

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Estado de conservación de los recursos hídricos superficiales
empleando bacterias indicadoras y parámetros fisicoquímicos en el
ACR humedales de Ventanilla

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

Jean Carlo Ruben Avalos Urquiza

ASESORA

Narda Stella Fajardo Vidal

Lima, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 007 - 2024/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del martes 20 de febrero de 2024, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Héctor Andrés Agosto Otero | Presidente |
| 2. Mario Antonio Anaya Raymundo | Primer miembro |
| 3. Segundo Octavio Zegarra Aliaga | Segundo miembro |
| 4. Narda Stella Fajardo Vidal | Asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras y parámetros fisicoquímicos en el ACR humedales de Ventanilla**, que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, **Jean Carlo Ruben Avalos Urquiza**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 20 de febrero de 2024.

Héctor Andrés Agosto Otero
Presidente

Mario Antonio Anaya Raymundo
1° miembro

Segundo Octavio Zegarra Aliaga
2° miembro

Narda Stella Fajardo Vidal
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE **TESIS** / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Lima, 12 de junio de 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con título: ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EMPLEANDO BACTERIAS INDICADORAS Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL ACR HUMEDALES DE VENTANILLA, presentado por JEAN CARLO RUBEN AVALOS URQUIZA CON CÓDIGO DE ESTUDIANTE 2014200585 Y DNI N° 76190729 para optar el título profesional INGENIERO AMBIENTAL ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje).* Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma

Narda Stella Fajardo Vidal

DNI N°: 40013789

ORCID: 0000-0003-3508-8324

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A Dios por orientarme en la vida y
cumplir uno de los objetivos.

A mi familia por su gran apoyo,
cariño y otorgarme educación.

A mi asesora por ser una gran
fuente de inspiración y sabiduría.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien está todo el tiempo conmigo por haberme guiado en el camino correcto, y permitir culminar mis estudios,

A mis padres Luz y Dante, a mi hermano Jean Dante por su persistente apoyo, comprensión y por forjarme valores para ser un buen profesional,

A mi asesora, Dra. Blga. Narda Stella Fajardo Vidal por sus enseñanzas, por el apoyo moral, por su constante asesoría, por su tiempo y por su confianza en esta investigación,

A mi papá Dante por su gran apoyo en el traslado hacia humedal y al laboratorio dentro de la fase de campo de esta investigación,

Al personal y guardaparques del ACR Humedales de Ventanilla, que gentilmente nos acompañaron todo el recorrido durante las 4 fechas de muestreo, además nos brindaron seguridad,

Al Gobierno Regional del Callao por su apoyo y el permiso para realizar la presente investigación, con una mención especial al biólogo Raúl Zarate por el acompañamiento y seguimiento de la presente investigación,

A Servicios Analíticos Generales (SAG), a través de su programa de responsabilidad social por el auspicio de la presente investigación de tesis, como parte de su compromiso con la conservación de humedales costeros,

A los docentes que evaluaron el proyecto y jurados que brindaron comentarios y aportes para que sea una mejor investigación.

Gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	3
1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Antecedentes del estudio a nivel internacional.....	4
1.1.2. Antecedentes del estudio a nivel nacional	8
1.2. Bases teóricas especializadas.....	12
1.2.1. Humedal.....	12
1.2.2. Sitios Ramsar en el Perú	14
1.2.3. Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla.....	14
1.2.4. Agua	15
1.2.5. Métodos empleados en la identificación y enumeración de bacterias.....	19
1.2.6. Relaciones entre bacterias indicadoras	20
1.2.7. Interpolación espacial	21
2. CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1. Diseño de la investigación	25
2.2. Lugar y fecha	25
2.3. Población y muestra.....	27
2.4. Técnicas e instrumentos.....	28
2.5. Materiales y equipos	29
2.5.1. Materiales de campo para el monitoreo.....	29
2.5.2. Equipos de campo para el monitoreo.....	29
2.5.3. Materiales y equipos para el posmonitoreo	29
2.6. Descripción de la investigación	30
2.6.1. Fase de premonitoreo.....	30
2.6.2. Fase de monitoreo.....	31
2.6.3. Fase de posmonitoreo	33

2.7.	Identificación de las variables y su mensuración.....	35
2.8.	Análisis estadístico de datos	35
3.	CAPÍTULO III: RESULTADOS	37
3.1.	Bacterias indicadoras de contaminación.....	37
3.1.1.	Análisis estadístico de las bacterias indicadoras.....	41
3.2.	Grado de contaminación, origen del residuo fecal y eutrofización en las estaciones de muestreo	43
3.2.1.	Determinación del grado de contaminación	43
3.2.2.	Identificación del origen de la contaminación fecal	45
3.2.3.	Evaluación del nivel de eutrofización.....	45
3.3.	Parámetros fisicoquímicos del ACR Humedales de Ventanilla	46
3.3.1.	Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos.....	51
3.4.	Concentración de nutrientes en el ACR Humedales de Ventanilla	53
3.4.1.	Análisis estadístico de las nutrientes (nitrógeno total y fósforo total).....	55
3.5.	Identificación de las zonas de riesgo en función al Decreto Supremo N° 004 – 2017 -MINAM	55
4.	CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	71
4.1.	Bacterias indicadoras de contaminación.....	71
4.2.	Grado de contaminación, origen del residuo fecal y eutrofización en las estaciones de muestreo.....	74
4.2.1.	Determinación del grado de contaminación	74
4.2.2.	Identificación del origen de la contaminación fecal	75
4.2.3.	Evaluación del nivel de eutrofización.....	76
4.3.	Parámetros fisicoquímicos del ACR Humedales de Ventanilla	76
4.4.	Concentración de nutrientes del ACR Humedales de Ventanilla	80
4.5.	Identificación de las zonas de riesgo en función al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	82
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	84
6.	CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	88
7.	REFERENCIAS	90
8.	TERMINOLOGÍA	101
9.	APÉNDICES	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Relación Escherichia coli / Enterococcus sp y su fuente de contaminación</i>	21
Tabla 2. <i>Condiciones de eutrofización por bacterias heterótrofas</i>	21
Tabla 3. <i>Comparación de los métodos de Interpolación espacial</i>	24
Tabla 4. <i>Descripción de las estaciones de muestreo</i>	28
Tabla 5. <i>Parámetros de estudio de las estaciones de muestreo</i>	35
Tabla 6. <i>Resumen estadístico de coliformes termotolerantes</i>	38
Tabla 7. <i>Resumen estadístico de Escherichia coli</i>	39
Tabla 8. <i>Resumen estadístico de Enterococcus sp.</i>	40
Tabla 9. <i>Resumen estadístico de bacterias heterótrofas</i>	41
Tabla 10. <i>Prueba de distribución normal por Shapiro-Wilks de las bacterias indicadoras de contaminación y parámetros fisicoquímicos</i>	42
Tabla 11. <i>Correlación de Spearman de las bacterias indicadoras en ambas épocas</i>	42
Tabla 12. <i>Coefficiente de determinación entre bacterias indicadoras</i>	43
Tabla 13. <i>Resumen de la numeración de coliformes fecales, Escherichia coli y Enterococcus sp.</i>	44
Tabla 14. <i>Resumen de la transformación en Log coliformes fecales y Log Escherichia coli</i>	44
Tabla 15. <i>Resumen de las relaciones entre bacterias en ambas épocas de muestreo</i>	45
Tabla 16. <i>Conteo de bacterias heterótrofas en las dos épocas de muestreo y promedio</i>	46
Tabla 17. <i>Resumen estadístico de potencial de hidrógeno (pH)</i>	47
Tabla 18. <i>Resumen estadístico de temperatura</i>	48
Tabla 19. <i>Resumen estadístico de conductividad eléctrica</i>	49
Tabla 20. <i>Resumen estadístico de oxígeno disuelto</i>	50
Tabla 21. <i>Resumen estadístico de salinidad</i>	51
Tabla 22. <i>Correlación Spearman entre parámetros fisicoquímicos y bacterias</i>	52
Tabla 23. <i>Resumen estadístico de Nitrógeno total</i>	53
Tabla 24. <i>Resumen estadístico de Fósforo total</i>	54
Tabla 25. <i>Correlación Spearman entre los nutrientes y bacterias indicadoras</i>	55
Tabla 26. <i>Validación y elección de la técnica de interpolación</i>	56
Tabla 27. <i>Promedio de los parámetros y comparados con D.S. N° 004-2017-MINAM</i>	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Ubicación de la zona de estudio</i>	26
Figura 2. <i>Ubicación de las estaciones de muestreo</i>	27
Figura 3. <i>Metodología para la generación de superficies con Geostatistical Analyst</i>	34
Figura 4. <i>Numeración de coliformes termotolerantes</i>	37
Figura 5. <i>Numeración de Escherichia coli</i>	38
Figura 6. <i>Numeración de Enterococcus sp.</i>	39
Figura 7. <i>Recuento de bacterias heterótrofas durante la época húmeda</i>	40
Figura 8. <i>Recuento de bacterias heterótrofa durante la época seca</i>	40
Figura 9. <i>Unidad de potencial de hidrógeno</i>	47
Figura 10. <i>Valores de temperatura</i>	48
Figura 11. <i>Concentración de conductividad eléctrica</i>	49
Figura 12. <i>Concentración de oxígeno disuelto</i>	50
Figura 13. <i>Concentración de salinidad</i>	51
Figura 14. <i>Concentración de Nitrógeno total</i>	53
Figura 15. <i>Concentración de fósforo total</i>	54
Figura 16. <i>Isolínea de potencial de hidrogeno (ph)</i>	58
Figura 17. <i>Isolínea de Conductividad eléctrica</i>	59
Figura 18. <i>Isolínea de Oxígeno Disuelto</i>	60
Figura 19. <i>Isolínea de nitrógeno total</i>	61
Figura 20. <i>Isolínea de fósforo total</i>	62
Figura 21. <i>Isolínea de coliformes termotolerantes</i>	63
Figura 22. <i>Isolínea de temperatura</i>	64
Figura 23. <i>Isolínea de Salinidad</i>	65
Figura 24. <i>Isolínea de Escherichia coli</i>	66
Figura 25. <i>Isolínea de Enterococcus sp.</i>	67
Figura 26. <i>Isolínea de bacterias heterótrofas</i>	68
Figura 27. <i>Isolínea de relación Escherichia coli / coliformes termotolerantes</i>	69
Figura 28. <i>Isolínea de relación Escherichia coli/Enterococcus sp</i>	70

