

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



Caracterización del agua del río Alameda y tipificación
según Índice de Calidad del Agua, Ayacucho 2014.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO

En la especialidad en Ecología y Recursos Naturales

Presentado por:

Bach. ESPINOZA TACURI, Marco Antonio

AYACUCHO – PERÚ

2015

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bachiller: Espinoza Tacuri, Marco Antonio

R.D. N° 162-2015-UNSCH-FCB-D

En la ciudad de Ayacucho, a los cuatro días del mes de setiembre del año dos mil quince, siendo las seis de la tarde con veinticinco minutos, en el local del Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se reunieron los miembros del jurado evaluador precedidos por el Sr. Decano de la Facultad, Dr. Jesús De La Cruz Arango y como miembros el Msc. Elmer Alcides Avalos Pérez, Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez, Mg. Vidalina Andía Ayme y el secretario docente encargado Blgo. Elbert Hermoza Valdivia, con la finalidad de recepcionar en acto público la sustentación de la Tesis: Caracterización del agua del río Alameda y Tipificación según índice de calidad de agua (Water Quality Index) Ayacucho 2014, presentado por el bachiller en Ciencias Biológicas Espinoza Tacuri, Marco Antonio, con la que pretende optar el Título Profesional de Biólogo en la especialidad en Ecología y Recursos Naturales, para lo que el Señor Decano después de comprobar la documentación sustentatoria y estando conforme da la autorización, indicando como tiempo el de cuarenta y cinco minutos, dicho esto el sustentante da inicio a su exposición, dando inicialmente el agradecimiento a sus profesores y familiares.

Cumplida con la exposición de su trabajo de tesis, el sustentante es sometido a la ronda de preguntas, las mismas que han sido solicitadas por el Señor Decano a los Miembros del Jurado; a las preguntas el sustentante da respuestas. Terminada la ronda de preguntas y aclaraciones solicitadas el Decano invita al sustentante y miembros del público asistente a que abandonen momentáneamente el local con la finalidad de evaluar la exposición y calificar, resultando lo siguiente:

Miembro Jurado	Exposición	Respuestas	
Promedio			
Dr. Jesús De La Cruz Arango (Decano)	17	17	17
Msc. Elmer Alcides Avalos Pérez (Miembro)	17	17	17
Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez (Asesor)	18	17	18
Mg. Vidalina Andía Ayme (Miembro)	16	16	16
		Promedio Total	17

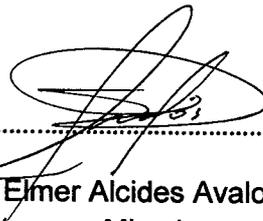
Concluida la etapa de la calificación, el señor sustentante obtuvo la nota Aprobatoria, de Diecisiete (17), a continuación el Sr. Decano autoriza el ingreso del sustentante y público en general, para que puedan ingresar nuevamente al Auditorio, con la finalidad de dar a conocer el resultado en forma pública, después de haber cumplido con esta parte se procede en colocar la medalla de la Universidad como

reconocimiento al nuevo profesional, cumpliendo luego con realizar el juramento biológico de ley.

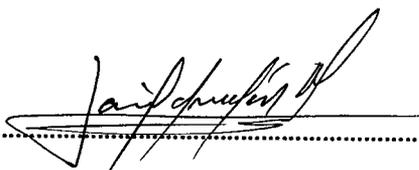
Termina el acto de sustentación siendo las ocho de la noche con quince minutos.



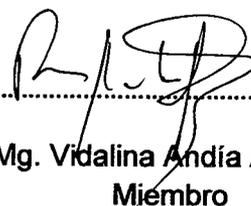
.....
Dr. Jesús De La Cruz Arango
Decano



.....
MS. Elmer Alcides Avalos Pérez
Miembro



.....
Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
Miembro - Asesor



.....
Mg. Vidalina Andía Ayme
Miembro



.....
Blgo. Elbert Hermoza Valdivia
Secretario Docente (e)

A Dios, mis padres y mis seres queridos

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi *Alma Mater*.

A mis familiares que me apoyaron en la realización del trabajo

Al Dr. Saúl Chuchón Martínez, Asesor quien aceptó realizar este trabajo de investigación y por su acompañamiento durante toda la etapa del proyecto, su ejecución y la redacción.

Al Ing. Julio Hinojosa Molero, Jefe de la Unidad de Control de Calidad de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Ayacucho (EPSASA), por su apoyo incondicional en los trabajos en el laboratorio.

Al Blgo. Marco Antonio Quispe Atauje, Especialista en Calidad de Agua de la Autoridad Local del Agua (ALA) por su apoyo durante los muestreos realizados.

A los colaboradores que hicieron posible la realización de este trabajo con su apoyo durante los meses de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Página

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	3
2.1.	Antecedentes	3
2.2.	Marco conceptual	10
2.2.1.	Ríos	10
2.2.2.	Calidad de agua	10
2.2.3.	Contaminación	10
2.2.4.	Fuentes de contaminación	11
2.2.5.	Principales fuentes de contaminación en el Perú	11
2.3.	Bases teóricas	11
2.3.1.	Parámetros físicos, químicos y biológicos	11
2.3.2.	Calidad de agua	17
2.3.3.	Índice de calidad de agua (ICA)	18
2.4.	Marco legal	23
III.	Materiales y métodos	27
3.1.	Zona de estudio	27
3.2.	Ubicación política	27
3.3.	Ubicación geográfica	28
3.4.	Población	28
3.5.	Muestra	28
3.5.1.	Zonas de muestreo	28
3.6.	Sistema de muestreo	29
3.7.	Metodología y recolección de datos	29
3.7.1.	Toma de muestras	29
3.7.2.	Preservación y transporte de las muestras	29
3.7.3.	Procedimiento para la determinación de parámetros	30
3.8.	Tipo de investigación	34
3.9.	Diseño de investigación	34
3.10.	Análisis de datos	34
IV.	RESULTADOS	35
V.	DISCUSIÓN	47
VI.	CONCLUSIONES	55
VII.	RECOMENDACIONES	56
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estadísticos del parámetro de coliformes fecales (NMP/100mL) en las estaciones de muestreo del río Chili, Arequipa 2008	3
Tabla 2.	Parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados en el tramo urbano del río Piura, Piura 2005	4
Tabla 3.	Parámetros fisicoquímicos y biológicos determinados en el río Huatanay, Cuzco 2006	4
Tabla 4.	Estaciones de muestreo establecidos a lo largo del río Rímac, Lima 2012	5
Tabla 5.	Parámetros evaluados (fisicoquímico y biológico) en el río Rímac, Lima 2012.	6
Tabla 6.	Lista de parámetros elegidos como más significativos realizado por el panel de especialistas realizado por Brown et al. (1970) para el WQI – NSF	20
Tabla 7.	Valores y pesos relativos de los parámetros incluidos en el índice WQI – NSF.	21
Tabla 8.	Clasificación del Índice de Calidad de Agua (WQI – NSF)	22
Tabla 9.	Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Alameda.	28
Tabla 10.	Valores promedio, mínimo y máximo del Índice de Calidad del Agua de la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU de siete zonas muestreo en el río Alameda, Ayacucho 2014.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar del pH de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	36
Figura 2.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de sólidos totales disueltos (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	37
Figura 3.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de oxígeno disuelto (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	38
Figura 4.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad fosfatos (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	39
Figura 5.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de nitratos (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	40
Figura 6.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la demanda bioquímica de oxígeno (mgO ₂ /L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	41
Figura 7.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la turbidez (UNT) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	42
Figura 8.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de coliformes fecales (LogNMP/100mL) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	43
Figura 9.	Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar del Índice de Calidad del Agua (NSF – WQI), de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014	44
Figura 10.	Dendrograma de similitud de siete zonas de muestreo en el río Alameda basado en las características fisicoquímicas y biológicas de sus aguas, Ayacucho 2014	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Resultados de los análisis fisicoquímicos y biológicas (media + desviación típica) del agua del río Alameda en siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	61
Anexo 2.	Resultados del Test de Kruskal-Wallis para los valores de los parámetros fisicoquímicos y biológicas (media + desviación típica) del agua del río Alameda comparando siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	62
Anexo 3.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de enero, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.	63
Anexo 4.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de febrero, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	64
Anexo 5.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de marzo, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	65
Anexo 6.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de abril, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	66
Anexo 7.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de mayo, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	67
Anexo 8.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de junio, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	68
Anexo 9.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de julio, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	69
Anexo 10.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de agosto, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	70
Anexo 11.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de setiembre, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	71
Anexo 12.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de octubre, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	72
Anexo 13.	Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de diciembre, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014	73
Anexo 14.	Extracción de muestra simple, para determinación de parámetros de campo y laboratorio en la zona de muestreo IV (Puente San Sebastián), Diciembre 2014	74
Anexo 15.	Toma y registro de datos haciendo uso del multiparámetro para la determinación de los parámetros de campo (pH, temperatura del agua, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto) en la zona de muestreo IV (Puente San Sebastián), Diciembre 2014	75
Anexo 16.	Vaciado de la muestra simple al frasco de vidrio esterilizado para la determinación de parámetros de laboratorio en la zona de muestreo VI (antes de la unión con las aguas del PTAR), Diciembre 2014	76

Anexo 17.	Extracción y vaciado de una alícuota (1mL) de la muestra simple a los frascos de dilución para la determinación de coliformes fecales mediante el método de tubos múltiples, diciembre 2014	77
Anexo 18.	Frascos de vidrio conteniendo la muestra filtrada de cada zona de muestreo para la determinación de nitratos y fosfatos diciembre 2014	78
Anexo 19.	Determinación de la temperatura ambiental en la zona de muestreo I (Llunchi) diciembre 2014	79
Anexo 20.	Tabla del Índice de Número Más Probable (NMP) y límites de confianza del 95% para varias combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 tubos de dilución (10mL, 1mL y 0,1mL)	80
Anexo 21.	Mapa de ubicación de la zona de estudio y las zonas de muestreo.	81
Anexo 22.	Matriz de consistencia del proyecto de tesis	82

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, caracterizar las aguas del río Alameda y tipificar la calidad mediante el índice de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional (WQI – NSF) en las siete zonas de muestreo del río Alameda, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Para lograr este propósito se determinaron parámetros durante un año desde enero a diciembre del 2014 como: oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, sólidos totales disueltos, turbidez, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales. Estos datos fueron trabajados en el programa estadístico SPSS 23.0 para determinar la media y desviación estándar anual para cada zona de muestreo y para cada parámetro. Luego con esos valores se determinaron el Índice de Calidad de Agua de la Fundación de la Sanidad Nacional (WQI – NSF) para cada zona de muestreo haciendo uso del programa ICATest V.1.0. El análisis de los datos muestra que la calidad del agua del río Alameda va disminuyendo a lo largo de su recorrido desde buena a mala según el WQI – NSF. En lo que respecta a la similitud de zonas de muestreo, de acuerdo al dendrograma al 60% de similitud en base a las características fisicoquímicas y biológicas se tiene la formación de cuatro conglomerados, el primero representado por la zona I con valores típicos de aguas no contaminadas, el segundo constituido por las zonas II, III y IV típico de aguas medianamente contaminadas, el tercer conglomerado dado por las zonas V y VI característico de aguas contaminadas y el cuarto dado por la zona VII típico de aguas muy contaminadas.

Palabra clave: río, calidad de agua, índice de WQI – NSF.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchos de nuestros ríos del país tienen problemas generados por la contaminación producto de la actividad antrópica. Uno de estos ríos es Alameda, este atraviesa gran parte de la ciudad de Ayacucho, alrededor de él se encuentran asentados viviendas (parte media de la microcuenca), muchas de ellas vierten sus aguas residuales directamente al río; así como sus residuos sólidos. En la parte baja de la microcuenca se desarrollan actividades agropecuarias, con las lluvias el residuo de los fertilizantes es lavado de los suelos hacia el río incrementando así los niveles de fosfatos y nitratos.

La calidad de las aguas superficiales es regulada por normas legales, las cuales establecen estándares de calidad (nivel de concentración) para parámetros físicos, químicos y biológicos del agua; como es el caso del Decreto Supremo N° 002 – 2008 – MINAM que proporciona el nivel de concentración de los parámetros en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, donde se menciona valores estándares para muchos parámetros. La norma nacional no especifica cual es la calidad del cuerpo de agua en forma general. Por esa razón muchos países en la actualidad emplean índices de calidad de agua para conocer cuál es la calidad del agua de un río en particular en un momento y una zona específica además de poder compararlo con otros cuerpos de agua similares.

Para determinar la calidad del agua en forma general se hará uso de uno de los índices más aplicados a nivel mundial o versiones modificadas de este es el: Índice de Calidad de Agua de la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (WQI – NSF), este índice establece rangos y valores de acuerdo al análisis de algunos

parámetros, los cuales determinan la calidad del agua: pésima, mala, regular, buena y excelente.

La presente investigación se realizó por el interés de conocer el grado de calidad de agua que se encuentra en las zonas de muestreo, conocer las zonas más contaminadas en el tramo del río Alameda. La calidad del agua resulta ser un tema de interés público y científico pues los problemas que puede tener afecta a todo un ecosistema y de manera indirecta las actividades que hacen uso de las aguas de nuestro río, por ejemplo el cultivo de plantas de tallo corto, por lo que se estableció el presente trabajo de investigación: Caracterización del agua del río Alameda y tipificación según Índice de Calidad del Agua (WQI – NSF) Ayacucho 2014. Teniendo el siguiente objetivo general:

- Caracterizar las aguas del río Alameda, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

Objetivos específicos:

- Tipificar la calidad del agua del río Alameda según el Índice de Calidad de Agua (WQI – NSF).
- Comparar la calidad del agua del río Alameda entre las zonas de muestreo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

En el trabajo: "Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa", menciona que en la actualidad el río Chili viene soportando una fuerte contaminación debido al vertido de aguas residuales domésticas (principalmente materia fecal), aguas residuales industriales (desechos químicos de cromo, cadmio, zinc, mercurio, ácidos, etc.) y residuos sólidos (basura), es así que el análisis bacteriológico de este río presenta los siguientes resultados: ¹

Tabla 1. Estadísticos del parámetro de coliformes fecales (NMP/100mL) en las estaciones de muestreo del río Chili, Arequipa 2008.

CÓDIGO Y NOMBRE DE LA ESTACIÓN	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO
E – 01 (río Chili, represa Aguada Blanca)	21	2	500
E – 02 (río Chili, Charcani V.)	170	31	4900
E – 03 (río Chili, Charcani VI.)	110	17	800
E – 04 (río Chili, captación planta SEDAPAR)	52	8	2300
E – 05 (río Chili, puente Grau)	1800	490	3300
E – 06 (río Chili, puente Tingo)	4150	330	24000000
E – 07 (río Chili, puente Uchumayo)	205000	7900	13000000
E – 08 (río Vítor, fundo Mococho)	280	5	130000
E – 09 (río Vítor, puente Vítor)	1100	79	80000

Fuente: Elaborado por DIRESA Arequipa – 2008.

En el trabajo: "Evaluación ambiental de las descargas de aguas residuales en el tramo urbano del río Piura" se establecieron seis estaciones de muestreo. Las

muestras analizadas fueron tomadas en época de sequía. La caracterización fisicoquímica y microbiológica presenta los siguientes resultados: ²

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados en el tramo urbano del río Piura, Piura 2005.

		PARÁMETROS EVALUADOS					
N	ESTACIÓN	pH	Conduc tividad (μ S/cm)	DBO ₅ (mg/L)	OD (mg/L)	Coliformes totales (NMP/100mL)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)
1	Presa los Ejidos	7,9	1048	1,1	8,3	240	230
2	Puente Cáceres	7,9	1421	0,6	7,7	2 400	2 300
3	Puente Sánchez Cerro	7,7	1584	4,2	6,9	240 000	230 000
4	Puente Bolognesi	7,5	1677	4,1	5	4 600 000	4 300 000
5	Emisor Cortijo	7,2	1924	33,1	0	4 300 000	4 000 000
6	Puente Grau	7,4	1804	5,4	2,9	460 000	430 000

En el trabajo titulado: "Salvemos el Huatanay – una prioridad para la vida en el Valle del Cuzco" se muestra el análisis fisicoquímico y microbiológico del río Huatanay en las diez estaciones de muestreo y es como sigue: ³

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y biológicos determinados en el río Huatanay, Cuzco 2006.

		PARÁMETROS EVALUADOS				
N°	ESTACIÓN	pH	Conduc tividad (μ S/cm)	OD (mg/ L)	Coliformes totales (NMP/100mL)	Coliformes fecales (NMP/100m L)
E - 1	Riachuelo Chocco	8,26	518	7,07	900	900
E - 2	Riachuelo Cachona	8,77	1 468	8,23	1400	1200
E - 3	Unión de los dos riachuelos (Chocco y Cachona)	8,83	1 062	6,69	34000000	3300000
E - 4	Huatanay altura Vallecito	8,47	1 143	3,14	120000000	110000000

E - 5	Huatanay altura Simón Herrera	8,25	1 193	1,44	17000000000	140000000 00
E - 6	Huatanay altura Túpac Amaru	7,3	1 896	0,4	330000000	140000000
E - 7	Huatanay altura Kayra	8,2	1 050	0,9		350000000 00
E - 8	Huatanay altura a Angostura	8,4	1 451	0,2	51000000000	350000000 00
E - 9	Huatanay altura a Oropesa	8,1	1 765	2,5	330000	310000
E-10	Final Huatanay – Huambutio	8,2	1 462	2,2	170000	130000

En el trabajo: “Programa de Recuperación del río Rímac” se desarrollaron el análisis de los parámetros fisicoquímico y microbiológico en veintitrés estaciones de la cuenca del río Rímac, los resultados se detallan en la Tabla 5. ⁴

Tabla 4. Estaciones de muestreo establecidos a lo largo del río Rímac, Lima 2012.

