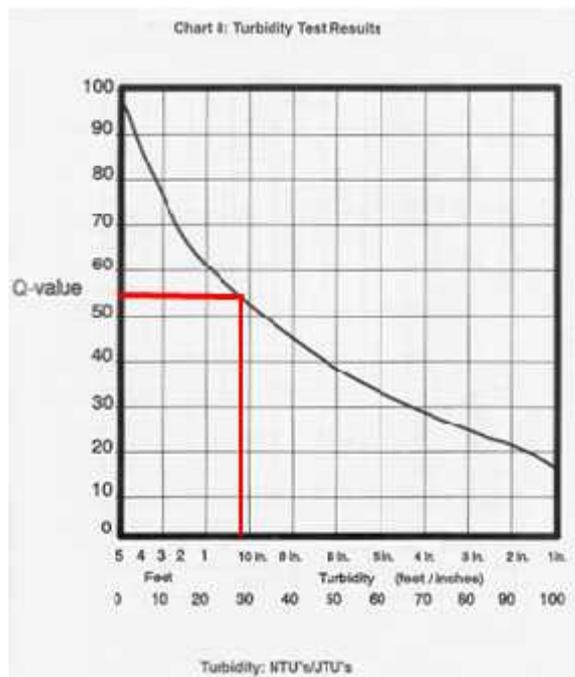


**Nota:** Si el pH es menor que 2.0 o mayor que 12.0, el índice de calidad es igual a 0.

pH: 8.12

Calidad del agua (Q<sub>i</sub>): 80

## d) Índice de la Calidad del Agua: Turbiedad

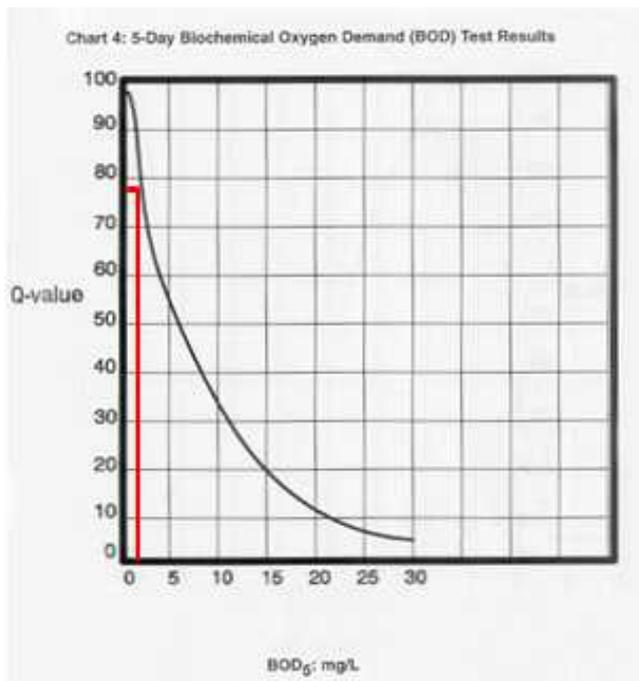


**Nota:** Si la turbidez es mayor que 100 NTU, el índice de calidad es igual a 5.

Turbiedad: 28.20

Calidad del agua (Q<sub>i</sub>): 54

e) Índice de la Calidad del Agua: DBO

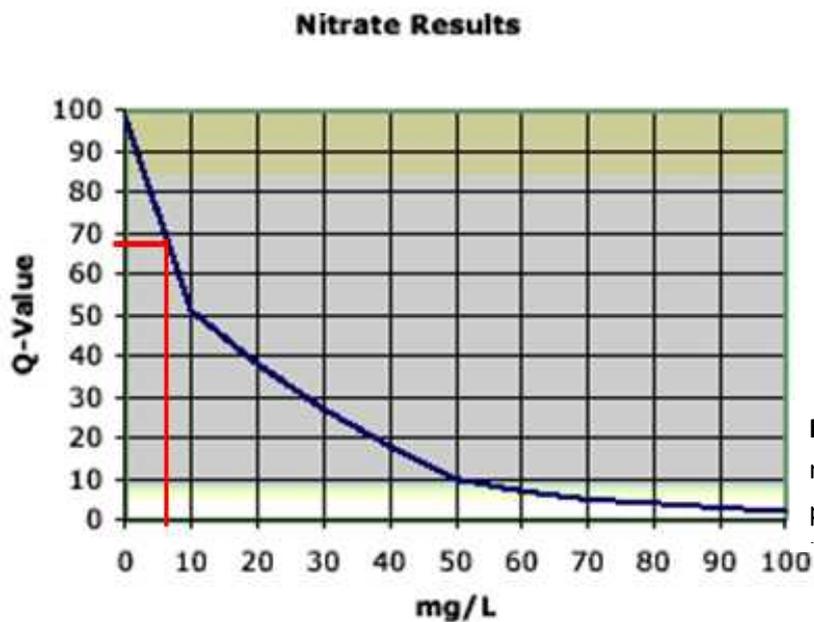


**Nota:** Si la demanda bioquímica de oxígeno es superior a 30 ppm,

Demanda Bioquímica de Oxígeno por 5 días: 2.11

Calidad del agua (Q<sub>i</sub>): 78

f) Índice de la Calidad del Agua: Nitrato

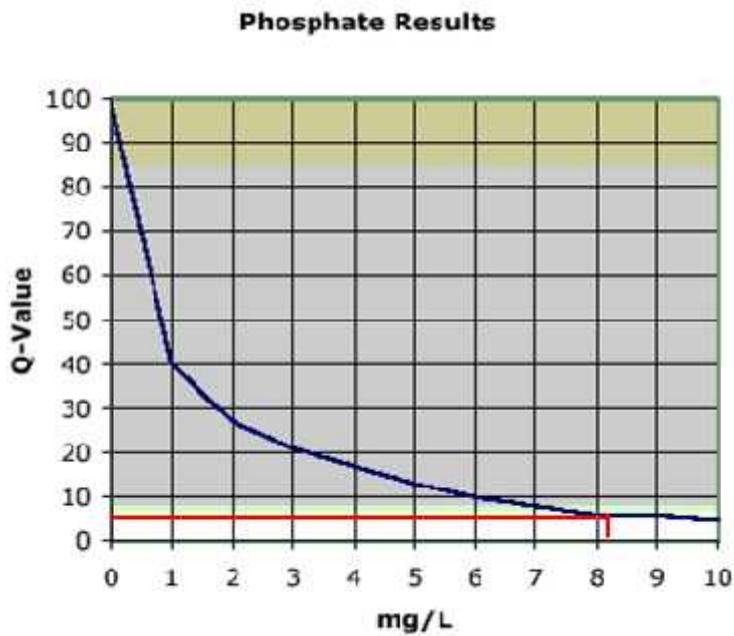