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. <i>Carta de autorización para realizar investigación en el ACR Humedales de Ventanilla</i>	103
Apéndice 2. <i>Certificado de calibración del electrodo de pH</i>	104
Apéndice 3. <i>Certificado de calibración del electrodo de conductividad</i>	106
Apéndice 4. <i>Certificado de calibración de la sonda LDO (Oxígeno disuelto)</i>	108
Apéndice 5. <i>Etiqueta para los frascos de la muestra de agua</i>	110
Apéndice 6. <i>Geocalizando la estación de muestreo</i>	111
Apéndice 7. <i>Toma de muestra de agua para el análisis fisicoquímico</i>	111
Apéndice 8. <i>Lectura con el multiparámetro portátil Hq40d</i>	112
Apéndice 9. <i>Datos de campo de parámetros Fisicoquímicos de julio del 2021</i>	113
Apéndice 10. <i>Datos de campo de parámetros fisicoquímicos de diciembre del 2021</i>	114
Apéndice 11. <i>Toma de muestras de agua para el análisis nitrógeno y fósforo total</i>	115
Apéndice 12. <i>Toma de muestras de agua para el análisis microbiológico</i>	116
Apéndice 13. <i>Cadena de custodia de julio 2021</i>	117
Apéndice 14. <i>Cadena de custodia de diciembre 2021</i>	118
Apéndice 15. <i>Muestras de agua en el laboratorio Servicio Analíticos Generales</i>	119
Apéndice 16. <i>Procedimiento de nitrógeno total</i>	120
Apéndice 17. <i>Procedimiento de fósforo total</i>	121
Apéndice 18. <i>Procedimiento de coliformes termotolerantes</i>	122
Apéndice 19. <i>Procedimiento de Escherichia coli</i>	123
Apéndice 20. <i>Procedimiento de Enterococcus sp.</i>	124
Apéndice 21. <i>Procedimiento de bacterias heterótrofas</i>	125
Apéndice 22. <i>Informe de Laboratorio de julio 2021</i>	126
Apéndice 23. <i>Informe de Laboratorio de diciembre 2021</i>	128
Apéndice 24. <i>ECA para agua en la categoría 4-EI del D.S. N° 004-2017-MINAM</i>	130
Apéndice 25. <i>Ecuación lineal entre las variables Log(EC) y Log(CF) en ambas épocas</i>	132

RESUMEN

La investigación se realizó en el Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla donde el objetivo fue evaluar el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras de contaminación y parámetros fisicoquímicos. En el estudio se recolectaron treinta muestras de diez estaciones de muestreo en ocho cuerpos de agua; durante la época húmeda y época seca del año 2021. Entre las mediciones consideradas se encuentran los parámetros como oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), temperatura, salinidad, nitrógeno total (NT), fósforo total (FT), coliformes termotolerantes (CF), *Escherichia coli* (EC), *Enterococcus* sp. (ENT) y bacterias heterótrofas (BH). Como parte del análisis, los datos obtenidos fueron comparados con la categoría 4-E1 de los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Además, se examinaron las relaciones de Log (EC/CF) y EC/ENT, así como los niveles de eutrofización mediante BH. A partir de los datos analizados, se elaboraron mapas de isolíneas para identificar zonas con posibles riesgos en función del ECA para agua. En relación a los resultados obtenidos, se observó que los valores de pH, CE, NT y FT excedieron los límites establecidos por ECA, además al analizar la relación Log (EC/CF) indicaba que contenía un alto grado de contaminación en el medio acuático con valores de 0,909 durante la época húmeda y 0,899 en la época seca. Del mismo modo, la otra relación EC/ENT indicó que los cuerpos de agua están sujetos a la contaminación de origen animal, mixto y humano, como también al analizar los datos de BH, revelaron que las condiciones del agua varían desde mesotróficas hasta eutróficas. Finalmente, se concluye que el ecosistema está eutrofizado y microbiológicamente afectado por la influencia de los asentamientos humanos en el humedal, la intrusión de aguas residuales al ecosistema y otros factores de carácter exógeno.

Palabras claves: humedales, bacterias indicadoras de contaminación, eutrofización, mapas de isolíneas, aguas residuales, factores de carácter exógeno.

ABSTRACT

The research was conducted in the Ventanilla's Wetland Regional Conservation Area (RCA) with the aim of assessing the conservation status of surface water resources using indicator bacteria for contamination and physicochemical parameters. In the study, thirty samples were collected from ten sampling stations across eight bodies of water, during both the wet and dry seasons of 2021. The measured parameters included dissolved oxygen (OD), electrical conductivity (CE), hydrogen ion concentration (pH), temperature, salinity, total nitrogen (NT), total phosphorus (FT), thermotolerant coliforms (CF), *Escherichia coli* (EC), *Enterococcus* sp. (ENT), and heterotrophic bacteria (BH). As part of the analysis, the obtained data were compared to category 4-E1 of the environmental quality standards (ECA) for water. Additionally, the relationships between Log (EC/CF) and *Escherichia coli/Enterococcus* sp. (EC/ENT) were examined, along with eutrophication levels assessed through BH. Based on the analyzed data, contour maps were created to identify areas with potential risks according to the ECA for water. Regarding the results, it was observed that the values of pH, CE, NT, and FT exceeded the limits set by the ECA, in addition to analyzing the Log (EC/CF) relationship indicated a high degree of contamination in the aquatic environment, with values of 0,909 during the wet season and 0,899 during the dry season. Similarly, the EC/ENT relationship suggested that the water bodies are subject to contamination from animal, mixed, and human sources, as well as by analyzing the BH data revealed that water conditions vary from mesotrophic to eutrophic. In conclusion, the ecosystem is eutrophied and microbiologically affected due to the influence of human settlements in the wetland, as well as the intrusion of wastewater into the ecosystem and other exogenous factors.

Keywords: wetlands, pollution indicator bacteria, eutrophication, isoline maps, wastewater, exogenous factors.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son sistemas lénticos que se caracterizan por la presencia de aguas de movimiento muy lento y generalmente se encuentran asociados a ríos o lagos cercanos, asimismo, estos humedales se enfrentan a varios niveles de contaminación poniendo en peligro la integridad de los servicios ecosistémicos y el régimen hidrológico (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM). Además, el agua es un recurso muy característico, importante y sensible en los humedales que ante cualquier impacto negativo que pueda sufrir, conllevaría a un cambio sustancial en las propiedades fisicoquímicas y condiciones hidrológicas (Prusty, 2008), estos cambios son originados por la influencia de actividades del hombre como el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento (Larrea *et al.*, 2009).