N°	ESTACIÓN DE MONITOREO
1	Río Chinchán, 100m aguas abajo puente Ferrocarril, C. Central km 119.5
2	Quebrada Antaranra, 100m aguas debajo de vertimiento de aguas residuales de Volcan Compañía Minera – UM Ticlio
3	Río Rímac, salida de laguna Ticticocha, Carretera Central km 127
4	Río Rímac, 150m aguas debajo de vertimiento de aguas residuales de Empresa Minera Los Quenuales S.A.
5	Río Rímac, puente Anchi II, C.C. km 100, antes de unión con el río Blanco
6	Río Rímac, 100m aguas debajo de vertimiento de Minera NYRSTAR CORICANCHA (Ex San Juan) antes de confluencia con el río Aruri
7	Río Rímac, aguas arriba de la confluencia del río Mayo (Puente Tambo de Viso), C.C. km 83.5
8	Río Rímac, 100m aguas abajo del puente Surco, C.C. km 66
9	Río Rímac, 100m aguas arriba del puente Ricardo Palma, C.C. km 38 (cancha de grass sintético de la Municipalidad)
10	Río Rímac, 80m aguas abajo del puente Morón, C.C. km 23
11	Río Rímac, Bocatoma de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Huachipa
12	Río Rímac, Bocatoma – 1 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Atarjea

- 13 Río Rímac, Bocatoma – 2 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Atarjea
- 14 Río Rímac, 200m aguas abajo del puente Universitaria, Av. Morales Duárez (parque Chumpitaz)
- 15 Río Rímac, 20m aguas arriba del puente Néstor Gambeta
- 16 Río Blanco, 20m aguas debajo de Estación Meteorológica SENAMHI
- 17 Río Aruri, 25m aguas debajo de puente de madera artesanal y 20m de la descarga de la bocamina s/n (Millotingo)
- 18 Río Aruri, 50m antes de la confluencia con el río Rímac (ingreso por Edegel)
- 19 Río Mayo, 50m antes de la confluencia con el río Rímac
- 20 Quebrada Huaycoloro, 40m antes de la confluencia con el río Rímac

Tabla 5. Parámetros evaluados (físicoquímico y biológico) en el río Rímac, Lima 2012.

N°	PARÁMETROS EVALUADOS				
	DBO ₅ (mg/LO ₂)	Conductividad ad eléctrica (µS/cm)	OD (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Fósforo Total (mg/L)
1	<6	223	7,4	220	0,033
2	0	1072	6,5	0	0,019
3	0	384	6,8	0	0
4	0	343	6,5	330	0,053
5	0	372	7,8	490	0,026
6	0	503	7,1	1100	0,074
7	0	440	7,4	490	0,084
8	0	381	8,0	790	0,111
9	0	360	8,5	16000	0,407
10	0	285	8,4	16000	0,307
11	0	307	8,1	33000	0,343
12	0	298	7,5	16000	0,43
13	0	318	8,0	9200	0,358
14	0	309	8,6	79000	1,356
15	0	352	8,5	16000	1,148
16	<6	184	7,5	5 400	0,097
17	<6	150	7,1	<1,8	0,022
18	<6	163.5	7,2	22	0,109
19	<6	249	7,6	<1,8	0,115
20	37	1650	4,5	33000	3,136

En el trabajo preliminar "Composición Estructural de la Comunidad de los Macroinvertebrados Acuáticos y su Relación con las Características Físico Químicas en el Río Alameda, Ayacucho" se reportó, tomando tres puntos de muestreo los siguientes resultados: parámetros químicos; oxígeno disuelto de 7,7 a 6,7mg/L, CO₂ total de 2,3 a 3,8mg/L, dureza 44,5mg/L, alcalinidad total 70,5mg/L, amoníaco de 0,6 a 1,2mg/L, pH de 8,0 a 9,2 y cloruro de 0,0 a 43,3mg/L. Parámetros físicos; temperatura ambiental de 19,0 a 16,7°C, temperatura del agua de 16,0 a 17,3°C, turbidez FTU de 41,7 a 50,0. Existen especies como la *Paraleptophlebia* sp. del orden Ephemeroptera y *Agrilella* sp. del orden Tricóptera como indicadores de ecosistemas lóticos no o poco contaminado, las especies *Chironomus* y *Pentaneura* del orden Díptera así como la Tubificida como indicadores de aguas contaminadas.⁵

En el trabajo de investigación: "Evaluación de la Contaminación microbiológica del río Alameda y el efecto contaminante de sus afluentes en época de estiaje Ayacucho – 2001" reportó tomando cuatro puntos de muestreo los siguientes resultados: en "Alameda 1" se obtuvo 1,6x10²NMP/100mL de coliformes fecales, en "Alameda 2" se obtuvo 50x10⁵NMP/100mL de coliformes fecales, en "Alameda 3" se obtuvo 65x10⁴NMP/100mL y por último en "Alameda 4" se tuvo 19x10⁶NMP/100mL de coliformes fecales. Además los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el río Alameda fueron: en "Alameda 1" (1,80mg/L), en "Alameda 2" (63,0 mg/L), en "Alameda 3" (62,0 mg/L) y en "Alameda 4" (111,0 mg/L).⁶

En el trabajo: "Identificación de fuentes contaminantes, vigilancia, vertimientos y reuso en la microcuenca del río Alameda" en el 2012, identificó 99 fuentes contaminantes por vertimientos de aguas residuales domésticas, 3 por vertimientos de aguas residuales industriales, 17 por botadero de residuos sólidos, 14 por acumulación de desmontes de construcción y 17 por lavadero de vehículos.⁴³

En el trabajo "Estudio Comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa" tomando nueve puntos de muestreo (cuenca alta, media y baja) reportó que la calidad del agua según el índice de calidad de agua de la Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos muestra valores que clasifican todas las estaciones de muestreo de calidad buena con excepción de las estaciones 5 y 6;

en todas las estaciones la variable que más contribuye al desmejoramiento de la calidad del agua corresponde a los sólidos totales disueltos. En los puntos de muestreo 5 y 6 para los cuales el índice estima una calidad media, además de la variable mencionada, el parámetro oxígeno disuelto aporta a su menor calidad. Además cabe resaltar que el río Loa, región de Antofagasta, Chile, el cual es un recurso hídrico con características geoquímicas y fisicoquímicas singulares que se traducen en alta salinidad y elevadas concentraciones de arsénico. ⁷

En el trabajo “Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras”, tomando nueve puntos de muestreo reportó que la calidad del agua según el índice de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos muestra valores que clasifican todas las estaciones con calidad buena a excepción de la estación 9 que posee una calidad de agua regular, las variables que contribuyen a esa disminución es coliformes fecales, nitratos y fosfatos. Este análisis se realizó en la época lluviosa y seca. ⁸

En el trabajo “Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción” tomando 17 sitios de muestreo reportó según el índice de calidad de agua de la Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos clasificando al 29% de los sitios muestreados como agua con calidad media (ICA=50-69), el 59% se encuentran en la categoría de contaminado intervalo del ICA de 30 a 49 con lo cual el líquido sólo puede tener uso industrial o agrícola con tratamiento y por último el 12% de los sitios muestreados son cuerpos de agua altamente contaminados (ICA menor a 30); esto los vuelve prácticamente inaceptables para cualquier uso. ⁹

En el trabajo “Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico” tomando como muestra 19 cuencas reportó que 10 de ellas tienen una categoría pobre, 4 de ellas se encuentran en una categoría de alerta y 5 de ellas tienen una categoría promedio. ¹⁰

En el trabajo “Estudio de la Calidad del Agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y contaminación, tramo Salvajina – La Virginia”, dio como resultado final que la calidad del río Cauca,

Colombia, por medio del índice de calidad muestra sistemáticamente tres tramos con características muy particulares y que coincide con lo establecido en estudios anteriores. Estos son el tramo I comprendido entre Suarez (K 1.8) y Puente Hormiguero (K 113.5); el tramo II desde el Puente Hormiguero hasta Mediacanoa (K 220.9); y el tramo III, comprendido entre Mediacanoa y la Virginia (K 444.7). El tramo I tiene un índice de calidad de agua (ICA) de regular a mala, el tramo II es mala y el tramo III también tiene un ICA de mala. ¹¹

En el trabajo “Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo” se obtuvo como resultado final que todos los afluentes de la microcuenca del río Blanco, se encuentran consideradas como aguas de calidad buena, mientras que la desembocadura corresponde a un grado de calidad regular; de acuerdo al índice de calidad de agua (WQI – NSF). ¹²

En el 2009 en el trabajo “Evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, Perú, utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA)” con las 16 estaciones de monitoreo obtuvo los siguientes resultados, las estaciones de monitoreo: E-1, E-4, E-6A, E-6B, E-8 y E-9 en las 05 campañas, así como las estaciones E-2A, E-2B en las campañas de verano y E-2C en la campaña de invierno y verano, dan resultados de índices de calidad de agua entre 65 y 79, es decir la calidad del agua es de categoría regular, lo que significa que está siendo esporádicamente amenazada. Las estaciones de monitoreo E-1A y E-2B en todas las campañas, así como las estaciones E-2A y E-2C en las campañas de invierno y primavera, dan como resultado valores de índices de calidad de agua entre 45 y 64, que corresponde a la categoría de calidad de agua marginal, es decir que la calidad del agua está siendo frecuentemente amenazada. Las estaciones de monitoreo E-02, E-03, E-05 en la campaña de invierno, E-07 en la campaña de verano y E-4A dan valores de índices de calidad entre 80 y 94, con un valor mínimo de 80,7 y un valor máximo de 85,9, lo que indica una categoría de calidad de agua, buena, es decir la calidad está siendo protegida y el cuerpo de agua presenta menor grado de amenaza. Estas estaciones están ubicadas en ríos afluentes del río Rímac. La estación E-02 en el río Chinchán, la E-03 en el río Blanco, E-4A después de confluencia con el río Blanco y E-07 en el río Aruri, antes de confluir con el río Rímac. ¹³

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1. Ríos

Son corrientes de agua continua que desembocan en otra corriente de agua o en el mar. Se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua permanentemente mezclados y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo. ¹⁴

2.2.2. Calidad de agua

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua.

Por lo general, la calidad de agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad de agua del agua o estándares. ¹⁵

En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de calidad de agua. Además la calidad de agua presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. ¹⁴

2.2.3. Contaminación

La contaminación es la adición de cualquier sustancia al ambiente, en cantidades tales, que causen efectos adversos a los seres humanos, animales, vegetales o materiales que se encuentren dispuestos a dosis (concentración por tiempo) que sobrepasen los niveles que se encuentran regularmente en la naturaleza. ^{16,17}

2.2.4. Fuentes de contaminación

a. Fuentes naturales

Dependiendo de los terrenos que atraviesa, el agua puede contener componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo (Ejemplo: sales minerales, calcio, magnesio, hierro, etc.). Aunque pueden ser nocivos para la salud, en general son sustancias que se pueden identificar fácilmente y eliminar.¹⁸

b. Fuentes artificiales

Son producidas como consecuencia de las actividades humanas. El desarrollo industrial ha provocado la presencia de ciertos componentes que son peligrosos para el ambiente, para los organismos que viven en el agua y son difíciles de eliminar.¹⁸

2.2.5. Principales fuentes de contaminación en el Perú

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) sostuvo que nuestros ríos están siendo contaminados por: residuos sólidos, aguas residuales, relaves mineros y pasivos industriales, mineros y poblacionales.¹⁹

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Parámetros físicos, químicos y biológicos

Para saber qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad de agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Como se puede intuir existen muchos parámetros, muchas formas y varios métodos para medir dichos parámetros. Para obviar estos problemas, las agencias internacionales encargadas de vigilar y estudiar la calidad del agua han estandarizado (unificado) los criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio. La publicación que recopila la metodología de laboratorio se titula: Estándar Methods for Water and Wastewater Examination.²⁰

a. Parámetros físicos

Se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

a.1. Turbiedad

Se conoce como turbiedad a la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz¹⁴; por este motivo, la luz es reemitida y no transmitida a través de la suspensión²¹. La turbiedad es producida por una gran variedad de causas. Entre ellas las más importantes pueden ser:

- La erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos.
- La contaminación causada por la industria o por desechos domésticos.

Como se puede apreciar, la turbiedad tiene desde un origen inorgánico (arcilla, arenas, etc.) como es el caso de la turbiedad aportada por la erosión, hasta tener un alto grado de material orgánico (microorganismos, limus, etc.) como en el caso de la turbiedad aportada por actividades antrópicas. ¹⁴

Los valores de turbiedad van desde cero, en agua pura, hasta varios miles en ríos muy turbios. En la actualidad existen métodos colorimétricos para medir la turbiedad y la unidad de medida es la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU).

El papel más importante que desempeña la turbidez en el agua se relaciona con la transmisión de la luz, por lo que incide directamente en la producción primaria y en el flujo de energía dentro del ecosistema. ²¹

a.2. Sólidos Totales Disueltos (STD)

La concentración total de sustancias o minerales disueltos es un parámetro útil para conocer las relaciones edáficas y la productividad en un cuerpo de agua natural. Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la carga de sólidos.

De manera general los sólidos que se encuentran en los ríos pueden clasificarse de acuerdo con su tamaño y estado (sólidos en suspensión, sólidos coloidales y sólidos disueltos), por las características químicas (sólidos volátiles y fijos) y por la decantabilidad (sólidos en suspensión sedimentables y sólidos en suspensión no sedimentables) ²¹. En este caso los sólidos totales disueltos son sustancias disueltas que se encuentran dispersados homogéneamente en el líquido ²⁴, para su determinación se tiene que hacer pasar a través de un filtro de fibra de vidrio y que queda después de la evaporación y secado a peso constante a 180 +/- 2°C ²⁰. La cantidad de sólidos totales disueltos en ppm varía ampliamente. Aguas muy oligotróficas, como es el caso de la mayoría de las aguas de la región amazónica y andina, pueden contener valores mayores de 10 ppm o mg/L. La mayoría de los lagos y ríos neotropicales presentan rangos entre 10 y 200ppm.

a.3. Temperatura

La temperatura es una medida de calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Esta medida no depende del número de partículas en un objeto ni de su tamaño.

La temperatura del agua tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir. Este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad de agua, como el: pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

La elevación de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases (oxígeno) e incrementa en general la solubilidad de las sales. También aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando de esta manera, la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 15°C. ²²

b. Parámetros químicos

b.1. pH

El pH es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ión hidrógeno en el agua. El pH sirve como indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

Su valor define en parte la capacidad de autodepuración de una corriente y por ende su contenido de materia orgánica (DQO y DBO), además de la presencia de otros contaminantes como metales pesados. También es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática ya que tiene influencia sobre ciertos procesos químicos y biológicos. ²²

b.2. Oxígeno disuelto (OD)

Después de la temperatura, el oxígeno es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua. Sólo tiene valor si se mide con la temperatura, para poder así establecer el porcentaje de saturación.

Las fuentes de oxígeno son la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada.

El consumo de oxígeno ocurre por respiración de plantas y animales, las demandas bioquímicas (soluble y fina/particulada y suspendida), química y bentónica de oxígeno, los afluentes, la agitación excesiva (induce pérdida de oxígeno y otros gases; por ejemplo en las cascadas frías, la concentración de oxígeno es menor que la esperada), la extensión del período de estratificación térmica y el sedimento.

En general, el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores (bacterias heterotróficas aerobias). La materia orgánica contenida en los desechos puede presentarse:

- En forma de suspensión gruesa, la cual se sedimenta y pasa a hacer parte del sedimento.
- En forma de suspensión fina y de manera disuelta, que no se sedimentan, sino que permanecen en la masa líquida.

Existe, además, consumo de oxígeno por oxidación química de materia orgánica u oxidación fotoquímica por luz ultravioleta.²¹

La solubilidad de oxígeno en el agua depende principalmente de la temperatura, la presión atmosférica, la salinidad, la contaminación, la altitud, las condiciones meteorológicas y la presión hidrostática.

b.3. Nitratos

Los nitratos es una de las formas en las que puede presentarse el nitrógeno en los ambientes acuáticos. En cuanto al origen del nitrógeno en estos ambientes la principal fuente es el nitrógeno atmosférico, éste regresa al medio a través de la descomposición de la materia orgánica. La importancia del nitrógeno en el agua radica en que es el componente fundamental de las proteínas, las cuales constituyen la base estructural de los seres vivos. Una vez que el nitrógeno, como nitratos o como amonio, se ha incorporado a los tejidos animales y vegetales, entra en el proceso de síntesis de proteínas para la reparación de células y tejidos y suministro parcial de energía. Por medio de los procesos metabólicos, los organismos vivos devuelven el nitrógeno al medio ambiente en forma de heces y orina, principalmente. Cuando el organismo muere es todo su cuerpo el que retorna el nitrógeno al ambiente por medio de los procesos de descomposición de la materia orgánica.

Los nitratos al igual que el ion amonio son las más importantes para los sistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal para los organismos residentes en este medio.²¹

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Se forman en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas. Cuando existen actividades antrópicas, las aguas superficiales pueden tener concentraciones hasta de $5\text{mgNO}_3/\text{L}$ pero normalmente menores de $1\text{mgNO}_3/\text{L}$. Concentraciones por encima de los $5\text{mgNO}_3/\text{L}$ usualmente indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o la escorrentía.

b.4. Fosfatos

En primer lugar el fósforo es el elemento biogénico que desempeña el papel más importante en el metabolismo biológico. En comparación con los demás nutrientes, es el menos abundante y, al tiempo, es el factor más limitante de la productividad primaria. El fósforo hace parte de las moléculas más esenciales para la vida como el ATP (adenosina trifosfato) portador de energía, el ADN y ARN (ácidos nucleicos) portadores de la herencia y codificadores en la síntesis de proteínas.

El fósforo se encuentra en las rocas principalmente como ortofosfato (PO_4^{3-}). La principal fuente de este ion son las rocas ígneas.

La acción de las lluvias disuelve las rocas con la ayuda del ácido carbónico; así, el fósforo liberado, es transportado finalmente al mar.

Actualmente, el hombre también agrega fósforo a los ecosistemas acuáticos mediante los fertilizantes y detergentes utilizados en la agricultura y en la industria. El fósforo se encuentra en la naturaleza en dos formas principales, a saber: ortofosfatos y polifosfatos, siendo el más importante de ellos el ortofosfato. Ésta forma es la forma más soluble y asimilable; por ello se le nombra como fósforo soluble reactivo (FSR) o fósforo asimilable. Además es la manera como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo. Los fosfatos son extremadamente reactivos e interactúan con muchos cationes para formar, especialmente bajo condiciones oxidantes, compuestos insolubles que se precipitan. Los fosfatos pueden regresar de nuevo y estar disponibles para las algas mediante la absorción de colides inorgánicos y compuestos particulados como arcillas, carbonatos e hidróxidos.

El fosfato está formado en principio por fósforo orgánico disuelto, rápidamente descompuesto por microorganismos y asimilado por el fitoplancton y las plantas acuáticas. Este tipo de rápida asimilación fue llamado circulación de corto circuito o ciclo rápido.

El fitoplancton y las plantas acuáticas son tomados por los peces, los que lo liberan de nuevo en las heces. El zooplancton, por su parte, es el gran responsable de que el fósforo esté disponible en la columna de agua para ser reciclado en forma inmediata.²¹

b.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO

se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar, estabilizar, etc. la materia orgánica. La prueba de DBO más conocida es la DBO₅. Esta prueba se realiza incubando la muestra de agua en el laboratorio y al cabo de cinco días se mide el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en mg/L de oxígeno consumido ⁽⁷⁾. Así si hay mucha materia orgánica fácilmente biodegradable en la muestra y suficiente oxígeno, entonces habrá un crecimiento grande en una población de microorganismos aeróbicos que determinará un descenso en la concentración del oxígeno disuelto del sistema. La magnitud de este descenso es lo que se conoce como DBO. ²³

La prueba o datos de DBO se utilizan para: determinar la cantidad de oxígeno requerida para biológicamente estabilizar la materia orgánica.