**Nota:** Si el nitrógeno del nitrato es mayor que 100 ppm, el índice de calidad es

Nitratos: 4.39

Calidad del agua (Q<sub>i</sub>): 68

g) Índice de la Calidad del Agua: Total Fosfato

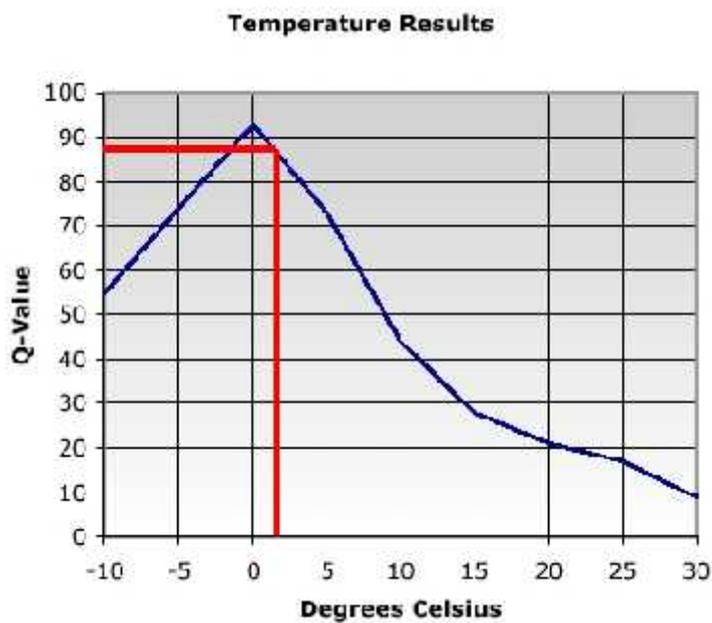


**Nota:** Si fosfato total es mayor que 10 ppm, el índice de calidad es igual a 2.

Fosfatos: 8.31

Calidad del agua ( $Q_i$ ): 7

h) Índice de la Calidad del Agua: Temperatura, basado en el cambio de temperatura de un sitio de referencia



Temperatura: 1.08

Calidad del agua ( $Q_i$ ): 89

Para obtener el valor de calidad del cambio de temperatura, se resta la temperatura aguas arriba del sitio de referencia de la temperatura aguas abajo y luego se interpreta en la figura de resultados de temperatura.