Los humedales ubicados a lo largo de la costa peruana no escapan a estos problemas de contaminación, ya que esta situación puede manifestarse hacia los hábitats de flora, fauna (incluyendo aves migratorias) e incluso en los recursos hídricos. Un claro ejemplo ante esta situación lo tiene el Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla, ya que se encuentra en un constante riesgo de contaminación hacia el humedal, del cual fueron provocadas por invasiones urbanas, por el arrojo de residuos sólidos y el vertimiento o infiltración de aguas residuales, entre otros posibles factores exógenos. De esta manera, desequilibrando el humedal y evitando proporcionar adecuadamente los servicios ecosistémicos, como regulador de agua, sumideros de oxígeno, turismo, actividades productivas, entre otros (Gobierno Regional del Callao [GORE Callao], 2009).

En relación a lo mencionado, existen estudios previos del humedal como lo investigado por Fajardo (2018) y Chacon (2020), del cual demostraron que existe una presente contaminación y cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua en el humedal. Además, Rodríguez *et al.* (2017) investigaron el espejo de agua Pisciplaya, muy cercano a los asentamientos humanos (AA.HH.), donde se encontró presencia de microorganismos que podría afectar la salud de las personas, ya que este lugar solía ser usado como una zona recreativa para bañistas (piscina).

Debido a ello, es importante realizar investigaciones al humedal y conocer el estado de conservación, así como también señalar el posible origen de contaminación fecal. Por esta razón, el estudio abarco tres ámbitos de importancia (económico, social y ambiental). En lo económico, porque no se utilizó equipos sofisticados para evaluar y analizar el agua del humedal. En lo social, estos resultados fueron utilizados por los encargados del ACR con el propósito de contribuir al proceso de concientización, sensibilización a la población y visitantes, así mismo, ayudaría en la conservación del ACR Humedales de Ventanilla. En la parte ambiental, se destaca la importancia de los servicios ambientales que proporciona el humedal como regulador de los recursos hídricos, alimentación, producción económica, turismo entre otros (GORE Callao, 2009).

En la presente tesis se tuvo que realizar monitoreo de los recursos hídricos superficiales, con el fin de conocer la calidad del agua del ecosistema. Por ello, se evaluó el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras de contaminación y parámetros fisicoquímicos dentro del ACR Humedales de Ventanilla, puesto que, algunas bacterias pueden sobrevivir a condiciones anaerobias o aerobias, en consecuencia, afectando al ecosistema acuático (eutrofización), a la salud de humana y animal.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras de contaminación y parámetros fisicoquímicos dentro del ACR Humedales de Ventanilla.

Objetivos específicos

- Analizar la influencia de las bacterias indicadoras de contaminación en el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla.
- Determinar el grado de contaminación, origen del residuo fecal y nivel eutrofización en las estaciones de muestreo del ACR Humedales de Ventanilla.
- Determinar la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y las bacterias indicadoras de contaminación en los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla.
- Determinar la relación que existe entre la concentración de nutrientes y las bacterias indicadoras de contaminación en los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla.
- Comparar las concentraciones de los parámetros de estudio con la normativa vigente, específicamente en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del ECA agua para identificar zonas de riesgo dentro del ACR Humedales de Ventanilla.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes del estudio a nivel internacional

Según Loucif *et al.* (2020), en el estudio “Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas superficiales del lago Tonga en Argelia”; tuvieron como objetivo determinar el estado actual de la calidad del agua del lago Tonga mediante la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. La metodología del estudio consistió en recolectar muestras de agua desde enero hasta junio, en tres sitios de muestreo y a diferentes profundidades (97, 145 y 190 cm). Para determinar parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica [CE], turbidez, dureza, demanda biológica de oxígeno [DBO₅], concentraciones de sólidos en suspensión, residuos secos, oxígeno disuelto [OD], fosfato, nitritos, nitratos, amonio, calcio [Ca], magnesio [Mg], cloruro [Cl], potasio [K] y dióxido de azufre [SO₂]) utilizaron recipientes de 1,5 L y para bacterias (bacterias heterótrofas [BH], coliformes totales [CT], coliformes fecales [CF] y estreptococos fecales [SF]) recolectaron en frascos de 250 mL, estos parámetros fueron analizados mediante la guía internacional de los métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales. En el análisis estadístico hallaron la media y la desviación estándar, también la correlación de Pearson entre variables fisicoquímicas y bacterianas, para ello utilizaron el programa estadístico gratuito R. Los resultados mostraron que la mayoría de parámetros superaron los límites permisibles de la OMS y normas argelinas, así mismo, reportaron los valores máximos de los grupos bacterianos como las BH de $347,7 \times 10^3$ UFC/100 mL, CT de $263,3 \times 10^3$ UFC/100 mL, CF de $231,3 \times 10^3$ UFC/100 mL y SF de $44,7 \times 10^3$ UFC/100 mL. El estudio concluyó que existe una correlación significativa entre las variables bacterianas y fisicoquímicas del agua, del cual indicaría una mayor proliferación de bacterias anaerobias que consumen el oxígeno en el agua, provocando la alteración del equilibrio ecológico, la eutrofización o la desaparición del ecosistema acuático.

De la Lanza y Hernández (2019) desarrollaron el estudio “Variación de la calidad del agua de La Ciénega de Tláhuac”, México; tuvieron como objetivo analizar las variaciones de corto plazo del agua de la Ciénega Tláhuac entre junio de 2008 y junio 2009, así como discutir los cambios de la información publicada correspondiente a diversos años. La metodología consistió en realizar un muestreo mensualmente en los cuatro lagos de la ciénega de Tláhuac y un canal de la delegación Tláhuac. Determinaron los parámetros *in situ* (temperatura, pH, color, conductividad, oxígeno disuelto-saturación) con un multisensor de campo YSI 556 MPS, así como también parámetros *ex situ* como color, sulfatos, dureza, nutrientes (ortofosfatos-fósforo total, amonio y nitrógeno total), demanda química de oxígeno (DQO), detergentes, metales y sólidos suspendidos siguiendo las técnicas de American Public Health Association, mientras que los coliformes totales y fecales fueron determinados mediante la técnica comercial de Colillert. Los resultados mostraron alta conductividad (4 y 5 mS/cm) debido a la actividad agropecuaria cercana que empleaban fertilizantes, también existió una elevada dureza, altos contenidos de sulfatos, pH alcalino, concentración de oxígeno disuelto desde sobresaturación hasta hipoxia o anoxia, una hipereutrofización con elevados niveles de nitrógeno y fósforo totales, además de contaminación bacteriana por coliformes totales (50 000 NMP/100 mL) y coliformes fecales (25 000 NMP/100 mL). El estudio concluyó que las concentraciones fueron más altas comparados con los de 20 años atrás y señalan una mala calidad del agua, en particular hipereutrofizada.

Madriz (2017) realizó el estudio “Evaluación de la calidad física, química, bacteriológica del agua de la laguna de Moyua, Matagalpa (Humedal Ramsar No.1980), durante el 2015-2016”, Nicaragua; tuvo como objetivo evaluar la calidad física, química y bacteriológica del agua de la laguna de Moyua, con la finalidad de verificar si es apta para consumo humano, riego y recreación. El estudio fue experimental de corte transversal, descriptivo, correlacional. La metodología consistió en recolectar agua durante febrero de 2015 y enero de 2016. Además, estableció 6 estaciones de muestreo de aguas superficiales y 2 en pozos cercanos, donde analizó los parámetros físicos, químicos y bacteriológicas (coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp., *Streptococcus* sp.) mediante los métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales e ISO 5667. Por otra parte, aplicó los índices de calidad para consumo humano (normas canadienses, CAPRE y OMS), irrigación (índices de la FAO) y recreación (índices de la OMS). El análisis de los datos fue por estadística descriptiva y la correlación de Pearson entre las variables, para ello,

utilizó el programa Microsoft Excel. Los resultados evidenciaron que el agua superficial y de pozo de la laguna no fue apta para consumo humano, ni para la irrigación, ni recreación debido a la presencia de bacterias patógenas en todas las estaciones de muestreo, con respecto a los parámetros físicos y químicos estas variaron ligeramente. El estudio concluyó que las concentraciones de bacterias fueron elevadas en la laguna debido a las poblaciones cercanas, por ello debe dejar usándose para la recreación, consumo humano e irrigación, además de ser comunicado a las autoridades para asegurar su mantenimiento.