Por las consideraciones señaladas, la importancia de las determinaciones de la DBO radica en que permiten calcular o predecir, cuando menos aproximadamente, el efecto que causaría una determinada descarga de aguas residuales, sobre la concentración de oxígeno disuelto de un cuerpo de aguas receptor; dicho en otras palabras, las pruebas de DBO, permiten evaluar la capacidad de un cuerpo de aguas receptor, para asimilar un determinado tipo de descargas. ²³

Además su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. ²²

Representa una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica. Es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos y por la cantidad y el tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media del elemento nutritivo. ²⁴

c. Parámetros biológicos. Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Éstos en el agua pueden ser patógenos o no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedad en los seres vivos mientras que por no patógenos se entiende lo contrario.

Los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos. ¹⁴

c.1. Coliformes fecales

La denominación genérica de coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Coliforme significa con forma de *coli*, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*. El grupo coliforme abarca todas las bacterias entéricas que se caracterizan por tener las siguientes propiedades bioquímicas:

- Ser anaerobias o anaerobias facultativas
- Ser bacilos gram negativos
- Ser oxidasa negativo
- No ser esporógenas
- Fermentar la lactosa a 35°C en 48 horas, produciendo ácido láctico y gas

Las bacterias de este género se localizan, principalmente, en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero las mismas están, ampliamente, distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo, suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se hallan en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo existen muchos coliformes de vida libre.

Tradicionalmente, estos organismos nos han considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano basados en que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es primordialmente fecal. Por lo tanto, la ausencia de ellos indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; esto es, mientras más coliformes se concentran en el agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces. ²⁴

2.3.2. Calidad del agua

La calidad se refiere a la aptitud del agua para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para bebida del hombre y de los animales, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para recreación. La calidad se puede ver afectada por la contaminación del agua, que es la adición de

sustancias alóctonas o microorganismos que deterioran su calidad. Un contaminante puede ser de origen inerte, como plomo, mercurio, detergentes; o de origen vivo, como el ocasionado por microorganismos provenientes de desechos domésticos (aguas negras principalmente).²¹

Desde el punto de vista ecológico, la calidad del agua tiene una connotación un poco diferente a la requerida para usos domésticos, agrícolas o industriales. En un ecosistema acuático natural puede ser muy diversa; ciertos ecosistemas, a pesar de tener concentraciones elevadas de sales, durezas y alcalinidades, y valores de pH muy ácidos o muy básicos, pueden tener comunidades estables y adaptadas a vivir en dichos medios. En estos casos, la calidad del agua depende fundamentalmente de los aportes naturales dados por las lluvias y por la naturaleza geoquímica del terreno.

2.3.3. Índice de Calidad de Agua (ICA)

El término de calidad de agua encierra por sí mismo cierto grado de confusión y, a la vez, ha sido muy criticado por algunos de los expertos en el tema. Mientras que calidad ecológica del agua, calidad fisicoquímica, calidad biológica u otros términos tienen cierta tradición, un índice de calidad de agua (ICA) se presta a muchas interpretaciones. Por ello se necesita centrar el tema y darle el marco de referencia adecuado.

Calidad de agua es un concepto relativo que depende del uso que va a tener el agua o el sistema hídrico que se quiere evaluar. Dependiendo de si el agua se va a usar para consumo humano, riego, transporte de mercancías, fomento de la vida de los peces o mantenimiento del ecosistema con todas sus características funcionales, el sistema de evaluación de la calidad será diferente.¹⁴

Es claro, con base en la discusión anterior, que no existe una variable o un parámetro físico, químico o biológico que permita definir la calidad del agua en un determinado tiempo o sitio. Por lo tanto, se define como índice de calidad del agua a la expresión matemática que se calcula considerando tres aspectos:

- Aspectos fisicoquímicos. Las concentraciones, especies y tipos de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua.
- Aspectos biológicos. La composición y estado de la biota acuática.
- Aspectos no acuáticos. Los cambios temporales y espaciales que son debidos a los factores intrínsecos y externos al sistema acuático en estudio. Por ejemplo, la canalización del cauce, la presencia de bosques en las riberas de la corriente, etc.

Un índice de calidad del agua es la expresión global o integrada en la cual se combinan factores naturales de tipo morfológico, geográfico y/o climático con las características fisicoquímicas y biológicas del agua, sin ignorar la estética de la zona. ¹⁴

Los índices de calidad de agua nos ayudan a:

- La asignación de recursos. Los índices pueden ayudar a los administradores en la asignación de fondos y determinar prioridades en el tratamiento de aguas.
- Clasificación de las asignaciones. Los índices pueden ser aplicados para ayudar a comparar la calidad del agua en diferentes lugares o zonas geográficas.
- Aplicación de normas. Los índices pueden ser aplicados a lugares específicos para determinar el grado en que las normas y criterios existentes se cumplen o están siendo sobrepasados.
- Análisis de tendencia. Los índices pueden ser aplicados a la calidad del agua en diferentes puntos en el tiempo para determinar los cambios en la calidad (degradación o mejoría) que se han producido durante el período.
- Información pública. Los resultados del índice son fáciles de entender, por lo que sirven para mantener al público informado de la calidad del agua de cualquier fuente.
- Investigación científica. La calidad intrínseca de un índice traduce una gran cantidad de datos a un solo valor puntual que es inmensamente valioso en una investigación científica, por ejemplo: en la determinación de la eficacia de las diferentes medidas de restauración ecológica, estrategias de tratamiento de agua con referencia a un cuerpo de agua, el impacto del desarrollo de actividades sobre la calidad del agua, etc. ²⁵

2.3.3.1. Índice de Calidad de Agua de la Fundación de Sanidad Nacional (WQI – NSF)

Brown et al. (1970) desarrollaron un índice de calidad de agua similar en estructura al índice de Horton pero con mayor exquisitez en la: selección de parámetros, desarrollo de una escala común y asignación de pesos a cada uno de los parámetros. Este esfuerzo fue apoyado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), por esta razón, el índice de Brown también se conoce como NSF – WQI.

Un grupo de 142 personas con experiencia en gestión de calidad de agua se formó para el estudio. Se pidió a los panelistas a considerar 35 parámetros para su posible inclusión en el índice. Eran libres para agregar a la lista cualquier parámetro de su elección. Cada parámetro iba a ser asignado una de las siguientes opciones: no incluyen, indecisos o incluyen. Los panelistas fueron pidiendo que se clasificaran los parámetros marcados como incluidos de acuerdo a su importancia como contribuyente a la calidad general. La calificación se realizó en una escala de 1 (la más alta) a 5 (la más baja). Las respuestas del panel fueron traídos al conocimiento de todos los miembros del panel y los miembros eran permitidos a revisar su juicio individual en la luz de la respuesta del panel completo.²⁵

Finalmente se pidió a los panelistas que no seleccionen más de 15 parámetros que consideraran a los más importantes. La lista completa de parámetros dispuestos en orden decreciente de importancia, según determinado por calificación del panel, se presentó a cada miembro, continuando de esta manera se finalizó con una lista de once parámetros.

Tabla 6. Lista de parámetros elegidos como más significativos realizado por el panel de especialistas realizado por Brown et al. (1970) para la WQI – NSF.

Parámetros	Rango de importancia
Oxígeno disuelto	1
Demanda bioquímica de oxígeno	2
Turbidez	3
Sólidos Totales Disueltos	4
Nitratos	5
Fosfatos	6
pH	7
Temperatura	8
Coliformes fecales	9
Pesticidas	10
Elementos tóxicos	11

Además se pidió a los panelistas asignar valores para la variación en el nivel de la calidad del agua producido por las diferentes concentraciones de los parámetros anteriormente seleccionados. La relación concentración y valor del parámetro fue obtenido en forma de un gráfico. Estos gráficos fueron producidos por los

panelistas para denotar curvas que a su juicio, mejor representaban la variación en el nivel de la calidad del agua. El juicio de todos los encuestados se promediaron para producir un conjunto de curvas, uno para cada parámetro. Para los plaguicidas y los elementos tóxicos, se propuso que si el contenido total de pesticidas detectados o elementos tóxicos (de todo tipo) exceden a 0,1mg/L el índice de la calidad del agua se registrará automáticamente cero.

Se pidió a los panelistas que se compare de manera relativa la calidad general del agua utilizando una escala de 1 (la más alta) a 5 (la más baja) para los parámetros seleccionados, luego se calculó la media aritmética para las votaciones de los expertos. Para convertir la calificación en pesos, el peso temporal de 1,0 fue asignado al parámetro que recibió la calificación más alta en importancia. Todos los otros pesos temporales fueron obtenidos dividiendo la máxima calificación entre la media aritmética. Cada peso temporal es entonces dividido por la suma de todos los pesos temporales para llegar al peso final, ver la siguiente tabla.²⁵

Tabla 7. Valores y pesos relativos de los parámetros incluidos en el índice WQI – NSF.

Parámetros	Media aritmética de las		
	clasificaciones dadas por los encuestados	Pesos temporales	Peso final
Oxígeno disuelto	1,4	1,0	0,17
Coliformes fecales	1,5	0,9	0,16
pH	2,1	0,7	0,11
DBO (5 días)	2,3	0,6	0,11
Nitratos	2,4	0,6	0,10
Fosfatos	2,4	0,6	0,10
Temperatura	2,4	0,6	0,10
Turbidez	2,9	0,5	0,08
Sólidos Totales Disueltos	3,2	0,4	0,07
Total		5,9	1,00

El índice de Brown representa la calidad del agua en forma general. No reconoce incorporar funciones específicas del agua como: agua potable, alimentación, agricultura, industria, etc.²⁵

Brown et al. (1973) propone una variación de NSF – WQI en su forma multiplicativa y es:

$$WQI = \prod_{i=1}^n S_i^{w_i}$$

Donde:

Si es la transformación del valor del parámetro (curva) .

Wi es el peso relativo del parámetro, tal que:

$$\sum_{i=1}^9 w_i = 1$$

Las investigaciones posteriores muestran que la formulación multiplicativa es mejor que el aditivo con la opinión que los expertos. Sin embargo ambos se encuentran en uso. ²⁶

Esta última es la que se empleó en el presente trabajo de investigación.

Para la determinación del ICA interviene 9 parámetros, los cuales son: ²⁷

- Coliformes fecales (en NMP/100mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Temperatura (en °C)
- Turbidez (en UNT)
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Posteriormente al cálculo de índice de calidad de agua de tipo "general" se clasifica la calidad de agua en base a la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación del Índice de Calidad de Agua (WQI – NSF). ²⁵

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

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 ICA de categoría “regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con ICA de categoría “mala” pueden solamente apoyar su diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con ICA que caen en categoría “pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas de vida acuática, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella. ²⁷

2.4. MARCO LEGAL

En la actualidad existen muchas normas nacionales, leyes; relacionados al tema de la calidad del agua.

2.4.1. Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”

La Ley General del Ambiente en su Título I “Política Nacional del Ambiente y Gestión Ambiental”, Capítulo III. “Gestión Ambiental”, Artículo 31 “Del estándar de calidad ambiental”:

El Estándar de Calidad Ambiental, (ECA), es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. ²⁸

2.4.2. D.S. N° 012 – 2009 – MINAM “Política Nacional del Ambiente”

En el Eje de política 2. Gestión Integral de la calidad ambiental, menciona los siguientes lineamientos de política respecto a calidad del agua:

- Impulsar una adecuada calidad ambiental de los cuerpos de agua del país de acuerdo a estándares que permitan evitar riesgos a la salud y al ambiente.
- Identificar, vigilar y controlar las principales fuentes emisoras de efluentes contaminantes, privilegiando las cuencas que abastecen de agua a los centros urbanos y articular para tal fin, la actuación de las autoridades en los tres niveles de gobierno.
- Promover el conocimiento científico y tecnológico de las medidas de prevención y los efectos de la contaminación del agua, sobre la salud de las personas, los ecosistemas y los recursos naturales.
- Impulsar la rehabilitación de los cuerpos de agua afectados por contaminación.
- Aplicar instrumentos e incentivos económicos para evitar la contaminación de las fuentes de agua.²⁹

2.4.3. Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos”

La Ley de Recursos Hídricos en su Título V “Protección del Agua”, Capítulo IV. “Extinción de los Derechos de Uso de Agua”, Artículo 73 “Clasificación de los cuerpos de agua”, menciona:

Los cuerpos de agua pueden ser clasificados por la Autoridad Nacional teniendo en cuenta la cantidad y calidad del agua, consideraciones hidrográficas, las necesidades de las poblaciones locales y otras razones técnicas que establezca.

Además en el Artículo 76 “Vigilancia y fiscalización del agua”, menciona: La Autoridad Nacional en coordinación con el Consejo de Cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA - Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por autoridad del ambiente. También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad del recurso.³⁰

2.4.4. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos

El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos en su Título V “Protección del Agua”, Capítulo IV. “Protección de las Fuentes de Agua”, Artículo 126 “Protocolo para el monitoreo de la calidad de las aguas”, menciona:

El monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.³¹

2.4.5. R.J. N° 182 – 2011 – ANA “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial”

El Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial, debe ser tomado en cuenta y es de obligatorio cumplimiento, por todas las entidades públicas y privadas del territorio nacional que realicen actividades relacionadas con los recursos hídricos (usos, vertimientos y/o reuso).

El proceso para el desarrollo del Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos en cuerpos naturales de agua superficial, se inicia con el procedimiento para determinar la red de monitoreo para la vigilancia y puntos de control para la fiscalización, de la Calidad de los Recursos Hídricos; seguido de los procedimientos para determinar los siguientes componentes:

- Red de monitoreo y puntos de control.
- Parámetros de calidad de recursos hídricos.
- Frecuencia de monitoreo.
- Medición de condiciones hidrográficas y dinámicas en cuerpos naturales de aguas continentales y marinas.
- Desarrollo del monitoreo.
- Aseguramiento y control de calidad.³²

2.4.6. D.S. N° 002 – 2008 – MINAM “Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”

En el Artículo 1 menciona: Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo,

con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. ³³

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo al sur este de la ciudad de Ayacucho, situado entre los distritos de: Socos, Carmen Alto, Ayacucho, San Juan Bautista y Jesús Nazareno, en la microcuenca del río Alameda. Éste es el único río que atraviesa la ciudad casi en su totalidad, tiene una longitud aproximada de 21,5 km. La naciente del río Alameda tiene las siguientes coordenadas geográficas: 8533518 mS y 577498 mE y se extiende hasta los 8547505 mS y 587834 mE, zona 18 Sur.

El drenaje pluvial del río Alameda está compuesto por un sistema natural formado por las quebradas Yanaccacca y Yaccopampa. El río Alameda que discurre por el este de la ciudad recibe el aporte de la quebrada Wichccana que discurre por el norte de la ciudad, el río Alameda posteriormente se une con el río Huatatas para formar el río Chacco.

El río Alameda es de carácter permanente siendo sus mayores flujos en la época lluviosa en los meses de diciembre a marzo. La altitud de la zona de estudio varía de 2620 msnm a 3721 msnm.

3.2. UBICACIÓN POLÍTICA

El lugar de estudio está dado por la microcuenca del río Alameda y su ubicación política es la siguiente:

Lugar	: Microcuenca del río Alameda
Distritos	: Socos, Carmen Alto, Ayacucho, San Juan Bautista y Jesús Nazareno
Provincia	: Huamanga
Región	: Ayacucho

3.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La microcuenca del río Alameda se encuentra al sureste de la ciudad de Ayacucho y tiene como sus coordenadas geográficas.

Al inicio: 8533518 mS, 577498 mE y una altura de 3721 m.s.n.m.

Al final: 8547505 mS, 587834 mE y una altura de 2620 m.s.n.m.

3.4. POBLACIÓN

La población para el presente trabajo de investigación está representada por todo el tramo del río Alameda que tiene una longitud aproximada del río Alameda 21,5 km.

3.5. MUESTRA

La muestra del río Alameda está dada por un total de 84 muestras en las siete zonas de muestreo, desde el lugar de origen en la comunidad campesina de Llunchi hasta 100m después de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Totora" que es la última zona de muestreo.

3.5.1. ZONAS DE MUESTREO

Los zonas de muestreo fueron determinados de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua teniendo en cuenta que los zonas de muestreos estarán influenciados por los diferentes usos del agua, el grado de contaminación accidental, uso y almacenamiento de productos químicos agrícolas. Por lo que la primera zona de muestreo se ubicó en la cabecera de la microcuenca del río Alameda en donde las aguas no han recibido residuos de ningún tipo de actividad, seguidamente en función a un inventario de actividades o afluente, por lo que se seleccionaron tramos representativos al final de los cuales se ubicaron las zonas de muestreo y son como sigue:

Tabla 9. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Alameda.

ZONA DE MUESTREO	SUR (m)	ESTE (m)	ALTITUD (m.s.n.m.)	NOMBRE DEL LUGAR
1	8534925	578531	3720	Comunidad campesina de Llunchi
2	8543016	583573	2838	Puente Andamarca
3	8543804	583741	2768	Puente Alameda frente al Colegio San Ramón
4	8544717	584419	2757	Puente San Sebastián
5	8544822	584660	2752	Puente Evitamiento
6	8546658	585808	2694	Antes de PTAR TOTORA

3.6. SISTEMA DE MUESTREO

Las zonas de muestreo se ubicaron en tramos homogéneos donde se efectuaron la toma de una muestra integrada, debido a que el río Alameda presenta bajos caudales se tomaron muestras simples en el centro del cauce del río.

3.7. METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. TOMA DE MUESTRAS

El total de muestras analizadas fueron 84, las cuales se obtuvieron mes a mes durante un periodo de 12 meses en las siete zonas de muestreo en la microcuenca del río Alameda.

Las muestras de agua fueron recolectadas en el centro del río en dirección opuesta al curso de este, para ello se utilizó un balde, el cual se realizó un previo enjuague de dos veces con el agua del río, del cual se distribuyó el contenido en un frasco de vidrio de 475 mL de capacidad para la determinación del parámetro bacteriológico (coliformes fecales) no llenando el frasco, seguidamente se pasó a determinar los parámetros de campo: oxígeno disuelto, temperatura del agua, pH y sólidos totales disueltos con la ayuda de un multiparámetro. Posteriormente a ello se pasó a distribuir el contenido restante en los frascos de vidrio de capacidad de 475 mL para la determinación de: DBO₅, turbidez, nitratos y fosfatos. Para el caso de la demanda bioquímica de oxígeno la muestra fue llenada en el frasco hasta el ras.