Estos valores de calidad se remplazan en la ecuación de Brown para obtener el Índice de calidad del agua (ICA), estos valores se indican en el Cuadro 26.

n

$$ICA = \sigma (Q_i)^{w_i} = Q_1^{w_1} \times Q_2^{w_2} \times Q_3^{w_3} \times \dots \times Q_n^{w_n}$$

$$ICA = (6)^{0.17} (70)^{0.16} (80)^{0.11} (78)^{0.11} (89)^{0.10} (7)^{0.10} (68)^{0.10} (54)^{0.08} (80)^{0.07}$$

$$ICA = 56$$

De acuerdo con el Cuadro 3 donde Brown propone la clasificación del ICA

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		90-100
Buena		70-90
Regular		50-70
Mala		25-50
Pésima		0-25

Observamos que el agua del río Tres Ríos, zona Corisorgona – Chamis se clasifica como regular.

A continuación se presentan los valores de calidad ( $Q_i$ ) y los pesos específicos ( $w_i$ ) de cada parámetro de las 8 estaciones consideradas en el presente estudio.

**Estación.- Zona Corisorgona – Chamis**

Cuadro 34: Cálculo del ICA de la Estación N° 1.- Zona Corisorgona – Chamis

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	6
Coliformes Termotolerantes	0.16	70
pH	0.11	80
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	78
Cambio de Temperatura	0.10	89
Fosfatos	0.10	7
Nitratos	0.10	68
Turbiedad	0.08	54
Sólidos Totales	0.07	80
ICA		56

**Fuente:** Elaboración propia

**Estación.- Puente Tres Ríos**

Cuadro 35: Cálculo del ICA de la Estación 2.- Puente Tres Ríos

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	6
Coliformes Termotolerantes	0.16	74
pH	0.11	66
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	73
Cambio de Temperatura	0.10	91
Fosfatos	0.10	9
Nitratos	0.10	72
Turbiedad	0.08	57
Sólidos Totales	0.07	83
ICA		56

**Fuente:** Elaboración propia

## 2. Río Ronquillo

**Estación.- Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia**

Cuadro 36: Cálculo del ICA de la Estación N° 3.- Antes de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	6
Coliformes Termotolerantes	0.16	57
pH	0.11	63
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	91
Cambio de Temperatura	0.10	90
Fosfatos	0.10	7
Nitratos	0.10	47
Turbiedad	0.08	43
Sólidos Totales	0.07	87
ICA		51

**Fuente:** Elaboración propia

**Estación.- Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia**

Cuadro 37: Cálculo del ICA de la Estación N° 4.- Después de la captación de agua para tratamiento en la Planta Santa Apolonia

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	6
Coliformes Termotolerantes	0.16	42
pH	0.11	78
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	74
Cambio de Temperatura	0.10	91
Fosfatos	0.10	9
Nitratos	0.10	64
Turbiedad	0.08	42
Sólidos Totales	0.07	84
ICA		50

**Fuente:** Elaboración propia

### 3. Río Urubamba

#### *Estación.- Barrio Urubamba II*

Cuadro 38: Cálculo del ICA de la Estación N° 5.- Barrio Urubamba II

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	5
Coliformes Termotolerantes	0.16	26
pH	0.11	85
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	81
Cambio de Temperatura	0.10	91
Fosfatos	0.10	20
Nitratos	0.10	59
Turbiedad	0.08	60
Sólidos Totales	0.07	84
<b>ICA</b>		<b>51</b>

**Fuente:** Elaboración propia

#### *Estación N° 6.- Barrio Urubamba I*

Cuadro 39: Cálculo del ICA de la Estación N° 6.- Barrio Urubamba I

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	6
Coliformes Termotolerantes	0.16	24
pH	0.11	76
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	68
Cambio de Temperatura	0.10	91
Fosfatos	0.10	23
Nitratos	0.10	65
Turbiedad	0.08	54
Sólidos Totales	0.07	84
<b>ICA</b>		<b>49</b>

**Fuente:** Elaboración propia

## Río San Lucas

### ***Estación.- Puente amarillo***

Cuadro 40: Cálculo del ICA de la Estación N° 7.- Puente amarillo

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	5
Coliformes Termotolerantes	0.16	22
pH	0.11	77
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	76
Cambio de Temperatura	0.10	87
Fosfatos	0.10	2
Nitratos	0.10	61
Turbiedad	0.08	39
Sólidos Totales	0.07	84
<b>ICA</b>		<b>45</b>

**Fuente: Elaboración propia**

### ***Estación.- Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión***

Cuadro 41: Cálculo del ICA de la Estación N° 8.- Antes de la desembocadura en el Río Mashcón - Barrio Bella Unión

<b>Parámetro</b>	<b>w<sub>i</sub> Ponderación</b>	<b>Q<sub>i</sub> Curvas NSF</b>
Oxígeno disuelto	0.17	5
Coliformes Termotolerantes	0.16	21
pH	0.11	78
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11	68
Cambio de Temperatura	0.10	87
Fosfatos	0.10	15
Nitratos	0.10	60
Turbiedad	0.08	44
Sólidos Totales	0.07	84
<b>ICA</b>		<b>46</b>

**Fuente: Elaboración propia**