El estudio de Correa (2014) sobre “Calidad del agua en humedales del plano de inundación del río Atrato” realizado en Colombia, tuvo como objetivo conocer cómo afecta estos factores antrópicos a los cuerpos de agua puesto que los parámetros fisicoquímicos podrían mostrar cambios. La metodología consistió en recolectar 2 muestras de agua por cada una de las 18 ciénagas (cuenca media y baja del río Atrato), durante junio y julio del 2006, del cual, permitió medir a nivel de la superficie los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales), además, a nivel de fondo en la columna de agua (conductividad, oxígeno disuelto, saturación, temperatura y pH). Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron comparadas con la normativa colombiana. Los resultados reportaron que el oxígeno disuelto varió entre ciénagas de 4,3 mg/L en superficie y 2,7 mg/L en fondo, también hubo altas concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales en la ciénaga Perancho con 17 000 y 3 000 NMP/100 mL respectivamente. Con respecto a los metales, solo hubo niveles elevados de plomo y cobre. El estudio concluyó que en algunas ciénagas hubo un menor desarrollo de fitoplancton y clorofila por la disminución de oxígeno disuelto, además de la posible presencia de organismos patógenos por el grupo de coliformes.

Malaver *et al.* (2014) desarrollaron el estudio “Un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua de la Laguna de Tacarigua, Venezuela”; tuvieron como objetivo determinar la calidad sanitaria del ecosistema lagunar utilizando indicadores microbiológicos (bacterianos). La metodología consistió en realizar dos campañas de muestreo (marzo y agosto de 2011), dentro de cinco lagunas interiores que está dividida la Laguna de Tacarigua y la boca (conexión con el mar), siendo un total de 16 estaciones de muestreo. De esta manera, fue analizado los parámetros fisicoquímicos *in situ* (conductividad, pH, salinidad,

temperatura, turbidez, transparencia y profundidad) y los indicadores microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales, *Enterococcus* sp., *Vibrio* sp. y bacterias heterótrofas). Además, en el tratamiento estadístico emplearon técnicas de interpolación espacial (*Kriging*) donde usaron el programa PAST, mientras el análisis de redundancia entre bacterias y los fisicoquímicos usaron el programa CANOCO. Los resultados evidenciaron concentraciones de coliformes totales (10^7 a 10^9 UFC/100 mL en marzo y 10^6 a 10^8 UFC/100 mL en agosto), coliformes fecales (10^1 a 10^8 UFC/100 mL en marzo y 10^4 a 10^6 UFC/100 mL en agosto), *Enterococcus* sp. (10^7 a 10^9 UFC/100 mL en marzo y 10^8 a 10^9 UFC/mL en agosto), *Vibrio* sp. desde 10^2 hasta 10^6 UFC/mL y bacterias heterótrofas desde 10^7 hasta 10^{13} UFC/mL en agosto. Hubo variación espacial y temporal de los parámetros, además las características fisicoquímicas del agua condicionaron la presencia de las variables microbiológicas. El estudio concluyó que estas variables evaluadas son complementos para indicar la calidad del agua y el grupo de coliformes y *Enterococcus* sp. permitieron estimar la calidad bacteriológica y la influencia antrópica sobre la calidad del agua.

Según Rudic *et al.* (2014) realizaron la investigación titulada “Indicadores microbiológicos en el agua y sedimentos del lago poco profundo de Panonnian - Lago Palic”. La investigación tuvo como objetivo indicar las fuentes de contaminación y los probables sitios calientes para los nadadores. La metodología consistió en obtener muestras de agua (4 estaciones de muestreo) y sedimento (2 estaciones de muestreo) durante noviembre del 2013, cabe indicar que los lugares de muestreo fueron cercanos a la población y a sitios puntuales de descargas de efluentes. Los parámetros como temperatura de aire, temperatura de agua, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto fueron medidos en campo con un multiparámetro, además, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp. fueron analizados mediante la técnica estándar de *Idexx Colilert* y *Enteroler*. Los resultados mostraron que las bacterias disminuyeron al alejarse del efluente (L1) y aumentaron en la estación L4, donde el pH del lago osciló desde lo neutro hasta lo alcalino, la conductividad eléctrica fue elevada en las estaciones L3 y L4, con respecto al oxígeno disuelto existió una sobresaturación y en la turbidez un alto contenido de algas. En cambio, los sedimentos obtuvieron coliformes totales desde 170,73 a 226,3 NMP/g DW, coliformes fecales desde 9 a 66 NMP/g DW, *Escherichia coli* desde 1,4 a 4,44 NMP/g DW y *Enterococcus* sp. de 18 a 50 NMP/g DW. El estudio concluyó en que la estación L4 existió otra fuente de contaminación, por ello,

aumentó ligeramente en comparación que la L3, además ubicaron sitios calientes donde hubo alta carga bacteriana que afectaba la calidad del agua.

1.1.2. Antecedentes del estudio a nivel nacional

Chacon (2020) realizó el estudio “Evaluación de la biodiversidad de los Humedales de Ventanilla”, Callao, Perú; cuyo objetivo fue evaluar de la acción antrópica que está afectando la biodiversidad de los Humedales de Ventanilla, con la finalidad de conocer la pérdida de la biodiversidad y deterioro de la calidad del agua del ecosistema. Realizado con un enfoque descriptivo-explicativo, el estudio utilizó encuestas para recabar datos sobre el humedal y su entorno. La población objeto de estudio estuvo conformada por los asentamientos humanos de Apurímac, Valle Verde y Defensores de la Patria, así como la biodiversidad del humedal. La metodología implementada incluyó la ubicación de cuatro estaciones de muestreo, referenciadas a partir del plan maestro, en las cuales evaluaron 12 parámetros del agua, tales como el pH, oxígeno disuelto, fósforo total y coliformes termotolerantes, entre otros, permitiendo el cálculo del índice de calidad de agua (ICA-PE). En cuanto a los resultados, indicó altas concentraciones de fósforo total (0,361 a 0,6410 mg/L); DBO₅ (6,6 a 49,2 mg/L), sólidos totales suspendidos (P3 = 25,5 mg/L), en cuanto a los metales, el plomo tuvo en el P4 valor igual a 0,00401 mg/L y zinc desde 0,01498 hasta 0,02603 mg/L. Además, calculó que la densidad poblacional aumentará al 2027 con 3 700 hab/km². Por otro lado, la estación P3 (Balneario Costa Azul) obtuvo 44,998; del cual interpretó como mala calidad según el índice ICA-PE. El estudio concluyó que existió disminución de la diversidad, carencia de educación ambiental y problemas referente al estado de la calidad ambiental, así mismo, la densidad poblacional aledaña ha aumentado y traería presión hacia el humedal afectándola.

Huamán *et al.* (2020), en el estudio “Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa”, Lima, Perú; tuvieron como objetivo evaluar la calidad del agua de la laguna Marvilla y determinar del índice de calidad de agua del Perú (ICA-PE). La metodología consistió en recopilar información de monitoreo del octubre 2019 hasta agosto 2020 y recolectó muestras de agua en 3 estaciones durante octubre 2020, donde evaluaron pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos, amoníaco, fósforo total, DBO₅ y coliformes termotolerantes. Así mismo, los parámetros fueron comparados con el ECA para agua en la categoría 4-E1, luego determinó el índice de la calidad de agua (ICA-PE). Los

resultados del monitoreo histórico (2019-2020) fue de pH (8,8), la conductividad eléctrica (4 644,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos disueltos totales (3 413,9 ppm). Así mismo, el monitoreo de octubre 2020 mostró el pH (8,8), la conductividad eléctrica (4 616,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), los sólidos totales disueltos (3 059,9 ppm), la temperatura (25,5 °C), el oxígeno disuelto (13,4 mg/L), los nitratos (132,9 mg/L), amoníaco (1,7 mg/L), fósforo total (1,5 mg/L), DBO_5 (16,8mg/L) y coliformes termotolerantes (17 766,7 NMP/100 mL), por lo que estos cinco últimos no cumplieron con el ECA para agua 2017. Además, el cálculo del ICA-PE fue de 46,3; es decir, obtuvo una calidad regular de agua. El estudio concluyó que la influencia de las heces de animales, las descargas de aguas residuales, los residuos sólidos pudieron ocasionar la variabilidad en algunos parámetros sobre la calidad de agua de la laguna Marvilla.