Los frascos utilizados para la toma de muestras fueron previamente esterilizados. Además de ello de manera trimestral se colectó una muestra duplicada para su análisis posterior y de manera bimensual se empleaba el blanco viajero consistente en un frasco de vidrio de la misma capacidad para la toma de muestras conteniendo agua destilada y que a su retorno se determinaron algunos parámetros. Todas las muestras que fueron llevadas al laboratorio fueron etiquetadas, éstas contienen algunas descripciones como: origen de la fuente, zona, fecha y hora de muestreo, fecha y hora de llegada al laboratorio, etc.

3.7.2. PRESERVACIÓN Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS

La muestra recolectada en campo fueron 7 por cada mes, éstas fueron colocadas en un cooler con su respectivo refrigerante (hielo seco y hielo), para luego ser transportadas al laboratorio de Control de Calidad de la Entidad Prestadora de

Servicios de Saneamiento Ayacucho (EPSASA) y determinar en éste los parámetros restantes.

3.7.3. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

De acuerdo a la APHA 2012 los recipientes de vidrio utilizados para el transporte de las muestras fueron esterilizados; además en el caso del multiparámetro que es un equipo electrónico ha sido calibrado antes de su salida a campo.

3.7.3.1. Procedimiento para la determinación de la temperatura del agua

- Se colocó el sensor de temperatura (termómetro) en el recipiente que contenía la muestra colectada.
- Se observó el valor en la pantalla del equipo de medición portátil hasta que se estabilizó. Este dato fue registrado como valor de este parámetro.

3.7.3.2. Procedimiento para la determinación del oxígeno disuelto

- Se colocó el sensor OPTOD en el recipiente que contenía la muestra colectada.
- Se observó el valor del parámetro en la pantalla del equipo de medición portátil hasta que se estabilizó. Este dato fue registrado como valor de este parámetro.

3.7.3.3. Procedimiento para la determinación del pH

- Se colocó el sensor de PHEHT en el recipiente que contenía la muestra colectada.
- Se observó el valor del parámetro en la pantalla del equipo de medición portátil hasta que se estabilizó. Este dato fue registrado como valor de este parámetro.

3.7.3.4. Procedimiento para la determinación de sólidos totales disueltos.

- Se colocó el sensor de C4E en el recipiente que contenía la muestra colectada.
- Se observó el valor del parámetro en la pantalla del equipo de medición portátil hasta que se estabilizó. Este dato fue registrado como valor de este parámetro.

3.7.3.5. Procedimiento para la determinación de nitratos.²⁰

- Se colocó el papel filtro de tipo circular whatman N° 50 en el embudo de filtración.
- Se filtró 10mL de agua destilada para humedecer el papel filtro.
- Se filtró una cantidad de 50mL de agua de cada una de las zonas de muestreo en frascos de vidrio previamente esterilizados.

- También se preparó un blanco que consiste en agua destilada y todos los reactivos.
- A cada uno de los frascos se agregaron 1mL de ácido clorhídrico (HCl) 1N.
- Se agitaron vigorosamente cada uno de los frascos.
- Se dejó reposar por 30 segundos.
- Se hizo la lectura de nitratos en (mg/L) al espectrofotómetro a 220nm, comparando con un estándar que se encuentra almacenada en la base de datos del software que tiene como un valor mínimo 0 mg/L y como valor máximo 5 mg/L.
- Cuando las lecturas superaron los valores mínimos y máximos se realizó la dilución de la muestra 10mL de éste en 90mL de agua destilada y se volvió a leer nuevamente, para luego multiplicarlo por 10.

3.7.3.6. Procedimiento para la determinación de fosfatos. ²⁰

- Se preparó ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 5N diluyendo 7mL de ácido sulfúrico concentrado en 50mL de agua destilada.
- Se preparó solución de tartrato de antimonio y potasio, disolviendo 0.1372g de tartrato de antimonio y potasio en 40mL de agua destilada y luego enrasar a 50mL.
- Se preparó solución de molibdato de amonio, disolviendo 2g de molibdato de amonio en 50mL de agua destilada.
- Se preparó solución de ácido ascórbico, disolviendo 0.88g de ácido ascórbico en 50mL de agua destilada.
- Se preparó el reactivo mixto mezclando los siguientes reactivos en las cantidades señaladas y el orden señalado: 50mL de ácido sulfúrico al 5N, 5mL de solución de tartrato de antimonio y potasio, 15mL de solución de molibdato de amonio y 30mL de solución de ácido ascórbico.
- Se colocó el papel filtro de tipo circular whatman N° 50 en el embudo de filtración.
- Se filtró 10mL de agua destilada para humedecer el papel filtro.
- Se filtró una cantidad de 50mL de agua de cada una de las zonas de muestreo en frascos de vidrio previamente esterilizados.
- También se preparó un blanco que consiste en agua destilada y todos los reactivos.

- A cada uno de los frascos se agregaron una gota de fenoftaleína para observar si se desarrolla un color fucsia.
- Se agregó 8mL del reactivo mixto a cada una de las muestras y luego se agitó.
- Después de por lo menos 10 minutos pero no más de 30 minutos se realizó la lectura al espectrofotómetro a una longitud de onda de 880nm.
- Se hizo la lectura de fosfatos en (mg/L) comparando con un estándar que se encuentra almacenada en la base de datos del software que tiene como un valor mínimo 0 mg/L y como valor máximo 1 mg/L.
- Cuando las lecturas superaron los valores mínimos y máximos se realizó la dilución de la muestra, 10mL de éste en 90mL de agua destilada y se volvió a leer nuevamente, para luego multiplicarlo por 10.

3.7.3.7. Procedimiento para la determinación de turbidez. ²⁰

- Se llenó la cubeta de muestra hasta la línea de llenado (15mL aproximadamente).
- Se sujetó la cubeta por la parte superior y se tapó la cubeta.
- Se limpió la cubeta con un paño suave y sin pelusa para eliminar las manchas de agua y la huella de los dedos.
- Se introdujo la cubeta de muestra en el compartimento del turbidímetro.
- Se cerró la tapa y se presionó la tecla READ para realizar la lectura de la turbidez.

3.7.3.8. Procedimiento para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

- Se vació el contenido del frasco de vidrio en una probeta graduada en una cantidad de 428mL.
- Se vació el contenido de la probeta a las botellas de muestra de color marrón (frascos oxitop).
- Se colocó las varillas de agitación magnética en los frascos.
- Se añadió 10 gotas de inhibidor de nitrificación.
- Se colocó la aljaba de goma en el cuello de cada una de las botellas.
- Se añadió 03 gotas de solución de hidróxido de potasio al 45% en cada una de las aljabas de goma.
- Se cerraron los frascos oxitop con los cabezales de medición.
- Se colocaron los frascos en las plataformas de agitación.
- Se colocaron las plataformas en la incubadora a 20 °C durante 5 días.

- Se anotaron las lecturas de la DBO₅ en mg/L al quinto día.

3.7.3.9. Procedimiento para la determinación de coliformes fecales. ²⁰

- Se preparó el caldo A – 1.
- Se vació la solución del caldo A -1 en los tubos de ensayo (9mL), se añadieron las campanas de Durham en cada uno y luego fueron llevados al autoclave para esterilizarlos.
- Se prepararon frascos con agua de dilución estéril para realizar las diluciones sucesivas.
- Se vació 10mL de la muestra en uno de los frascos con agua de dilución, éste viene a tener una dilución de 10⁻¹.
- Se realizó la siguiente dilución vertiendo 10mL de la muestra diluida (10⁻¹) al siguiente frasco con agua de dilución para tener una dilución de 10⁻².
- Se realizó la siguiente dilución vertiendo 10mL de la muestra diluida (10⁻²) al siguiente frasco con agua de dilución para tener una dilución de 10⁻³ y así sucesivamente.
- Se tomó 1mL de la muestra de cada uno de los frascos que contienen las diluciones y se añadieron a los tubos de ensayo conteniendo la solución del caldo A – 1. Cada dilución se sembró por quintuplicado.
- Los tubos de ensayo conteniendo las muestras a las diferentes diluciones fueron colocadas en una gradilla.
- Luego éstas se colocaron en baño maría a 44.2 °C por 24 horas.
- Pasado este tiempo se realizó la lectura de los tubos positivos (presencia de gas) en las campanas de Durham de cada una de las diluciones.
- Para el cálculo de la cantidad de coliformes fecales se realizó de acuerdo a la cantidad de los tubos positivos que se encontraron en cada una de las diluciones, con estos se tiene una combinación para cada zona de muestreo.
- Esta combinación se busca en la tabla del NMP (ver Anexo 20), luego este valor es multiplicado por la inversa de la última dilución positiva dividido entre 10, para así obtener el resultado en NMP/100mL.

3.8. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptivo

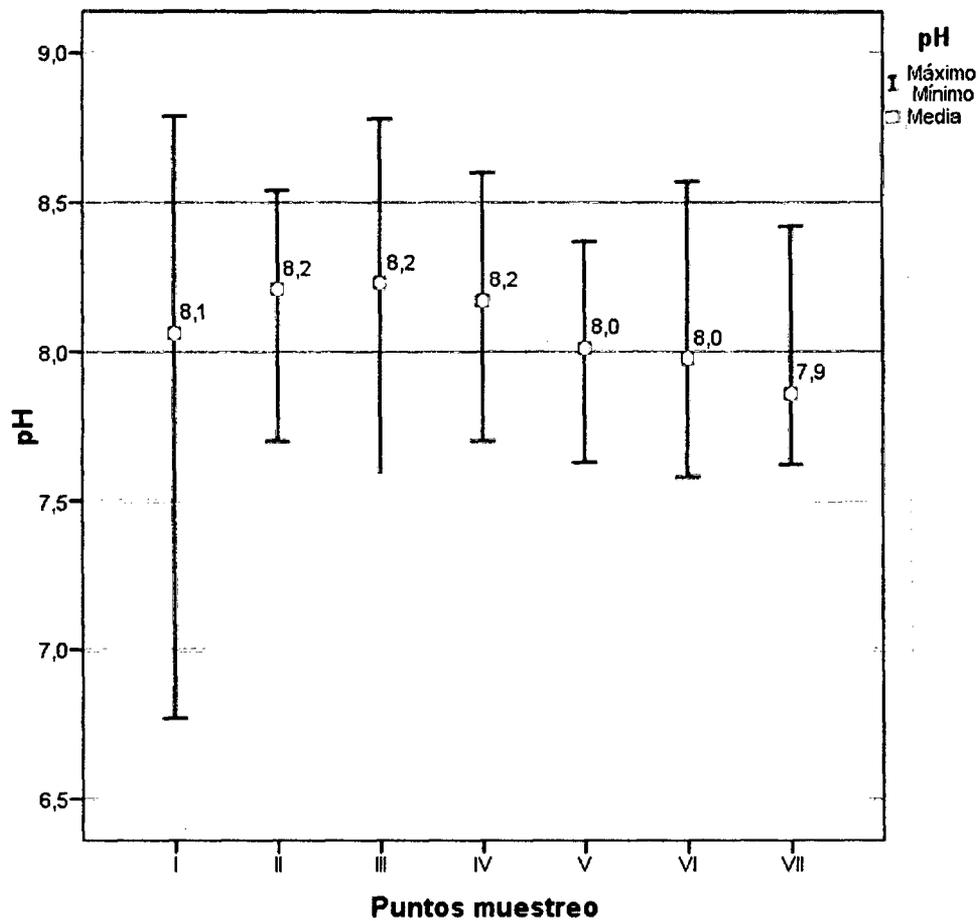
3.9. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

No experimental, horizontal de una sola casilla

3.10. ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados son presentados en cuadros y gráficos, mostrando estadísticos descriptivos de tendencia central (media y desviación típica) y de dispersión.

Para poder comparar el valor de cada uno de los parámetros y el índice de calidad de agua entre los meses de estudios, se realizó la prueba de Kruskal – Wallis, así mismo se desarrolló la prueba de similitud mediante un dendrograma en base a las características fisicoquímicas y biológicas.

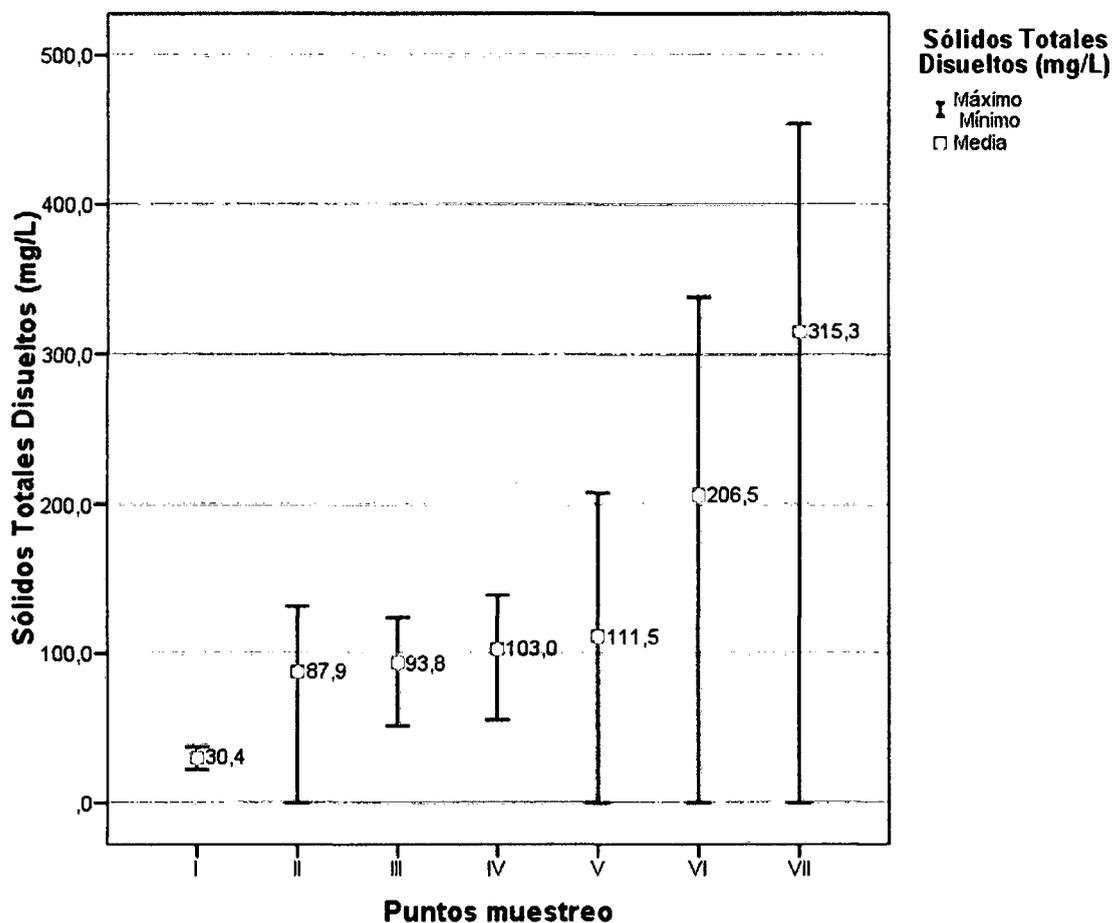


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 10,570$; $gl = 6$; $p = 0,103$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 1.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar del pH de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

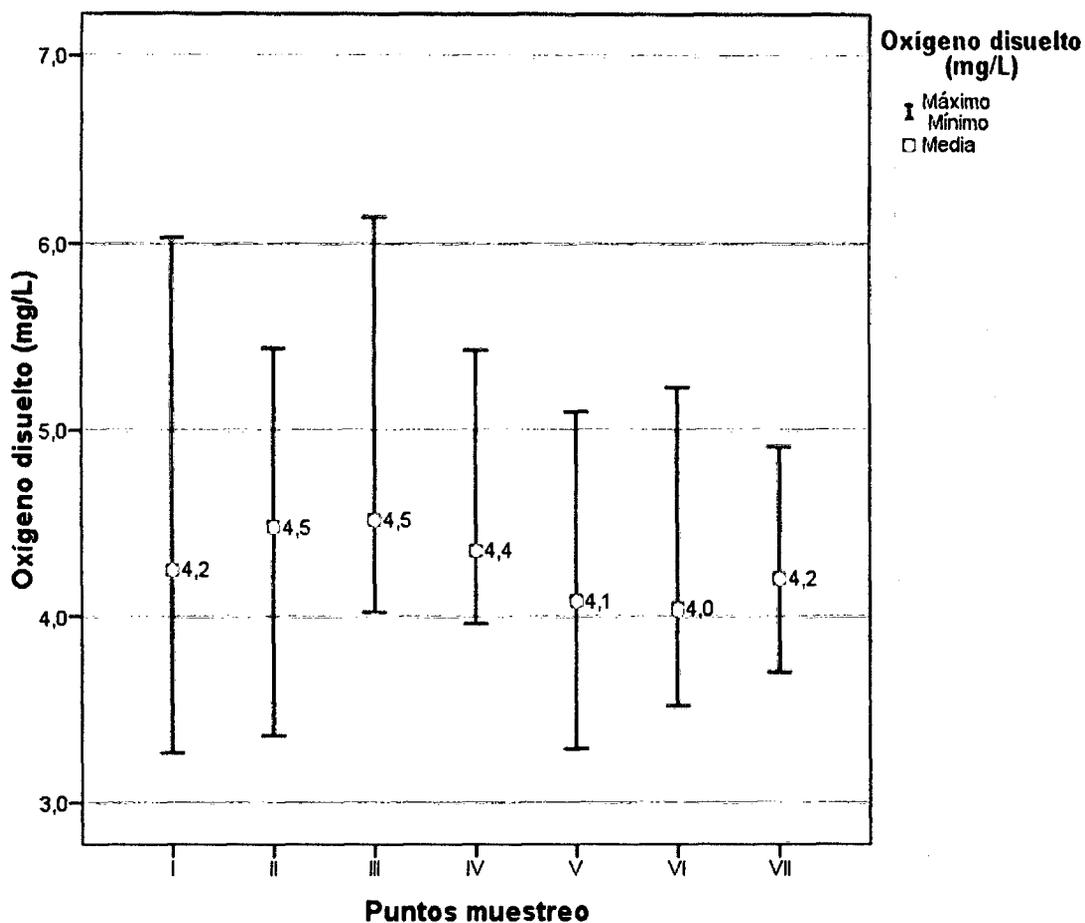


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 42.427$; $gl = 6$; $p = 0,000$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 2.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de sólidos totales disueltos (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

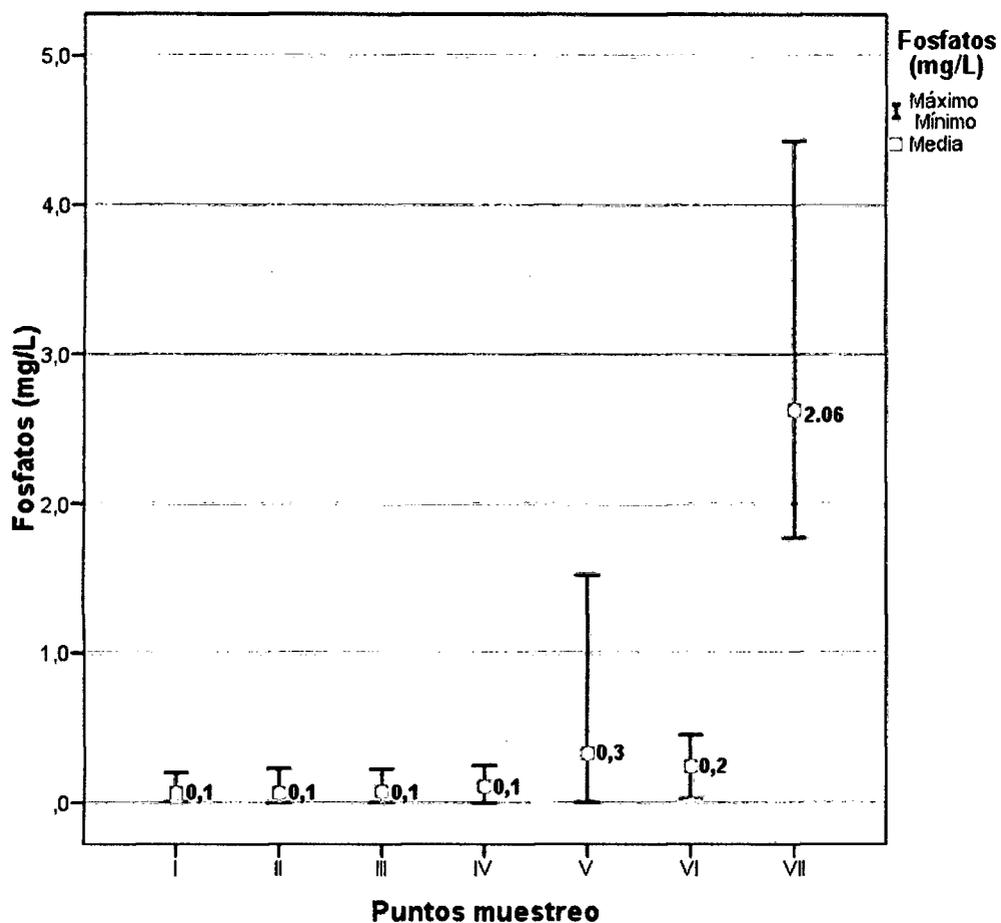


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 18.191$; $gl = 6$; $p = 0,006$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 3.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de oxígeno disuelto (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

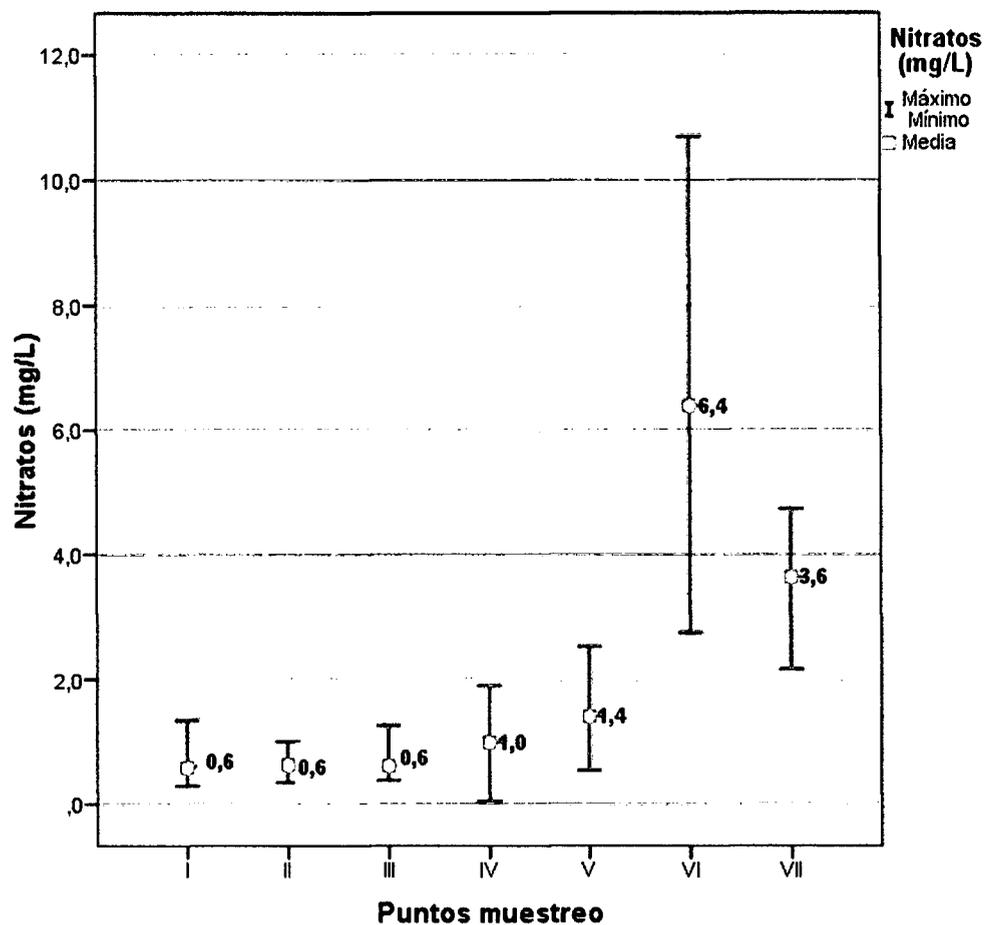


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 41.513$; $gl = 6$; $p = 0,000$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 4.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad fosfatos (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

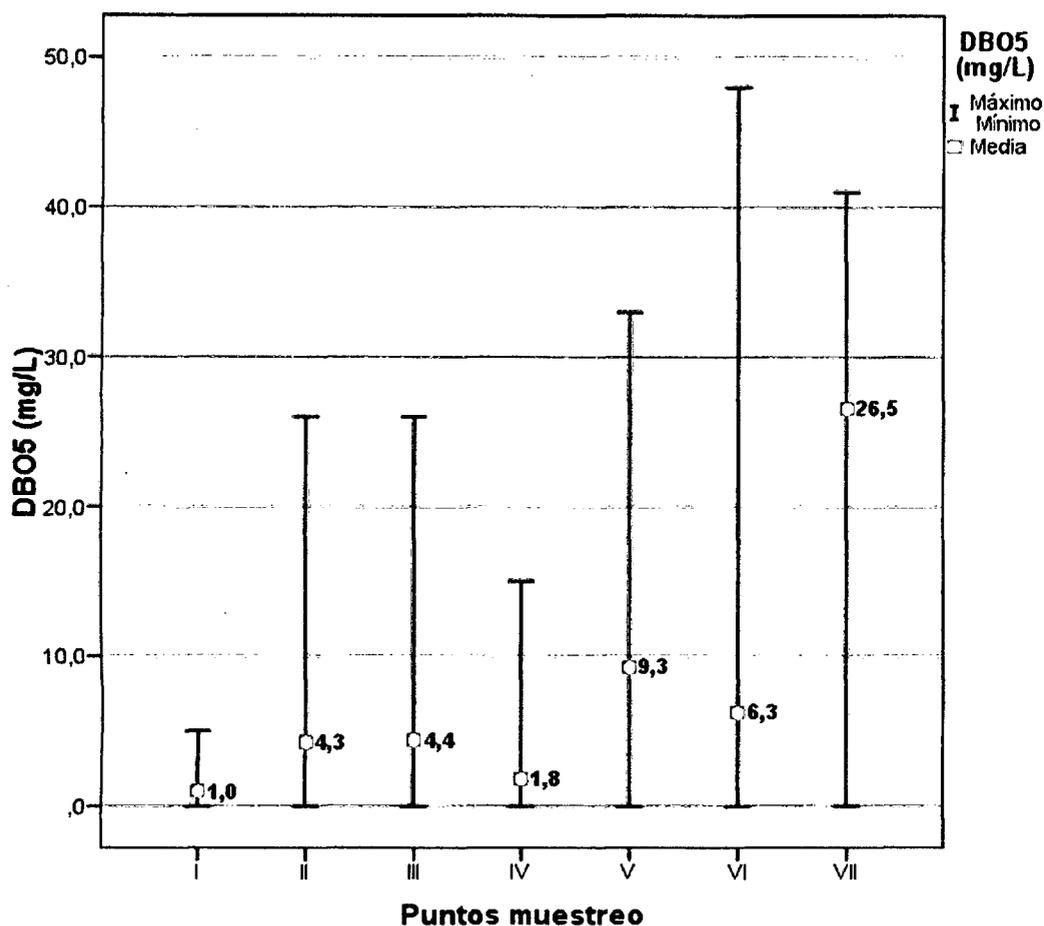


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 60.870$; $gl = 6$; $p = 0,000$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 5.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de nitratos (mg/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

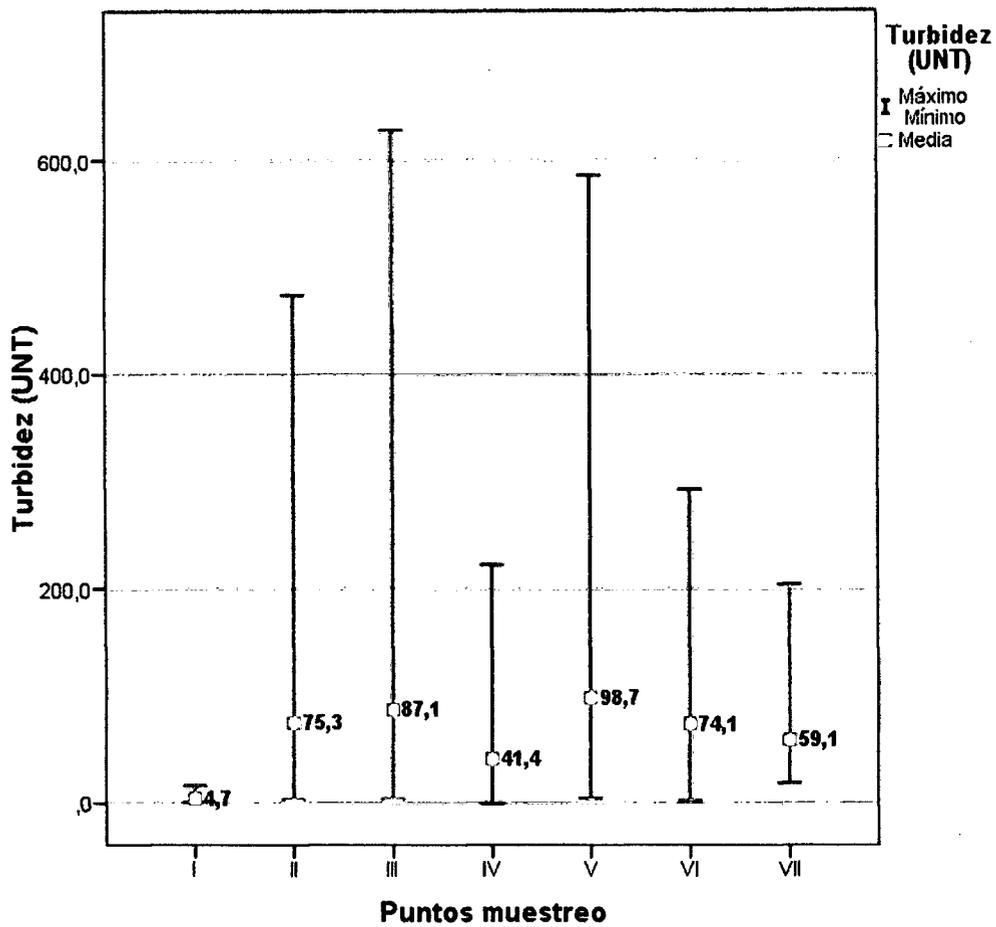


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 26.397$; $gl = 6$; $p = 0,000$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 6.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la demanda bioquímica de oxígeno (mgO_2/L) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

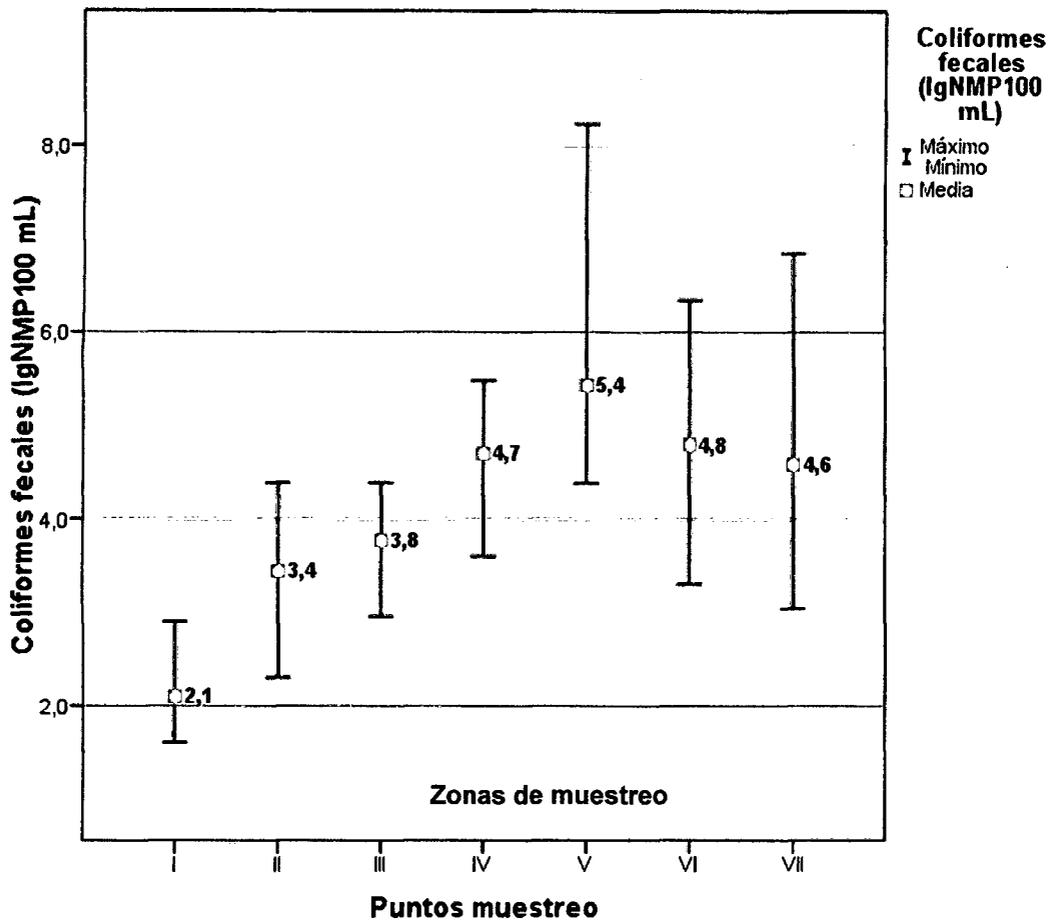


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 23.112$; gl = 6; p = 0,001)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 7.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la turbidez (UNT) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

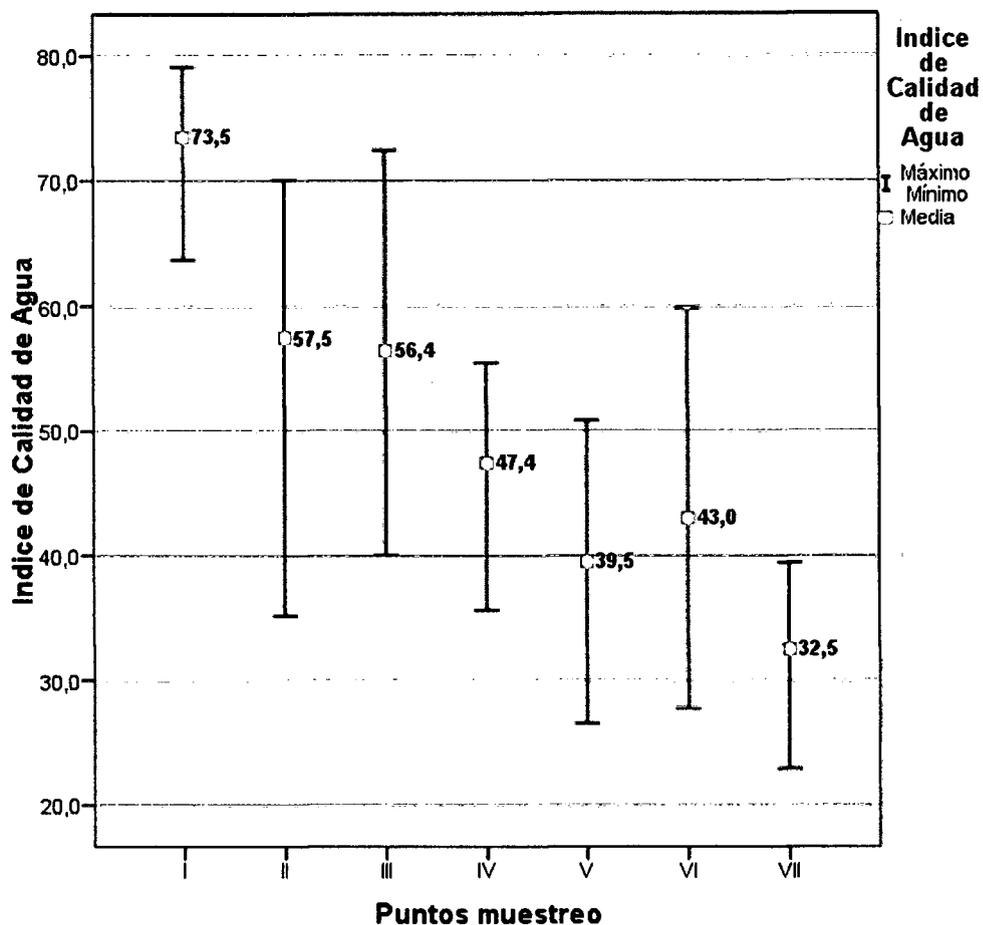


Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $X^2 = 51.735$; $gl = 6$; $p = 0,000$)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 8.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de la cantidad de coliformes fecales (LogNMP/100mL) de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.



Leyenda:

(Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 55.813$; gl = 6; p = 0,000)

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

Figura 9.- Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar del Índice de Calidad del Agua (NSF – WQI), de las aguas del río Alameda en siete zonas de muestreo determinadas en 12 meses, Ayacucho 2014.