Fajardo (2018), en el estudio “Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla”, región Callao, Perú; tuvo como objetivo determinar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua superficial y subterránea del ACR Humedales de Ventanilla, orientadas a su recuperación. El estudio fue descriptivo de tipo transversal. La población de estudio estuvo constituida por 15 cuerpos de agua (13 lenticos y 2 loticos) y 2 piezómetros de agua. La metodología consistió en establecer 17 estaciones de muestras que fueron evaluadas durante febrero, mayo y agosto del 2015. Asimismo, por cada estación hubo 3 parámetros microbiológicos y 44 parámetros fisicoquímicos (guiándose de normativas internacionales para su detección). El tratamiento de los datos fue mediante la prueba de Tukey HSD para verificar si existen diferencias entre *E. coli* y coliformes fecales, luego utilizó el coeficiente de Pearson (r) para evaluar la relación lineal entre los microorganismos, además utilizó la técnica de interpolación *Spline* para generar isolíneas a todos los parámetros, para ello usaron el programa SPSS 22 y ArcMap 10.3. Los resultados presentaron valores máximos en la estación M-12 por coliformes totales (13 000 NMP/100 mL), coliformes fecales (7 900 NMP/100 mL) y *Escherichia coli* (4 900 NMP/100 mL). Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos superaron los valores del ECA para agua del año 2008, 2015 y 2017 del Perú, además, hubo altas concentraciones de plomo en las estaciones (M-4, M-5, M-6, M-7, M-9, M-10, M-11, M-12, M-13 M-16 y M-17) que fue comparado con ECA para agua, en cambio para el As, Cu, Cd, Hg, Se, Zn y Tl existió presencia en algunas estaciones. Por otro lado, la correlación lineal de Pearson fue de 0,913 entre log *Escherichia coli* y log coliformes fecales, del cual indicó un alto grado de contaminación. El estudio concluyó que ACR fue afectado

por contaminación de los AA.HH. cercanos, de esta manera alteró el ecosistema y sus componentes del agua como los parámetros fisicoquímicos, por último, sugirió realizar estudios de biorremediación para las zonas más críticas.

Loayza *et al.* (2018), en la investigación titulada “Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal “El Cascajo”, Santa Rosa”, Chancay, Lima, Perú; tuvieron como objetivo de caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua y realizar evaluaciones sobre la contaminación del humedal El Cascajo, a través del uso de la teledetección. La metodología consistió en establecer 4 estaciones de muestreo para analizar en campo algunos parámetros (temperatura, pH, profundidad, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica) y el resto de parámetros (nitrato, nitrógeno total [NT] y materia orgánica) fueron recolectados en campo y analizados en laboratorio. Luego las concentraciones fueron comparadas por ECA para agua del año 2015 de la categoría 4-E1. Además, usaron imágenes satelitales Landsat de los años 2005, 2011 y 2015, de esta manera visualizaron los cambios del humedal. Los resultados indicaron que la temperatura osciló de 20 a 23 °C, el pH de 7,85 a 8,7; la transparencia entre 15 a 21 cm, profundidad (M1 = 1,1 m, M2 = 1,15 m, M3 = 1,19 m y M4 = 1,24 m), oxígeno disuelto de 4,6 a 6 mg/L, conductividad eléctrica 900 a 3 800 μ S/cm, nitrato de 0,018 a 0,2 mg/L, NT de 20,8 a 78,65 mg/L y la materia orgánica de 1,4 a 20,8 %. Estos resultados indicaron que algunos parámetros superaron los límites del ECA para agua. Por otro lado, procesaron las imágenes satelitales mediante combinaciones de falso color (4-3-2) y NDVI para diferenciar los cuerpos de agua (azul), vegetación (verde) y de *Pistia stratiotes* L. “lechuga de agua”. El estudio concluyó que el humedal ha sido eutrofizado por la cobertura de macrófitas en la laguna principal, esto fue influenciado por la alta carga de nutrientes de los efluentes de los AA.HH. y la cercanía de actividades de pastoreo.

El estudio de Rodríguez *et al.* (2017) sobre la “Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla y su importancia para la salud pública local”, Callao, Perú; el objetivo fue realizar un diagnóstico microbiológico en los cuerpos de agua usados por la población que vive en los alrededores del ACR Humedales de Ventanilla. La metodología consistió en monitorear mensualmente desde agosto del 2014 a julio del 2015 en la laguna denominada “Pisciplaya”, donde establecieron 15 estaciones de muestreo para

analizar los parámetros de los coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Vibrio* spp. y *Salmonella* spp. a través del método estándar para realizar los análisis respectivos microbiológicos, luego fueron comparados con el ECA para agua del año 2008 en la categoría 1B1 y categoría 4. Los resultados indicaron fuerte presencia de coliformes totales (> 2 000 NMP/100 mL) en 6 estaciones y 2 estaciones para coliformes termotolerantes (> 1 000 NMP/100 mL). En la estación 10 hubo gran presencia de *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*. Además, en la bacteria *Vibrio* spp. encontraron 4 estaciones con presencia de esta bacteria, pero no superaron 1 000 NMP/100 mL. Finalmente, *Salmonella* spp. estuvo ausente en todas las estaciones de muestreo. El estudio concluyó que la deficiente calidad del agua del humedal en la laguna pisciplaya generó una alerta de foco infección para las poblaciones que usaría la laguna de manera recreativa, también el consumo de este recurso podría provocar problemas serios de salud a la población y animales.

Sánchez *et al.* (2014), en el estudio “calidad ambiental del humedal poza la Arenilla”, Callao, Perú; tuvieron como objetivo evaluar de parámetros físico-químicos, microbiológicos y contaminación de tipo orgánico de la calidad acuática del Humedal poza La Arenilla; con el fin de otorgar datos para una gestión del gobierno local. La metodología consistió monitorear en 6 estaciones (dos por la playa a nivel superficial y cuatro por el mar a nivel superficial, de fondo y de sedimento) durante junio del 2008, del cual analizaron los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales [SST], DBO₅, material orgánico extractable en hexano [MOEH]), microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes) y metales pesados (cadmio, plomo, cobre, hierro). Además, evaluaron los metales pesados en sedimento (cadmio, plomo, magnesio, cobre, zinc, hierro). Los valores de estos parámetros fueron convertidos a isolíneas usando la técnica de interpolación *kriging*, para ello usaron el programa surfer 8. Los resultados evidenciaron que la temperatura fue 18,4 °C, pH de 7,98 (superficie) y 8,01 (fondo), oxígeno disuelto de 7,67mg/L (superficie) y 7,05 mg/L (fondo), plomo 0,0020 mg/L (superficie) y 0,0019 mg/L (fondo), cobre 0,0127 mg/L (superficie) y 0,0135 mg/L (fondo), cabe mencionar que estos parámetros no superaron las concentraciones del ECA para agua del año 2008. Por el contrario, los parámetros que superaron fueron el MOEH de 1,3 mg/L, DBO₅ de 300 mg/L, coliformes totales desde $2,1 \times 10^2$ a $1,2 \times 10^3$ NMP/100 mL, coliformes termotolerantes desde 7×10^1 a $7,5 \times 10^2$ NMP/100 mL, SST de 125,3 mg/L (superficie) y

127,6 mg/L (fondo), además, los valores de los metales analizados en sedimentos como cobre, cadmio, plomo, zinc, magnesio y hierro de 19,83; 0,68; 13,48; 39,24; 67,71 ug/g y 1,15 % respectivamente. El estudio concluyó que la frecuente contaminación antrópica por residuos domésticos, residuos plásticos y en especial un posible vertimiento de aguas residuales domésticas provocaron la contaminación a nivel microbiológico en el agua y que no cumplan la normativa regulatoria.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Humedal

Basado en la definición de la Secretaría de la Convención de Ramsar (2013) indica a los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda seis metros” (p.7). Otros autores describen a los humedales tomando en cuenta sus componentes ambientales como de agua temporal o permanente, de condiciones únicas del suelo (saturado de agua y baja concentración de oxígeno) y la biota que generalmente son plantas adaptadas a estos ecosistemas (Charman, 2002; Greb *et al.*, 2006; Mitsch y Gosselink, 2007, como se citó en Aponte, 2017, p.11).

Los humedales son los más productivos en el mundo, en la cual se encuentra una gran diversidad biológica y recursos hídricos, siendo una fuente principal para la supervivencia de muchas especies (aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados). Además, los humedales cumplen diversas funciones y su valor es de vital importancia para el hombre. Las funciones de los humedales se interaccionan con los componentes biológicos, físicos y químicos, generan el almacenamiento de agua, protección contra tormentas y crecidas, controlar de la erosión, la recarga o descarga de acuíferos, depuración de aguas, retención de nutrientes, retención de sedimentos, retención de contaminantes, estabilización de lluvias y temperatura. También los humedales generan beneficios (valores) hacia el hombre como el abastecimiento de agua, la pesca, agricultura, madera, recursos energéticos, recursos de vida silvestre, transporte, hierbas medicinales, recreación y turismo (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

Según la Secretaría de la Convención de Ramsar (2013) consideró generar un sistema de clasificación de tipos de humedales, donde se agrupan en 3 categorías (humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales). A continuación, se indica las principales categorías de los humedales mediante códigos (letras o números) para poder identificar los hábitats de los humedales, estos son:

Los Humedales marinos y costeros se subdividen en aguas marinas someras permanentes (A), lechos marinos submareales (B), arrecifes de coral (C), costas marinas rocosas (D), playas de arena o de guijarros (E), estuarios (F), bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos (G), pantanos y esteros (H), humedales intermareales arbolados (I), lagunas costeras salobres y saladas (J), lagunas costeras de agua dulce (K), los sistemas kársticos, incluyendo otros sistemas hídricos subterráneos Zk(a). (p. 59-60)

Los Humedales continentales se subdividen en deltas interiores (L), ríos/arroyos permanentes (M), ríos/arroyos estacionales/intermitentes/irregulares (N), lagos permanentes de agua dulce (O), lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (P), lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos (Q), lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos / salobres / alcalinos (R), pantanos / esteros / charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos (Sp), pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos / salobres / alcalino (Ss), pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce (Tp), pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos (Ts), turberas no arboladas (U), humedales alpinos/de montaña (Va), humedales de la tundra (Vt), pantanos con vegetación arbustiva (W), humedales boscosos de agua dulce (Xf), turberas arboladas (Xp), manantiales de agua dulce y oasis (Y), humedales geotérmicos (Zg) y sistemas kársticos, incluyendo otros sistemas hídricos subterráneos continentales Zk (b). (p. 60)

Los Humedales artificiales se subdividen en estanques de acuicultura (1), estanques artificiales (2), tierras de regadío (3), tierras agrícolas inundadas estacionalmente (4), zonas de explotación de sal (5), áreas de almacenamiento de agua (6), excavaciones (7), áreas de tratamiento de aguas servidas (8), Canales de transportación y de drenaje, zanjas (9) y Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos Zk(c). (p. 61)

1.2.2. Sitios Ramsar en el Perú

Existen 2065 humedales situados en todo el mundo (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013) y en el Perú se encuentran 13 humedales con este reconocimiento, tal como se menciona en el Estrategia Nacional de Humedales (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM), como:

Reserva Nacional Paracas (Ica), Reserva Nacional Pacaya - Samiria (Loreto), Santuario Nacional Lagunas de Mejía (Arequipa), Lago Titicaca (sector peruano): Reserva Nacional Titicaca (Puno), Reserva Nacional de Junín (Junín y Pasco), Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (Tumbes), Zona Reservada Los Pantanos de Villa (Lima), Bofedales y Laguna de Salinas: Dentro de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (Arequipa), Laguna del Indio - Dique de los Españoles: Dentro de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (Arequipa), Complejo de humedales del Abanico del Río Pastaza (Loreto), Humedal Lucre - Huacarpay (Cusco), Lagunas Las Arreviatadas (Cajamarca) y Manglares de San Pedro de Vice en Piura. (p. 15)

Por último, se agregó un sitio Ramsar en el Perú a través de la Resolución Ministerial N° 173-2021-MINAM, donde se consideró el Estuario de Virrilá, Sechura (Piura).

1.2.3. Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla

El establecimiento del Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla fue reconocido el 20 de diciembre del 2006, mediante Decreto Supremo N° 074-2006-AG, del

cual, se encuentra localizado en la provincia constitucional del Callao y con un área de 275,45 ha. Además, su temperatura media anual de 19,75 °C, la humedad relativa media anual de 83 % y precipitación promedio anual de 15,6 mm que se le confiere como una zona de clima muy seco (GORE Callao, 2009). El ACR Humedales de Ventanilla está conformada numerosos espejos de agua permanentes o temporales. Sus principales vegetaciones son las salicorniales, totorales gramadales, juncales y arenales de origen antropogénico (Pronaturaleza, 2010), su fauna más característica y estudiada es la ornitológica (aves) la cual cuentan con 76 especies, también se aprecian peces pequeños (ornamentales) y tilapias (GORE Callao, 2009).

1.2.4. Agua

Mediante el Artículo 1 de la Ley N° 29338, ley de Recursos Hídricos (2009), definen al agua como “un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la nación” (p. 1). Otro autor define el agua como un recurso indispensable para la vida y contiene características únicas, además ayuda en el crecimiento de la sociedad (Fernández, 2012).

Calidad del agua

Dentro del concepto de calidad de agua existen dos aspectos intrínsecos (contenido y cantidad del agua) y uno extrínseco (uso del agua), como también, las concentraciones permisibles que se considera para cada uso en especial. La elevación de estas concentraciones se debe a causa de componentes orgánicos e inorgánicos, escombros o basureros, plaguicidas, nitratos, eutrofización, filtraciones de embalses, sales por intrusiones marinas, entre otros (Fernández, 2012). En base a ello, se encontró estudios donde analizaban los principales problemas en América con respecto a la calidad del agua, tales como:

- La Eutrofización, en América se refleja de manera artificial; es decir, por la contaminación de fuentes no puntuales, productos químicos agrícolas, brotes de cianobacterias y toxinas, del cual generan como resultado el aumento de nutrientes en los cuerpos y cursos de agua, algas tóxicas, disminución de oxígeno en el agua,

desarrollo de especies no deseadas y hasta desequilibrar el ecosistema acuático (Wheelock *et al.*, 2019).

- La contaminación química es causada por contaminantes emergentes, sustancias químicas tóxicas, salinización, lluvia ácida, minería y otros desechos industriales, y contaminación natural (fluoruros, el boro y el arsénico) (Wheelock *et al.*, 2019).
- Los contaminantes biológicos y no químicos se generan a causa del saneamiento inadecuado (mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales), especies invasoras (afectan al nivel trófico del ecosistema acuático), la sedimentación (por el transporte de suelos contaminados hacia el agua) y contaminación por microorganismos (virus, bacterias, protozoos, helmintos y algas) (Wheelock *et al.*, 2019).

Parámetros fisicoquímicos

La disposición de elementos químicos insolubles o disueltos en el agua conceptualizan las características físicas y químicas. En cuanto a las características físicas del agua se pueden apreciar con los sentidos o por su estética para la aprobación de las condiciones del agua, estas características físicas son temperatura (TEMP), turbiedad, color, olor, sabor, entre otros. En cambio, las características químicas suelen contener elementos de la tabla periódica y tienen efectos en la salud del hombre, estas suelen ser la conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), salinidad (SALI), nutrientes (nitrógeno total [NT] y fósforo total [FT]), entre otros (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS] *et al.*, 2004).

Bacterias indicadoras de calidad del agua

En cuanto a los microorganismos se toma en cuenta a bacterias, virus, hongos, parásitos (protozoo y helmintos) y los patógenos emergentes como las cianobacterias (Ríos *et al.*, 2017). Según CEPIS *et al.* (2004) recomendaron los requisitos básicos para elegir un microorganismo indicador, para ello, deben ser sencillos de cultivar, ser inofensivo para el hombre y animal, además, la concentración debe ser proporcional al número de

microorganismos patógenos en el agua. Por ello, las bacterias tienen rasgos esenciales para ser utilizadas como indicadores de contaminación del agua y su adaptación a diferentes tipos de ambientes (Malaver *et al.*, 2014).