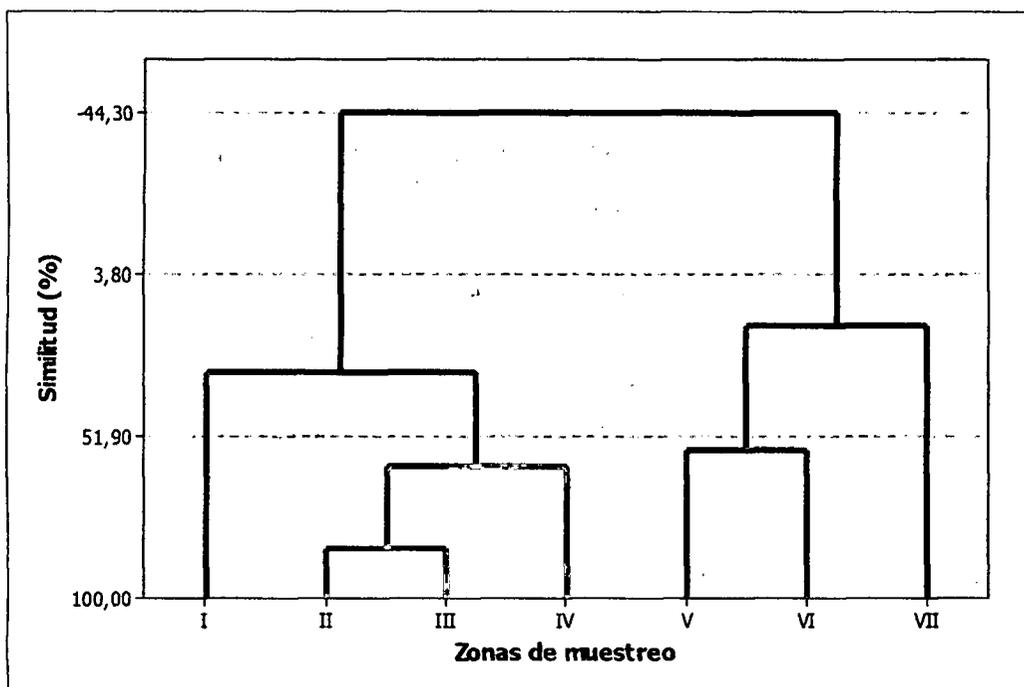


Figura 10.- Dendrograma de similitud al 60% de siete zonas de muestreo en el río Alameda basado en las características fisicoquímicas y biológicas de sus aguas, Ayacucho 2014.

Tabla 10.- Valores promedio, mínimo y máximo del Índice de Calidad del Agua de la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU de las siete zonas muestreo en el río Alameda, Ayacucho 2014.

Zonas de muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Catalogación	Color
I	63,7	79,1	73,481	Buena	
II	35,2	70,0	57,463	Regular	
III	40,1	72,4	56,427	Regular	
IV	35,6	55,5	47,429	Mala	
V	26,6	50,8	39,506	Mala	
VI	27,8	59,8	42,999	Mala	
VII	22,9	39,4	32,523	Mala	

ZONAS DE MUESTREO

LUGAR

- I: Llunchi
- II: Puente Andamarca
- III: Alameda (frente al colegio San Ramón)
- IV: Puente San Sebastián
- V: Puente de Evitamiento
- VI: Antes del PTAR
- VII: Después del PTAR

V. DISCUSIÓN

En la figura 1 respecto al parámetro de pH, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio, éstos varían entre 8,1 a 7,9 desde la zona de muestreo I hasta la última zona VII respectivamente, los valores promedio corresponden al calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística aplicada manifiesta que el valor del pH entre las zonas de muestreos son similares. El rango de pH para aguas naturales oscila entre 6,5 y 8,5, donde la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos, ⁴¹ algunas de las quebradas y la peniplanicie donde se asienta la ciudad de Ayacucho se encuentran en depósitos pleistocénicas y lacustres de areniscas arcillosas y carbonatadas, ⁴² lo cual explica el carácter alcalino de las aguas del río Alameda. El río Alameda de acuerdo a la clasificación de cuerpos de agua pertenece a la categoría III, los ECA para la categoría III respecto al parámetro menciona que para el riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, el pH debe estar en el rango de: 6,5 a 8,5; y para la bebida de animales menciona que el parámetro debe encontrarse en el rango de: 6,5 a 8,4; para ambos casos los valores encontrados en las siete zonas de muestreo si cumplen con los ECA.

En la figura 2 respecto al parámetro de sólidos totales disueltos, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio y estos varían desde 30,4 a 315,3 mg/L desde la naciente del río Alameda hasta la última zona de muestreo (después del PTAR Totorá), los valores corresponden al calculado de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística aplicada manifiesta que los valores obtenidos de sólidos totales disueltos en las zonas de muestreo son diferentes. Los menores valores fueron

heterotróficas aerobias) y oxidación química.²¹ Esta afirmación se corrobora en las zonas de muestreo V, VI y VII donde el parámetro DBO_5 muestra sus máximos valores 9,3, 6,3 y 26,5 mgO_2/L , contrastado además por la presencia de materia orgánica (nitratos y fosfatos) en estas mismas zonas con valores altos. El ECA para el parámetro de oxígeno disuelto para la categoría III en el primer caso para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto menciona que el valor debe ser mayor o igual a 4 mg/L y para la bebida de animales debe ser mayor a 5 mg/L , respecto al primer caso los valores de oxígeno disuelto si cumplen con los ECA; sin embargo para el segundo caso las aguas del río Alameda no cumplen los ECA. En la figura 4 respecto al parámetro de fosfatos, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron en valores promedio y estos varían desde 0,1 mg/L en la zona de muestreo I (Llunchi) a 2,6 mg/L en la zona de muestreo VII (después del PTAR Totorá), los valores corresponden al promedio calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística (Kruskal – Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos de fosfatos en las zonas de muestreo son diferentes. La principal fuente de este ion en aguas superficiales no contaminadas son las rocas ígneas²¹ lo que se contrasta con la referencia de que menciona que la ciudad de Ayacucho se encuentra cubierta por rocas de origen volcánico.⁴² Referente a lo mencionado los valores de fosfato en las primeras cuatro zonas de muestreo se mantienen en un valor de 0,1 mg/L esto se debe a que el fosfato en estas zonas pueden deberse a una fuente natural; sin embargo en lo que respecta al resto de las zonas, las variaciones se deben a otros factores como el vertimiento de desagües domésticos en la zona V y VI. La zona de muestreo VII que se encuentra ubicada después de la PTAR Totorá muestra un valor de 2,6 mg/L esto se debe al efluente que proviene del PTAR. Los fosfatos que se encuentran en las aguas residuales provienen de: excreciones humanas y animales; uso de detergentes y productos de limpieza;³⁹ la fuente de fosfatos que se encuentran en nuestras aguas residuales provienen básicamente de estas afecciones, a todo ello se debe este valor alto de 2,6 mg/L en la zona de muestreo VII, además de que la PTAR Totorá no cuenta una tecnología para la remoción de detergentes. Para inhibir el crecimiento de algunas algas los niveles de fosfato deben ser menores a 0,05 mg/L ³⁸ y de acuerdo a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la categoría 3: para el riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto el valor de los fosfatos debe ser máximo 1,0 mg/L , al respecto la zona de

muestreo VII no cumplen con los ECA respecto a este parámetro. En lo referente al ítem para bebida de animales, el valor de este parámetro no se encuentra contemplado en los ECA.

En la figura 5 respecto al parámetro de nitratos, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio y estos varían desde 0,6 mg/L en la zona de muestreo I (Llunchi) a 6,4 mg/L en la zona de muestreo VI (antes del PTAR Totorá), los valores corresponden al calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística (Kruskal – Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos de nitratos en las zonas de muestreo son diferentes. La concentración normal a encontrarse en aguas superficiales ha de ser menor a 1,0 mg/L,²¹ lo cual es corroborado con los valores encontrados en las zonas de muestreo I, II y III; sin embargo valores por encima de este promedio indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o la escorrentía, como viene a ser en las zonas IV al VII. Estos valores son contrastados pues a lo largo de la microcuenca del río Alameda y sus respectivos afluentes (quebradas) existen botaderos de residuos sólidos.⁴³ Además una forma de adición de nitratos a los cuerpos de agua superficiales es mediante la mineralización de la urea proveniente de la orina de los mamíferos,³⁷ esta referencia se puede verificar en las zonas V y VI pues es en estas mismas zonas donde valores de coliformes fecales son altos por el vertimiento de aguas residuales al río. Además a lo largo del río Alameda se identificaron 17 botaderos de residuos sólidos y 14 lugares donde se arrojan desmontes.⁴³ Los ECA para este parámetro en el ítem para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto menciona que las aguas deben tener una valor máximo de 10 mg/L y para el ítem bebida de animales, menciona una valor de hasta 50 mg/L; al respecto en el presente estudio los valores de este parámetro se encuentran dentro de los rangos de los ECA.

En la figura 6 respecto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron en valores promedio, y estos varían desde 1,0 mgO₂/L en la zona de muestreo I (Llunchi) a 26,5 mgO₂/L en la zona de muestreo VII (después del PTAR Totorá), los valores corresponden al calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística (Kruskal – Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en las zonas de muestreo son diferentes. La DBO es el parámetro más ampliamente utilizado para

determinar el contenido de materia orgánica en una muestra de agua, ¹⁴ frente a este enunciado se puede observar en la figura que a partir de la zona de muestreo I hasta la zona de muestreo III se aprecia un incremento gradual de la DBO; es necesario además mencionar que cada fin de mes la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Ayacucho (EPSASA) hace la descarga de los lodos de los filtros del Planta de Tratamiento de Agua Potable al río Alameda antes de la zona de la muestreo de III. En trabajos de investigación relacionados los resultados son similares al presente estudio por ejemplo: en la estación de muestreo I en el río Piura ² muestra un valor de DBO₅ de 1,1mg O₂/L, en el río Rímac una DBO₅ menor a 6mg O₂/L en la estación de muestreo I ⁴, lo mismo demuestra en "Alameda 1" un valor de DBO₅ de 1,8mg O₂/L. ⁶ El movimiento de las aguas en su discurrir reoxigena las aguas de modo que la carga contaminante vertida disminuye por biooxidación y por decantación, tendiendo la concentración de oxígeno disuelto a recuperar la saturación a la vez que se degrada la materia microbiana, ⁴⁰ este proceso se nota claramente en las zonas IV y VI ², además las aguas del río Alameda después de la zona V son utilizados para riego de plantas de tallo corto, por lo que se observó que el nivel de agua en la zona VI disminuía. En las zonas V y VII la DBO₅ alcanza valores altos tal como se reporta en otros estudios en sus últimas estaciones de muestreo, ^{4,6} estos valores guardan mucha relación con los valores de coliformes fecales obtenidos en las mismas estaciones. Es necesario mencionar que existe vertimiento de aguas residuales domésticos directamente al río en la zona de V, tal como se observó en las salidas realizadas para la toma de muestra, lo que se corrobora en el diagnóstico realizado por la Autoridad Local del Agua, ⁴³ donde menciona que a lo largo de la microcuenca existen 99 tuberías de aguas residuales domésticas y 3 tuberías de aguas residuales industriales que vierten directamente al río Alameda. En el caso de la zona de muestreo VII los valores altos de DBO₅ se deben a que no existe una remoción eficiente de la materia orgánica de las aguas residuales por parte del PTAR Totorá. Al respecto el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua respecto a este parámetro en la categoría III menciona que para el riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales el valor debe ser menor o igual a 15 mgO₂/L, en relación a ello las aguas de la zona VII no estarían cumpliendo con los ECA.

En la figura 7 respecto al parámetro de turbidez, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio,

estos varían desde 4,7 UNT en la zona de muestreo I (Llunchi) a 98,7 UNT en la zona de muestreo V (puente Evitamiento), los valores corresponden al promedio calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística (Kruskal – Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos de turbidez en las zonas de muestreo son diferentes. La turbidez en el agua está asociada a la erosión de suelos y rocas, que suelen estar revestidos de residuos orgánicos y conforman la fracción más importante de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas naturales y los aportes de aguas turbias de escorrentía en épocas de lluvias, ³⁶ frente a ello se puede decir que desde la zona I a III existe un incremento gradual debido a la erosión del suelo, sustancias en suspensión de carácter orgánico y descarga de lodos del PTAP; sin embargo en la zona IV existe una disminución en el valor de este parámetro por el recorrido; en la zona V existe un incremento producido principalmente al vertimiento de aguas residuales domésticos, industriales y arrojado de residuos sólidos al río, pues estas presentan altos valores de turbidez motivado por el contenido de sólidos en suspensión de carácter orgánico; posterior a ello existe una disminución gradual debido a su recorrido normal y además de que las aguas después de la zona V son utilizados para riego.

En la figura 8 respecto al parámetro de coliformes fecales, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio, y estos varían desde Log NMP/100mL igual a 2,1 equivalente a 125,9NMP/100mL en la zona de muestreo I (Llunchi) a Log NMP/100mL igual a 5,4 equivalente a 251 188,6NMP/100mL en la zona de muestreo V (puente Evitamiento), los valores corresponden al logaritmo promedio calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística (Kruskal – Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos de coliformes fecales en las zonas de muestreo son diferentes. Los coliformes fecales se introducen al ambiente por las heces de humanos y animales, por lo que se deduce que los coliformes son de origen fecal, ¹⁰ desde la zona de muestreo I al V existe un incremento gradual hasta alcanzar un valor muy alto de 251 188,6 NMP/100mL, esto es contrastado con lo reportado por Apaza ¹ sobre el valor de coliformes fecales en la estación de muestreo 7 donde el valor es 205 000 NMP/100mL, ya que el río Chili viene soportando una fuerte contaminación debido al vertido de aguas residuales domésticas, industriales y residuos sólidos, lo mismo manifiesta Ferrando ² que en la estación de muestreo 4 presenta un valor de coliformes fecales de 4 300 000

NMP/100mL, estos valores altos también se debe a la descarga de aguas residuales directamente al río Piura, también el Centro Guamán Poma de Ayala ³ para la estación de muestreo 8 presenta un valor de 35 000 000 000 NMP/100mL en el río Huatanay de Cuzco donde también se encuentra muy contaminado por vertimiento de desagües domésticos al mismo río, lo mismo describe Morales ⁶ donde el valor máximo de coliformes fecales en el río Alameda es de 19×10^6 NMP/100mL en "Alameda 4". En el caso del río Alameda en el año de estudio el valor reportado de coliformes fecales en la zona V es debido al arrojo de residuos sólidos, vertimiento de aguas residuales domésticos e industriales al río, además de que la esta zona es un lugar de intersección de dos quebradas con el río Alameda tal como se observó en la duración del presente estudio, además esto se contrasta pues a lo largo del recorrido se han observado 99 puntos donde se vierten aguas residuales domésticas. ⁴³ Para el caso de las zonas VI y VII la disminución se debe principalmente a que las aguas de la zona VI son utilizadas en la actualidad para el riego de plantas de tallo corto y en la zona VII la disminución se debe a que la PTAR Totorá está realizando el proceso de cloración de las aguas residuales antes de verterlas al río Alameda. Al respecto el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua respecto a este parámetro en la categoría III menciona que para el riego de vegetales de tallo bajo el valor debe ser menor a 1000 NMP/100mL y para tallo alto 2000 NMP/100mL y para la bebida de animales el valor debe ser menor a 1000 NMP/100mL, en relación a ello las aguas de todas las zonas de muestreo y para los tres casos no cumplen con los ECA establecidos a excepción a la zona de muestreo I.

En la figura 9 se observa los valores del Índice de Calidad de Agua (WQI – NSF), estos fueron calculados para cada zona de muestreo durante la investigación y se expresaron en valores promedio y estos varían desde 73,5 (calidad buena) en la zona de muestreo I (Lunchi) a 32,5 (calidad mala) en la zona de muestreo VII (después de la PTAR Totorá), los valores corresponden al promedio calculado en el período de enero a diciembre del 2014. La prueba estadística (Kruskal – Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos del Índice de Calidad de Agua en las zonas de muestreo son diferentes. Para el caso del río Loa en Chile se reportó un caso similar pues el WQI – NSF varía desde buena a regular y menciona además que la variable que contribuye a ese desmejoramiento es el oxígeno disuelto. ⁷ Para el caso del río La Soledad en Honduras el WQI – NSF varía de calidad buena a regular y las variables que repercuten a ese desmejoramiento

son: coliformes fecales, nitratos y fosfatos.⁸ Para el caso del río Amajac en México manifiesta que el WQI – NSF varía de regular a muy mala.⁹ Para el caso del río Cauca y sus tributarios muestran un WQI – NSF de regular a mala.¹¹ Para el río Blanco muestra que la WQI – NSF varía de buena a regular (lugar de desembocadura).¹² Para el caso del río Alameda sucede un caso similar a lo mencionado pues el WQI – NSF varía de buena a mala debido principalmente a la variación de algunos parámetros como: oxígeno disuelto, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos y fosfatos.

En la figura 10 se observa el dendrograma de similitud de las siete zonas de muestreo; en el dendrograma al 60% de similitud en base a las características fisicoquímicas y biológicas del agua, se observa la formación de cuatro conglomerados, siendo estos los siguientes: el primero solo constituido por la zona I, el segundo constituido por las zonas II, III y IV, el tercero constituido por la V y VI, y el cuarto solo por la zona VII. El primer conglomerado se forma debido que la zona I muestra en sus características fisicoquímicas y biológicas valores típicos de aguas no contaminadas o poco contaminadas, el segundo conglomerado de aguas medianamente contaminadas y los conglomerados tercero y cuarto de aguas contaminadas y muy contaminadas respectivamente. En la tabla 10 se muestran los valores promedios, mínimos y máximos del índice de calidad registrados en las siete zonas de muestreo. La catalogación está hecha en base al promedio, sin embargo estas varían a lo largo de los meses muestreados, es decir, la calidad de varias de las zonas cambian a lo largo de los 12 meses de muestreo. En la zona I la variación es menor debido a la mínima actividad antrópica que existe allí, a comparación de las zonas II al VII. La variación en el WQI – NSF se debe a la variación en parámetros como: oxígeno disuelto, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos y fosfatos básicamente. La disminución del primer parámetro e incremento de los cuatro restantes se debe principalmente al vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, descarga de lodos de la PTAP “Quicapata” directamente al río, arrojando y abandono de residuos sólidos. En el caso del fosfato se observa un incremento pronunciado en la zona VII debido a que no existe una remoción completa de los detergentes.