Actualmente, unos de los grupos más usados son los coliformes (coliformes totales y coliformes termotolerantes o fecales), después otro indicador son *Escherichia coli*, bacterias heterótrofas (CEPIS *et al.*, 2004) y los *Enterococcus* que se usan como indicadores de contaminación ambiental (Boehm y Sassoubre, 2014).

Grupo coliformes. El grupo coliformes ha sido ampliamente usado como indicador de calidad del agua y aseguramiento de la salud pública (Rompré *et al.*, 2002). Por ello, este grupo tiene la característica de crecer en el suelo, plantas, animales y humanos, pero también se relaciona con aguas contaminadas o aguas negras que ocasionalmente están presentes en las superficies del agua o en sedimentos del fondo (Munn, 2004; como se citó en Ramos *et al.*, 2008). Dentro del grupo se separa en coliformes totales y coliformes termotolerantes o fecales.

- Los coliformes totales (total de bacterias coliformes) son los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes con capacidad de crecer en sales biliares fermentando lactosa y originando ácido o aldehído durante 24 horas incubado a 35 – 37 °C. Dentro de este grupo incluye especies fecales y ambientales, tales como los siguientes géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia* y *Hafnia* (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).
- Los coliformes termotolerantes, también llamados coliformes fecales, son capaces de fermentar lactosa a 44 - 45 °C. Dentro de este género destaca *Escherichia*, también se incluyen *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* (OMS, 2017). Este grupo por lo general no se multiplica en ambientes acuáticos, además está íntimamente relacionado con la contaminación fecal, de esta manera, se transmite patógenos por medio del agua (CEPIS *et al.*, 2004).

***Escherichia coli* (EC).** Es considerado el más adecuado indicador de contaminación fecal por ser el más abundante dentro de los coliformes termotolerantes. *Escherichia coli* es una bacteria idónea en los programas de monitoreo y vigilancia de la calidad del agua de consumo (OMS, 2017). Esta bacteria habita naturalmente en los intestinos de mamíferos siendo cepas no patógenas, pero existen cepas patógenas que causan enfermedades gastrointestinales como la *Escherichia coli* O157 (CEPIS *et al.*, 2004) encontrándose en las heces humanas y animales, aunque se podrían desarrollar en suelos tropicales (OMS, 2017).

***Enterococcus* sp. (ENT).** Son cocos Gram positivos, anaerobias facultativas, crecen a temperatura de 10-45 °C, persiste al cloruro de sodio (NaCl), pH alcalino (hasta 9,9) y persiste altas concentraciones de sales biliares. Los *Enterococcus* pertenecieron al género *Streptococcus* del grupo D, pero se reclasificaron en el año 1984 creando un nuevo género llamado *Enterococcus*, donde se agrupan en 40 especies actualmente, además, son pocas las especies patógenas hacia el hombre. Las especies de mayor relevancia son *Enterococcus faecalis* y *Enterococcus faecium* (Murray *et al.*, 2014). Se disoció del género *Streptococcus*, porque los *Enterococcus* son propios de la contaminación fecal, también se pueden aislar del agua y del suelo (OMS, 2017). En base a su estructura de la pared celular es capaz de sobrevivir largo tiempo en el ambiente (Murray *et al.*, 2014), por ello, se utiliza como indicador de contaminación ambiental, ya que se encuentran en altas concentraciones de aguas residuales, escorrentías, aguas pluviales y subterráneas, defecación por los animales, sedimentos, arenas y suelos (Boehm y Sassoubre, 2014).

Bacterias heterótrofas (BH). Son bacterias inocuas que conforman la microflora natural de los ecosistemas acuáticos y en las fuentes de contaminación (OMS, 2017), también se usa como fuente de energía y desarrolla carbono orgánico o nutrientes orgánicos (Reasoner, 1998; Bartram *et al.*, 2003). La presencia de estas bacterias en el agua indica que existe materia orgánica (Reasoner, 1998), del cual existiría una diversa flora de estos organismos (Bartram *et al.*, 2003). Para su proliferación es esencial la temperatura, la disponibilidad de nutrientes (carbono orgánico), la ausencia de desinfectantes y el estancamiento del agua (OMS, 2017). La diversa flora existente en el agua podría causar enfermedades a través de las bacterias saprofíticas y patógenas (Reasoner, 1998). Además, las bacterias heterótrofas son buenos indicadores de calidad ambiental, la abundancia y capacidad de degradar materia

orgánica, de tal manera que realizan procesos de ciclaje y traslado de nutrientes al ecosistema (Atlas y Bartha, 2002, como se citó en Malaver *et al.*, 2014).

1.2.5. Métodos empleados en la identificación y enumeración de bacterias

Técnica de fermentación en tubos múltiples

La técnica de fermentación de tubos múltiples (FTM) se ha utilizado hace muchos años para la enumeración y control de calidad de los cuerpos de agua, por ejemplo, en la enumeración de coliformes. El método consta de inoculaciones en tubos por diluciones decimales de la muestra de agua, una vez incubado a 35 °C se observa dentro de 48 horas la generación de gas, el crecimiento abundante o ácidos en los tubos que significa una reacción positiva (Rompré *et al.*, 2002), cabe indicar que la concentración de la enumeración es expresada en Número Más Probable (NMP) (American Public Health Association [APHA] *et al.*, 2017). Las desventajas son el tiempo de proceso y lectura de resultados presuntivos (48 horas), sin embargo, es muy útil para aguas turbias o coloreadas, también es fácil de realizar, pero puede ser tedioso realizar grandes cantidades muestras de agua. Además, esta técnica es económica por lo que no requiere materiales y equipos sofisticados (Rompré *et al.*, 2002).

Técnica de placa fluida

El recuento en placa heterótrofas (HPC) es utiliza para estimar el número de bacterias heterótrofas cultivables vivas en el agua, se expresa en Unidades Formadoras de Colonias (UFC). Existen métodos que depende del procedimiento y el medio de cultivo para la información requerida del resultado como *pour plate method* (9215 B), *spread plate method* (9215 C), *membrane filter method* (9215 D) y *enzyme substrate method* (APHA *et al.*, 2017). La técnica de placa fluida o *pour plate method* se prepara mezclando volúmenes de muestra de agua con agar de extracto de levadura fundido a temperaturas de 45 ± 1 °C (Standing Committee of Analysts, 2012), así mismo, crecen colonias pequeñas subsuperficiales, compactas, no invasivas hacia otra colonia, de crecimiento lento y tedioso al transferir la colonia de la subsuperficie, por ello, la solución sería atemperar el agar en agua termostática (APHA *et al.*, 2017). Esta técnica sería mejor con el agar R2A, ya que este agar tiene bajos en nutrientes y aumentaría la recuperación de organismos dañados por desinfectantes (Standing Committee of Analysts, 2012).

1.2.6. Relaciones entre bacterias indicadoras

Grado de contaminación fecal mediante *Escherichia coli* / coliformes fecales

Esta relación se basó principalmente en lo descrito por United States Environmental Protection Agency [USEPA] (2002), donde empleó un criterio para descubrir las condiciones de la calidad del agua, indicando que el 63 % de coliformes termotolerantes son *Escherichia coli*, es decir, la proporción de EC/CF es 0,63; así permitiendo estimar el nivel de protección para los ecosistemas acuáticos. Por ello, este criterio generaría una regulación más conservadora de los cuerpos de agua (Noble *et al.*, 2004), además, el uso del *Escherichia coli* se viene usando hace décadas para el monitoreo de la calidad de agua (OMS, 2017).

Fuente de contaminación fecal mediante *Escherichia coli* / *Enterococcus* sp.

Según USEPA (1986) dio a conocer los criterios de calidad del agua ambiental para las bacterias, destacando el uso de *Escherichia coli* para aguas recreativas dulces y enterococos para aguas recreativas marinas y dulces, como los mejores pronósticos de una contaminación a diferencia de los coliformes fecales. Por lo tanto, si existiera ambientes acuáticos con menor impacto por contaminación fecal se evidenciaría una menor concentración de *Escherichia coli* y enterococos. Los enterococos son resistentes a los factores ambientales como la salinidad, lo que podría destacar como un buen indicador del agua (USEPA, 2002). Además, tienen diversas fuentes desarrollo como en los humanos, animales, suelo, plantas y entornos tropicales (Fewtrell y Bartram, 2001).