VI. CONCLUSIONES

1. El valor del oxígeno disuelto disminuye de 4,5 mg/L (zona de muestreo II y III) a 4,0 mg/L (zona de muestreo VI). En el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno los valores varían desde 1,0 a 26,5 mgO₂/L, estas diferencias se deben a la presencia y descomposición de la materia orgánica.
2. El NMP de coliformes fecales llega a alcanzar su máximo valor en la zona de muestreo V y es equivalente a 251 188,6 NMP/100mL, debido al vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales al río Alameda.
3. Las aguas del río Alameda, con calidad buena, según el índice de Calidad de Agua (WQI – NSF) se ubica en la cabecera de la microcuenca; las aguas con calidad regular, corresponde a la zona media de la microcuenca desde la zona II hasta el VI (antes del PTAR Totorá) y las aguas de mala calidad corresponde a la zona baja de la microcuenca, zona VII, después del PTAR Totorá.
4. La calidad del agua del río Alameda en base a sus características fisicoquímicas y biológicas, presenta que las zonas de muestreos I, II, III y IV son aguas poco o medianamente contaminadas (buena a regular); sin embargo las zonas de muestreos V, VI y VII, poseen aguas contaminadas o muy contaminadas (regular a mala).

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones sobre la presencia de sustancias químicas tóxicas y su impacto de dichas sustancias sobre el ecosistema acuático.
2. Desarrollar investigaciones sobre la variación de la comunidad macro invertebrados y perifitónica en las zonas de muestreo.
3. Realizar investigaciones sobre el impacto a la salud humana que tiene el consumo de plantas de tallo corto regadas con aguas del río Alameda.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apaza H. Economía y Sociedad 82, CIES. Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa. 2013.
2. Ferrando DH. Evaluación ambiental de las descargas de aguas residuales en el tramo urbano del río Piura [tesis de grado]. Perú: Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Civil. Universidad de Piura, 2006.
3. Centro Guamán Poma de Ayala. Salvemos el Huatanay – Una prioridad para la vida en el Valle del Cusco. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa; 2008.
4. Autoridad Nacional del Agua. Programa de recuperación del río Rímac, Evaluación de los resultados de la calidad del agua en la cuenca del río Rímac. Lima: Dirección de gestión de calidad de los recursos hídricos; 2012.
5. Carrasco C. Composición estructural de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos y su relación con las características físico químicas en el río Alameda. Perú, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2001.
6. Morales M. Evaluación de la contaminación microbiológica en la microcuenca del río Alameda y el efecto contaminante de sus afluentes en época de estiaje Ayacucho – 2001 [tesis de grado]. Perú, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 2001.
7. Díaz LA. Estudio comparativo de índices de calidad de agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa [tesis de maestría]. Universidad Católica del Norte; Chile. 2010.
8. Javier A. Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras [tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; Costa Rica. 2003.
9. Amado Álvarez J, Rubiños Panta E, Gavi Reyes F, Alarcón Cabañero JJ, Hernández Acosta E, Ramírez Ayala C, Mejía Saenz E, Pedrero Salcedo F, Nicolás Nicolás E, Salazar Sosa E et al. Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: diagnóstico y predicción. *International Journal of Experimental Botany*. 2006; 75: 71 – 83.
10. Torres FJ. Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico [tesis de maestría]. Universidad de Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayagüez; Puerto Rico. 2009.
11. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Subdirección de conocimiento ambiental territorial. Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y contaminación. Colombia; Cali: Universidad del Valle; 2004.
12. Yungán JL. Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo [tesis de grado]. Ecuador: Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2010.
13. Bedregal P, Mendoza P, Ubillus M, Montoya E, Airas R, Baca L, Fajardo W. Evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, Perú, utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA). Informe Científico Tecnológico 2010.
14. Sierra CA. Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. 1^{ra} ed. Colombia: Bogotá D.C. Digiprint Editores E.U; 2011.
15. Un.org, Decenio Internacional para la acción “El agua fuente de vida” 2005 – 2015, calidad de agua [sede web]. Ontario: un.org; 2015. Disponible en: <http://www.un.org>.
16. Tyller G. Ecología y Medio Ambiente. 8^{ava} ed. México: Iberoamericana S.A. 1996.

17. Odum E. Fundamentos de Ecología. 5^{ta} ed. México: Interamericana S.A. 2006.
18. Asociaciones de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Guía Didáctica: Proyecto Natura. España: FEAPS Castilla y León. 2007.
19. El comercio.pe, Todos nuestros ríos están contaminados por pasivos mineros [sede web]. Perú: el comercio.com.pe [05 de noviembre del 2012]. Disponible en: <http://www.comercio.com.pe>.
20. SMEWW, APHA, AWWA, WEF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 22^{ava} edición. España: Edición Díaz de Santos S.A. 2012.
21. Roldán G, Ramírez JJ. Fundamentos de Limnología neotropical. 2^{da} ed. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia; 2008.
22. Mackensie D, Cornwell D. Introduction to Environmental Engineering. 5^{ta} ed. Estados Unidos Boston: Mc Graw – Hill. 2012.
23. Carrasco C. Manual de técnicas para análisis de agua. 1^{ra} ed. Ayacucho. 2005.
24. Abassi T, Abassi SA. Water Quality Indices. 1^{ra} ed. Gran Bretaña: Elsevier; 2012.
25. Lumb A, Sharma TC, Bibeault JF. A Review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. Calidad del agua, exposición y salud. 2011; volumen 3: 11 – 24.
26. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Índice de Calidad de Agua General “ICA”. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 2007.
27. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Colombia: Precolombi – David Reyes; 2003.
28. Hach Company. Manual de análisis de agua. EE.UU. 3^a edición. Colorado. 2000.
29. Ley General del Ambiente. Ley N° 28611 de 13 de octubre del 2005. Perú.
30. Política Nacional del Ambiente. D.S. 012 – 2009 del 23 de mayo del 2009. Perú.
31. Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338 del 23 de marzo del 2009. Perú.
32. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338 del enero del 2010. Perú.
33. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial. R.J. N° 182 – 2011 – ANA del marzo del 2011. Perú.
34. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua. D.S. N° 002 – 2008 – MINAM del 30 de julio del 2008. Perú.
35. Instituto Nacional de Defensa Civil. Mapa de peligros de la ciudad de Ayacucho. Ayacucho, 2003.
36. Marín R. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas. 1^a ed. España: Díaz de Santos S.A.; 2003.
37. Stainer R, Ingraham J, Wheelis M, Painter P. Microbiología. 2^a ed. España: Reverté S.A.; 1992.
38. Stanley E. Introducción a la química ambiental. 1^a ed. España: Reverté S.A.; 2007.
39. Figueruelo J, Marino M. Química física del ambiente y de los procesos medioambientales. 1^a ed. España: Reverté S.A.; 2004.
40. Gil M. Depuración de aguas residuales: modelización de procesos de lodos activos. 1^a ed. España: Gráfica/85 S.A.; 2006.
41. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y

42. contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Editorial Precolombi – David Reyes. Colombia: Santa Marta; 2003.
43. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Mapa de peligros de la ciudad de Ayacucho. Ayacucho; 2003.
44. Administración Local del Agua. Plan de recuperación del río Alameda. Identificación de fuentes contaminantes, vigilancia, vertimientos y reuso en la microcuenca del río Alameda. Ayacucho; 2012.

ANEXO 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos y biológicas (media + desviación típica) del agua del río Alameda en siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

Características fisicoquímicas		Zonas de muestreo							Total
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
pH	Media	8,06	8,21	8,23	8,17	8,01	7,98	7,86	8,08
	Desviación estándar	0,60	0,23	0,39	0,26	0,26	0,35	0,28	0,37
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Media	30,37	87,88	93,79	102,95	111,51	206,47	315,28	135,46
	Desviación estándar	5,66	37,36	26,72	29,60	55,93	101,97	148,35	113,68
Oxígeno disuelto (mg/L)	Media	4,25	4,48	4,52	4,35	4,08	4,04	4,20	4,28
	Desviación estándar	0,83	0,50	0,55	0,49	0,42	0,43	0,39	0,54
Temperatura del agua(°C)	Media	16,58	16,79	19,59	19,58	18,59	19,89	20,01	18,72
	Desviación estándar	2,22	5,65	2,40	2,07	6,18	6,51	6,61	4,95
Temperatura ambiental(°C)	Media	15,71	22,04	25,13	26,08	24,17	24,08	22,00	22,74
	Desviación estándar	2,86	7,50	2,76	2,78	8,02	7,82	7,19	6,66
Fosfatos (mg/L)	Media	0,07	0,07	0,07	0,11	0,33	0,24	2,63	0,48
	Desviación estándar	0,06	0,07	0,06	0,07	0,43	0,13	0,75	0,91
Nitratos (mg/L)	Media	0,58	0,63	0,62	0,99	1,41	6,39	3,64	1,99
	Desviación estándar	0,31	0,22	0,27	0,43	0,51	2,88	0,85	2,31
DBO5 (mg/L)	Media	1,00	4,27	4,42	1,83	9,27	6,27	26,55	7,46
	Desviación estándar	1,86	8,05	8,34	4,30	11,90	14,51	11,77	12,18
Turbidez (UNT)	Media	4,74	75,32	87,13	41,44	98,66	74,08	59,06	62,23
	Desviación estándar	4,96	144,28	180,24	62,81	176,44	101,57	55,28	119,31
Coliformes fecales (logNMP100 mL)	Media	2,10	3,44	3,77	4,70	5,43	4,80	4,58	4,10
	Desviación estándar	0,38	0,63	0,40	0,52	1,04	0,88	1,17	1,28

ANEXO 2. Resultados del Test de Kruskal-Wallis para los valores de los parámetros fisicoquímicos y biológicos (media + desviación típica) del agua del río Alameda comparando siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

Características fisicoquímicas	Chi-cuadrado	gl	Sig. asintótica
pH	10,57	6,00	0,10
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	42,43	6,00	0,00
Oxígeno disuelto (mg/L)	18,19	6,00	0,01
Temperatura del agua(°C)	25,92	6,00	0,00
Temperatura ambiental(°C)	30,53	6,00	0,00
Fosfatos (mg/L)	41,51	6,00	0,00
Nitratos (mg/L)	60,87	6,00	0,00
DBO5 (mg/L)	26,40	6,00	0,00
Turbidez (UNT)	23,11	6,00	0,00
Coliformes fecales (lgNMP100 mL)	51,74	6,00	0,00
Oxígeno disuelto (% de saturación)	13,04	6,00	0,04

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Puntos muestreo

ANEXO 3. Resultados de los parámetros evaluados y determinados en campo y laboratorio durante el mes de enero, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (Zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO				
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)
I	Llunchi	8,11	21,94	3,27	19,39	20	0,873	0	13,8	170	54,90
II											
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	7,98	52,06	4,2	18,07	26	1,26	0	64,2	0	61,11
IV	Puente San Sebastián	8,09	57,28	4,36	17,4	25	1,254	0	63,1	2x10 ⁴	62,49
V	Puente de Evitamiento	8,01	59,24	3,96	18,57	25	1,74	33	73,75	5x10 ⁴	58,13
VI	Antes del PTAR	7,61	106,9	4,01	18,5	24	3,104	0	78	2x10 ⁴	58,41
VII	Después del PTAR	7,68	79,9	4,55	18,86	22	2,93	0	44,6	2,2x10 ⁵	66,84

ANEXO 4. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de febrero, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	7,57	24,59	3,72	14,6	14	0,028	0,53	0	4,25	40	57,1
II	Puente Andamarca	7,7	45	4,25	18,32	23	0,031	0,35	0	28,5	1,4x10 ⁴	62,8
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,33	55,15	4,48	18,62	22	0,051	0,393	1	14,1	2,4x10 ⁴	66,1
IV	Puente San Sebastián	8,25	66,86	4,26	19,38	25	0,086	0,708	0	14,85	1,4x10 ⁵	63,6
V	Puente de Evitamiento	8,22	78,33	4,1	20,38	28	0,131	0,981	3	14,45	7x10 ⁴	62,2
VI	Antes del PTAR	7,76	185,1	3,9	23,96	27	0,224	5,14	8	26,5	3x10 ⁵	63,0
VII	Después del PTAR	7,76	290,7	3,7	24,57	26	2,755	3,767	10	22,35	9x10 ⁴	60,3

ANEXO 5. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de marzo, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	7,28	24,4	3,7	15,3	14	0,026	0,496	3	3,7	40	57,6
II	Puente Andamarca	8,05	52,44	4,5	18,28	22,5	0,071	0,553	3	11,15	2x10 ²	66,5
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,09	52,36	4,38	18,9	23,5	0,085	0,622	0	11,4	9x10 ²	64,9
IV	Puente San Sebastián	8,41	55,77	4,18	20,6	26	0,095	0,823	3	15,1	2x10 ⁴	63,8
V	Puente de Evitamiento	7,66	64,18	4,08	21,45	28	0,127	0,987	7	15,15	2.4x10 ⁴	63,2
VI	Antes del PTAR	7,7	125,6	3,92	22,52	28	0,161	3,547	0	21,2	3x10 ³	61,5
VII	Después del PTAR	7,82	262,8	3,89	24,2	25	2,585	2,973	34	57,97	8x10 ⁴	63,0

ANEXO 6. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de abril, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	7,94	34,68	3,65	16,19	17,5	0,051	0,892	0	2,265	8x10 ²	57,6
II	Puente Andamarca	8,1	96,97	4,35	17,9	24	0,013	0,636	0	32,3	3x10 ³	63,7
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	7,62	98,08	4,3	18,82	26,5	0,003	0,382	5	628	1.3x10 ⁴	63,4
IV	Puente San Sebastián	7,88	102,1	4,11	20,17	27	0	0,043	15	>1000	5x10 ⁴	62,2
V	Puente de Evitamiento	7,63	125,3	3,91	21	28	0,002	0,543	12	586	2.3x10 ⁵	60,0
VI	Antes del PTAR	7,58	188,1	4	21,8	26	0,027	3,277	13	201	1.7x10 ⁵	62,0
VII	Después del PTAR	7,78	348,5	4,12	22,78	25	1,914	2,164	31	119,5	5x10 ⁵	65,0

ANEXO 7. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de mayo, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	6,77	35,13	3,84	15,24	17	0,088	0,434	0	2,7	1.1x10 ²	59,4
II	Puente Andamarca	8,13	100,4	4,64	17,18	27	0,104	0,466	0	4,23	3x10 ³	66,7
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,19	104,4	4,47	19,01	29	0,117	0,471	2	3,78	2.4x10 ³	66,0
IV	Puente San Sebastián	7,7	113,7	4,19	19,25	30	0,13	1,035	0	4,01	7x10 ⁴	62,1
V	Puente de Evitamiento	7,81	134,1	4,19	19,18	27	0,328	1,497	9	4,4	4x10 ⁴	62,1
VI	Antes del PTAR	7,75	286,3	3,93	21,36	26,5	0,236	8,432	0	3,23	4x10 ⁴	60,5
VII	Después del PTAR	7,62	439	4,13	20,86	24	2,638	4,671	28	35,85	3x10 ³	63,0

ANEXO 8. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de junio, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	8,79	32,32	4,95	17,27	18	0,201	0,371	5	1,32	3x10 ²	79,9
II	Puente Andamarca	8,38	110,00	4,38	17,38	24	0,229	0,592	4	6,28	2.4x10 ⁴	63,4
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,45	111,10	4,30	19,32	23	0,226	0,598	0	7,07	7x10 ³	64,3
IV	Puente San Sebastián	8,18	121,30	4,13	18,40	22	0,249	1,022	0	6,47	7x10 ⁴	60,7
V	Puente de Evitamiento	8,10	134,70	4,26	18,43	25	0,366	1,328	0	7,82	1.7x10 ⁵	62,3
VI	Antes del PTAR	8,00	261,80	4,15	19,12	24	0,371	7,523	0	4,79	9x10 ⁴	61,2
VII	Después del PTAR	7,68	440,50	4,30	19,44	21	4,430	4,273	29	19,05	7x10 ³	63,9

ANEXO 9. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de julio, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	8,68	38	6,03	14,38	14	0,093	0,349	0	1,32	1.3x10 ²	92,1
II	Puente Andamarca	8,36	98,60	4,69	16,52	28	0,034	0,817	0	21,9	3x10 ³	66,4
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,66	98,48	4,50	18,76	29	0,08	0,532	0	10,9	8x10 ³	66,2
IV	Puente San Sebastián	8,45	103,80	4,14	20,31	31	0,11	0,924	0	15,2	5x10 ⁴	62,5
V	Puente de Evitamiento	8,37	119,90	4,01	19,76	28	0,25	1,349	0	12,9	5x10 ⁵	60,1
VI	Antes del PTAR	8,14	246,60	4,08	22,27	26,5	0,245	8,76	0	6,22	4x10 ⁴	63,8
VII	Después del PTAR	7,75	377,30	4,05	20,68	23	2,759	4,733	30	39,1	1.3x10 ⁵	61,6

ANEXO 10. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de agosto, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	8,25	29,39	4	15,7	15	0,054	0,289	4	1,4	40	62,7
II	Puente Andamarca	8,54	106,50	4,3	18,8	23	0,063	0,444	0	3,5	4x10 ²	64,2
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,63	110,60	4,02	22,19	24	0,08	0,545	2	5,48	8x10 ³	63,5
IV	Puente San Sebastián	8,20	127,60	3,96	19,81	28	0,169	1,9	1	13,4	2.4x10 ⁵	59,4
V	Puente de Evitamiento	7,76	207,70	3,29	22,32	26	1,523	2,527	31	31	1.7x10 ⁸	51,8
VI	Antes del PTAR	8,07	300,90	4,03	22,6	27	0,455	10,699	0	2,05	2x10 ³	63,4
VII	Después del PTAR	7,80	410,80	3,92	20,83	25	2,913	4,374	36	31,6	1.1x10 ³	59,6

ANEXO 11. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de setiembre, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO					PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO					
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	8,30	36,35	4,47	15,35	17	0,047	0,358	0	2,24	1.3x10 ²	69,4
II	Puente Andamarca	8,30	119,70	4,56	18,94	25	0,039	0,421	0	13,00	1.3x10 ³	68,0
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	7,58	123,90	4,15	21,17	26	0,035	0,523	0	12,70	7x10 ³	64,2
IV	Puente San Sebastián	7,91	139,00	4,08	20,82	26	0,112	1,200	0	87,10	3x10 ⁵	62,5
V	Puente de Evitamiento	8,15	171,20	4,02	21,28	25	0,333	1,736	0	78,90	5x10 ⁵	62,2
VI	Antes del PTAR	8,00	311,10	3,70	23,22	27	0,310	7,881	0	173,00	1.7x10 ⁵	58,8
VII	Después del PTAR	7,73	453,90	3,90	23,60	25	2,570	3,759	29	46,30	7x10 ³	62,5

ANEXO 12. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de octubre, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO				PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO						
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)
I	Llunchi	8,15	30,20	3,71	17,70	15	0,006	0,453	0	4,15	1.7x10 ²	60,7
II	Puente Andamarca	8,26	108,40	3,36	23,30	27	0	0,793	2	27,70	2.3x10 ³	54,4
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,78	117,90	4,54	25,60	27,5	0,020	0,415	0	11,30	3x10 ³	76,0
IV	Puente San Sebastián	8,60	128,60	4,08	24,10	27	0,035	0,918	3	9,77	5x10 ⁴	66,4
V	Puente de Evitamiento	8,36	149,70	3,99	24,10	30	0,105	1,420	2	12,90	5x10 ⁵	64,7
VI	Antes del PTAR	8,57	338,00	3,52	23,70	30	0,068	9,174	48	5,90	2.2x10 ⁶	56,3
VII	Después del PTAR	8,40	436,00	4,77	24,20	27	1,940	3,674	41	29,30	2.3x10 ³	77,1

ANEXO 13. Resultados de los parámetros evaluados en campo y laboratorio durante el mes de diciembre, para el río Alameda en las siete zonas de muestreo, Ayacucho 2014.

CÓDIGO DE CAMPO (zona de muestreo)	UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO										PARÁMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO	
		pH	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura del agua(°C)	Temperatura ambiental(°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos(mg/L)	DBO (DBO ₅ mg/L)	Turbidez (UNT)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Oxígeno disuelto (% de saturación)	
I	Lunchi	8,23	22,9	5,44	15,8	9,0	0,017	1,342	0	16,3	1.1x10 ²	86,3	
II	Puente Andamarca	8,06	85,0	5,44	15,1	17,0	0,133	0,893	12	206	2.7x10 ³	75,7	
III	Alameda (frente al colegio San Ramón)	8,01	83,7	6,14	16,3	20,0	0,122	1,034	26	212	4.0x10 ³	86,6	
IV	Puente San Sebastián	8,02	88,3	5,43	15,5	22,0	0,170	1,229	0	222	4.0x10 ³	75,0	
V	Puente de Evitamiento	8,06	93,8	5,10	16,6	20,0	0,156	1,418	5	248	2.1x10 ⁵	72,2	
VI	Antes del PTAR	8,57	127,2	5,23	19,6	23,0	0,339	2,747	0	293	1.7x10 ⁵	78,0	
VII	Después del PTAR	8,42	244,0	4,91	20,1	21,0	1,769	2,672	24	204	7.0x10 ⁶	74,0	

ANEXO 14. Extracción de una muestra simple, para determinación de parámetros de campo y laboratorio en la zona de muestreo IV (Puente San Sebastián), Diciembre 2014.



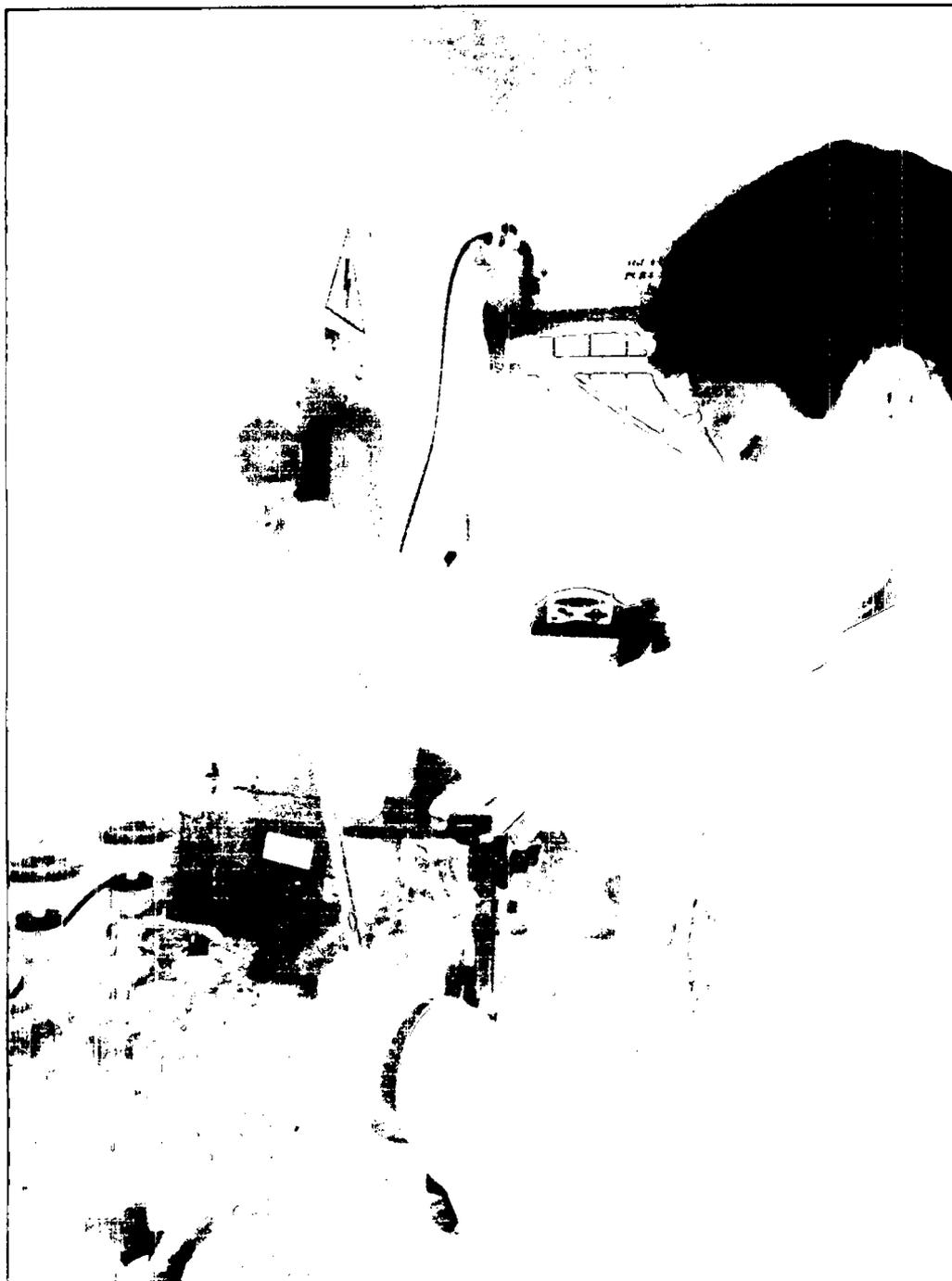
ANEXO 15. Toma y registro de datos haciendo uso del multiparámetro para la determinación de los parámetros de campo (pH, temperatura del agua, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto), en la zona de muestreo IV (Puente San Sebastián), Diciembre 2014.



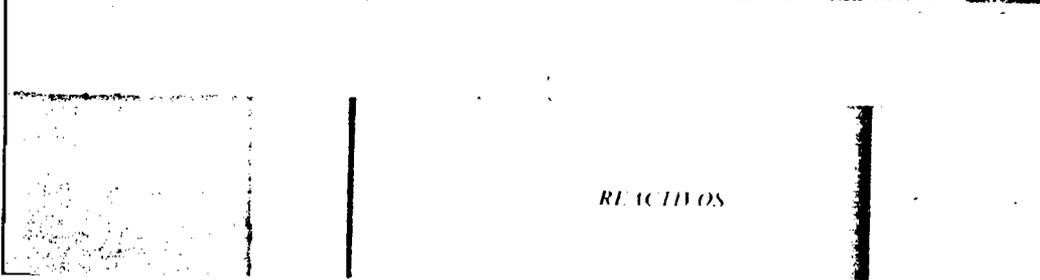
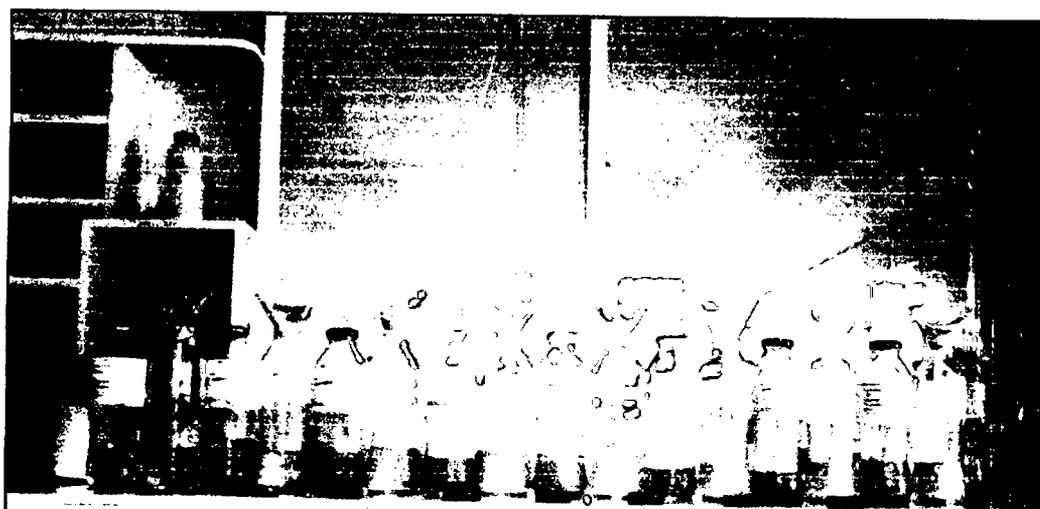
ANEXO 16. Vaciado de la muestra simple al frasco de vidrio esterilizado para la determinación de parámetros de laboratorio en la zona de muestreo VI (antes de la unión con las aguas del PTAR), Diciembre 2014.



ANEXO 17. Extracción y vaciado de una alícuota (1mL) de la muestra simple a los frascos de dilución, para la determinación de coliformes fecales mediante el método de tubos múltiples, diciembre 2014.



ANEXO 18. Frascos de vidrio conteniendo la muestra filtrada de cada zona de muestreo para la determinación de nitratos y fosfatos, diciembre 2014.



ANEXO 19. Determinación de la temperatura ambiental en la zona de muestreo I (Llunchi)
diciembre 2014.



ANEXO 20. Tabla del Índice de Número Más Probable (NMP) y límites de confianza del 95% para varias combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 tubos de dilución (10mL, 1mL y 0,1mL).²⁰

Tabla 2. Índice de NMP y límites de confianza del 95% para varias combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 tubos por dilución (10 ml, 1 ml y 0,1 ml)

Combinación de tubos positivos A-B-C	Índice NMP/ 100 ml	Límites de Confianza 95%		Combinación de tubos positivos	Índice NMP/ 100 ml	Límites de Confianza 95%	
		Superior	Inferior			Superior	Inferior
0-0-0	< 1	—	—	4-3-0	27	17	37
0-0-1	2	1,0	10	4-3-1	33	23	43
0-1-0	2	1,0	10	4-4-0	34	24	44
0-1-1	4	1,0	13	4-4-1	37	27	47
1-0-0	2	1,0	11	4-0-1	30	20	40
1-0-1	4	1,0	13	4-0-2	40	30	50
1-1-0	4	1,0	13	4-1-0	30	20	40
1-1-1	8	2,0	18	4-1-1	30	20	40
1-2-0	6	2,0	18	4-2-0	60	40	80
2-0-0	4	1,0	17	4-2-1	70	50	90
2-0-1	7	2,0	20	4-2-2	80	60	100
2-1-0	7	2,0	21	4-3-0	80	60	100
2-1-1	9	3,0	24	4-3-1	90	70	110
2-2-0	9	3,0	25	4-3-2	110	90	130
2-2-1	12	5,0	28	4-3-3	140	120	160
3-0-0	8	3,0	24	4-4-0	170	150	190
3-0-1	11	4,0	28	4-4-1	130	110	150
3-1-0	11	4,0	29	4-4-2	170	150	190
3-1-1	14	6,0	35	4-4-3	220	200	240
3-2-0	14	6,0	35	4-4-4	280	260	300
3-2-1	17	7,0	40	4-5-0	350	330	370
4-0-0	13	5,0	38	4-5-1	240	220	260
4-0-1	17	7,0	45	4-5-2	300	280	320
4-1-0	17	7,0	46	4-5-3	500	480	520
4-1-1	21	9,0	55	4-5-4	670	650	690
4-1-2	28	12	63	4-5-5	1000	980	1020
4-2-0	22	10	56	4-5-6	1800	1780	1820
4-2-1	26	12	65		> 1800	—	—

Inoculo: Series A= 10 ml, B= 1 ml y C=0,1 ml de la muestra. Fuente: APHA- AWWA- WPCF, 1989

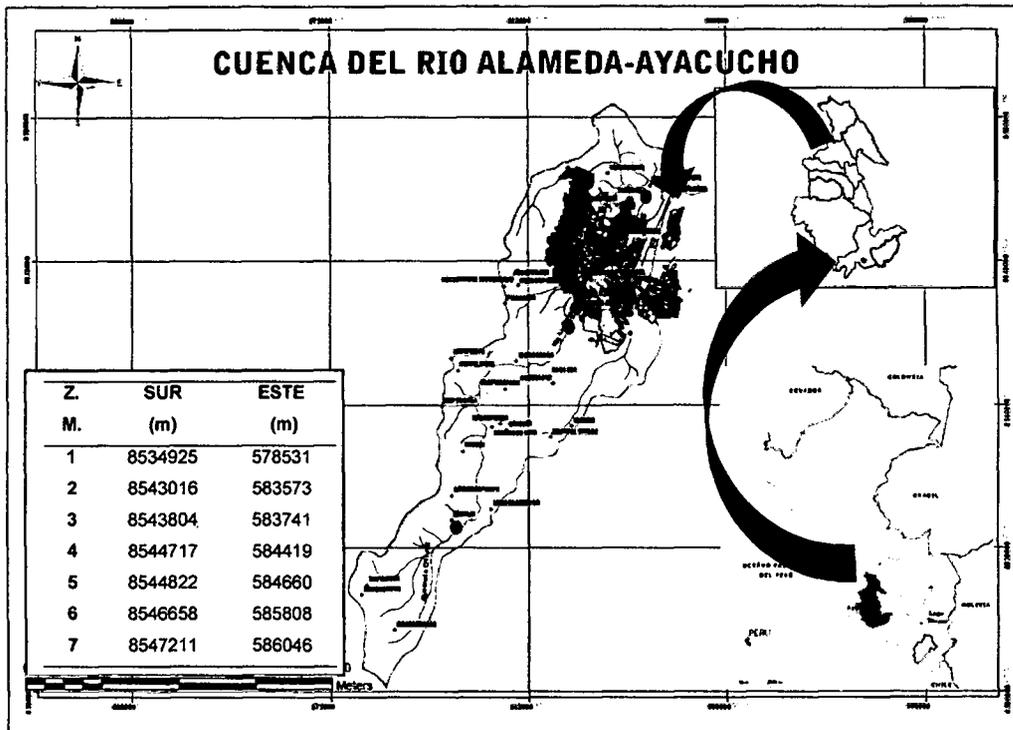
Tabla 3: Índice de NMP, para distintas combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 3 tubos por dilución (10 ml, 1 ml y 0,1 ml)

Combinación de tubos positivos A- B- C	Índice NMP/ 100 ml	Combinación de tubos positivos A- B- C	Índice NMP/ 100 ml	Combinación de tubos positivos A- B- C	Índice NMP/ 100 ml
0-0-1	3	1-1-2	15	2-2-3	42
0-0-2	6	1-1-3	19	2-3-0	29
0-0-3	9	1-2-0	11	2-3-1	36
0-1-0	3	1-2-1	15	2-3-2	44
0-1-1	6	1-2-2	20	2-3-3	53
0-1-2	9	1-2-3	24	3-0-0	23
0-1-3	12	1-3-0	16	3-0-1	30
0-2-0	6	1-3-1	20	3-0-2	64
0-2-1	9	1-3-2	24	3-0-3	95
0-2-2	12	1-3-3	28	3-1-0	43
0-2-3	16	2-0-0	9	3-1-1	75
0-3-0	9	2-0-1	14	3-1-2	120
0-3-1	13	2-0-2	20	3-1-3	180
0-3-2	16	2-0-3	28	3-2-0	83
0-3-3	19	2-1-0	15	3-2-1	150
1-0-0	4	2-1-1	20	3-2-2	210
1-0-1	7	2-1-2	27	3-2-3	290
1-0-2	11	2-1-3	34	3-3-0	240
1-0-3	15	2-2-0	21	3-3-1	480
1-1-0	7	2-2-1	28	3-3-2	1100
1-1-1	11	2-2-2	35	3-3-3	>1100

Inoculo: Series A= 10 ml, B= 1 ml y C=0,1 ml de la muestra

Fuente: APHA, 1987

ANEXO 21. Mapa de ubicación de las zonas de muestreo.



ANEXO 22. Matriz de consistencia del proyecto de tesis.

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	HIPOTÉSIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Caracterización del agua del río Alameda y tipificación de su calidad según el Índice de Calidad del Agua de la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. Ayacucho 2014.	En el presente trabajo de investigación se determinará las características del agua del río Alameda y se tipificará su calidad mediante el Índice de Calidad de Agua de la Fundación de Sanidad Nacional NSF – ICA, para ello en campo se determinará parámetros como: oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, pH, temperatura del agua, DBO ₅ , nitratos, fosfatos, turbidez y coliformes fecales.	Objetivo General:	Antecedentes	Las características fisicoquímicas y biológicas del río Alameda son similares en todo el recorrido (siete zonas de muestreo).	Variables de estudio	1. Tipo de investigación Básico - Descriptivo 2. Diseño de estudio Horizontal (una sola casilla) 3. Diseño estadístico Prueba estadística de Kruskal – Wallis, prueba de similitud y estadística descriptiva
		Caracterizar las aguas del río Alameda, Provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho.	En el Perú, en forma general se han aplicado dos indicadores: el ICA-NSF y un modelo desarrollado en Cuba por Jorge García, Atilio Beato y Joaquín Gutiérrez, en el cual se considera, además de los parámetros del ICA-NSF, la conductividad eléctrica cloruros y el nitrógeno amoniacal.		Calidad de Agua ✓ Índice de Calidad de Agua (ICA) (Excelente, buena, regular, mala y pésima). ✓ Calidad fisicoquímica y microbiológica (Temperatura, sólidos disueltos totales, turbidez, pH, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, coliformes fecales y DBO ₅).	
		Objetivos Específicos	Además en el Perú se desarrolló la evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, utilizando el ICA desarrollado por la British Columbia Ministry of Environment, que fue adaptada por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).			
		<ul style="list-style-type: none"> • Tipificar la calidad del agua del río Alameda según el índice de calidad de agua (WQI – NSF). • Comparar la calidad del agua del río Alameda entre las zonas de muestreo. 	Marco Teórico Contaminación Calidad de agua Índice de Calidad del Agua general (ICA) Parámetros físicos Parámetros químicos Parámetros biológicos			
			Marco Legal			
			Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente” Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” D.S. N° 012 – 2009 – MINAM “Política Nacional del Ambiente” D.S. N° 002 – 2008 – MINAM “Estándares de Calidad Ambiental para Agua”			