Según Geldreich y Kenner (1969) sugirieron una relación de coliformes fecales y Estreptococos fecales, del cual indicaban la fuente de contaminación de residuo fecal de origen humana, mixta o animal. Sin embargo, hubo críticas al usar esta relación, mencionando que son muy limitadas y solo es válida ante contaminación reciente (Gerba, 2015). Además, existió una variante ante esta relación, del cual utilizaban bacterias más específicas como *Escherichia coli* (EC) pertenece a los coliformes fecales y *Enterococcus* sp. (ENT) antes llamado Estreptococos del grupo D, por lo que se usó la relación *Escherichia coli*/*Enterococcus* sp. (Meeroff *et al.*, 2008). Los valores y fuentes de contaminación de esta relación, se describe a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1*Relación Escherichia coli / Enterococcus sp y su fuente de contaminación*

EC/ENT	Fuente de contaminación del residuo fecal
EC/ENT > 4,0	Fuerte evidencia de que la contaminación es de origen humano
2,0 < EC/ENT < 4,0	Buena evidencia del predominio de desechos humanos en contaminación mixta
0,7 < EC/ENT < 2,0	Buena evidencia del predominio de los desechos de animales domésticos en la contaminación mixta
EC/ENT < 0,7	Fuerte evidencia de que la contaminación es de origen animal

Nota. Realizado en base a Geldreich y Kenner (1969) y a las recomendaciones de Meeroff *et al.* (2008).

Nivel de eutrofización en base a las bacterias heterótrofas

Según Miravet (2003), propuso determinar los niveles de eutrofización en base a las bacterias heterótrofas a diferentes condiciones ambientales, esto se puede entender desde un ecosistema donde existe bajas concentraciones de materia orgánica hasta un enriquecimiento excesivo de materia orgánica (provocando condiciones anóxicas). Estas categorías se describen a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2*Condiciones de eutrofización por bacterias heterótrofas*

Bacterias heterótrofas	Categorías
4,0 - 80 UFC/mL	Condiciones oligotróficas con tendencias mesotróficas
80,1 - 6 500 UFC/mL	Condiciones mesotróficas
6 500,1 - 27 000 UFC/mL	Condiciones mesotróficas con tendencias eutróficas
27 000,1 - 120 000 UFC/mL	Condiciones eutróficas

Nota. Realizado en base a Miravet (2003).

1.2.7. Interpolación espacial

La interpolación espacial permite estimar datos ausentes donde no fueron muestreados, basándose de los datos muestreados dentro del área o sitio de estudio (Johnston *et al.*, 2001). Esta interpolación espacial sería confiable y veraz al utilizar los sistemas de información geográfica (SIG), ya que a partir de ello se puede generar modelos, desarrollar técnicas de interpolación, realizar cálculos, entre otros (Madrid y Ortiz, 2005). Dentro los SIG existen diversos métodos de interpolación, por ello, no existe un método recomendable o adecuado. De manera general se debe considerar los ajustes en sus parámetros, las características de la

superficie, la calidad de datos, tipo de método de interpolación, entre otros (Olaya, 2020). Entre los diversos métodos se pueden dividir en dos grupos, basándose en sus modelos matemáticos, el primero es el método determinístico o no-geoestadísticos y el segundo es el método estocástico o geoestadísticos (Johnston *et al.*, 2001; García, 2016).

Métodos determinísticos

Este método permite designar valores dentro de la superficie, basándose en el grado de similitud o el suavizado (Johnston *et al.*, 2001). Asimismo, se clasifican según las cantidades de datos recopilados, la primera son llamados Deterministas Globales o el polinomio global, la segunda son los deterministas locales, donde se subdividen en la técnica interpolación ponderada de distancia inversa (IDW), polinomio local y funciones en base radial (Johnston *et al.*, 2001; García, 2016). Dentro de estas técnicas pueden predecir valor exactos e inexactos, es decir, una interpolación exacta es la estima un valor idéntico al valor real y una interpolación inexacta estima un valor diferente a lo real. Las técnicas inexactas son polinomios globales y locales, mientras las técnicas exactas son las funciones de base radial y IDW (Johnston *et al.*, 2001).

La técnica *Inverse distance weighting* (IDW), llamado en español Interpolación Ponderación de distancia inversa, es una técnica rápida, exacta, no necesita decisiones para generar un modelo. Además, esta técnica se basa que los puntos que estén más cerca al punto que se va a predecir serán más similares de las que están más lejos, es decir, para predecir o estimar los valores de uno o varios puntos se tendrá en cuenta la distancia. Para obtener un correcto resultado usando IDW con la herramienta *Geostatistical Analyst* (a través del programa ArcGIS) se debe tener en cuenta que los puntos muestreados se distribuyan uniformemente, no estén agrupados dentro del área de estudio, la vecindad de búsqueda, el parámetro de potencia “p” y el factor de anisotropía (Johnston *et al.*, 2001).

Métodos geoespaciales

Este es un método de interpolación geoestadísticos o estocásticos, del cual se basa en la autocorrelación entre sus puntos de muestreo y toman en cuenta los que están a su alrededor (Johnston *et al.*, 2001). Por ello, el grado y el tipo de autocorrelación son esenciales, para luego aplicar alguna técnica de interpolación estocástico (García, 2016). Este método no solo genera superficies de estimación, si no superficies de error, del cual indica cuan correcta ha sido la estimación. Las variantes del *Kriging* son *Kriging* ordinario, simple, universal, de probabilidad, indicador y disyuntivo, además, la técnica de *cokriging* (Johnston *et al.*, 2001).

La palabra *Kriging*, proviene de origen francés como *Krigeage*, pero más conocido en la traducción inglesa, tal y como se mencionó a un inicio (Olaya, 2020). Esta es una técnica geoestadística o escolástica, donde se destaca por ser una técnica rápida, exacta cuando no tienen error y suavizada cuando se tiene errores, permitiendo generar la autocorrelación espacial (Johnston *et al.*, 2001), también esta técnica se aplica de manera global o local (Olaya, 2020). Por otro lado, puede ser muy compleja porque se debe tomar una correcta de decisión con respecto al manejo de los datos, además se respaldan de modelos estadísticos y matemáticos que permiten generar superficies o mapas de predicción, error estándar, mapas de cuantiles y probabilidad, esto es lo que diferencia y separa al *Kriging* del método determinista. Para la generación del modelo *Kriging* se necesita la estructura de los datos, es decir, el variograma para justar los datos al modelo y generar una predicción (Johnston *et al.*, 2001).

El *Kriging* ordinario (KO) es el principal y más usado, además su característica principal es evitar los sesgos, es decir, las desviaciones y estimados de los datos reales sean completamente nulos, así disminuyendo los errores (Moreno, 2007, como se citó en Romero, 2015). Estos métodos determinísticos y geoespaciales se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Comparación de los métodos de Interpolación espacial

Método	Técnica	Tipos de superficies de salida	Tiempo de computación / de modelado*	Interpolador exacto	Ventajas	Desventajas	Suposiciones**
Determinísticos	Ponderación de distancia inversa (IDW)	Predicción	Rápido/rápido	Sí	Pocas decisiones de parámetros.	Sin evaluación de errores de predicción; produce “ojos de buey” alrededor de las ubicaciones de los datos.	Ninguna
Geospaciales	Kriging	Predicción; errores estándar de predicción; probabilidad; cuantil moderadamente	Rápido/más lento	Sí, sin error de medición; No, con error de medición	Muy flexible; permite la evaluación de la autocorrelación espacial; puede obtener errores estándar de predicción; muchas decisiones de parámetros.	Necesita tomar muchas decisiones sobre transformaciones, tendencias, modelos, parámetros y vecindarios.	Los datos provienen de un proceso estocástico estacionario y algunos métodos requieren que los datos provengan de una distribución normal.

Nota. *El tiempo de computación es el tiempo de procesamiento informático para crear una superficie. El tiempo de modelado incluye el tiempo de procesamiento del usuario para tomar decisiones sobre los parámetros del modelo y buscar vecindarios. **Suponemos que todos los métodos predicen una superficie uniforme a partir de datos ruidosos. Fuente traducida al español (Johnston *et al.*, 2001).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El trabajo de investigación fue de tipo no experimental de corte transversal, de alcance descriptivo correlacional y de enfoque cuantitativo. Hernández *et al.* (2014) afirma que el estudio tipo no experimental de corte transversal, hace referencia que no se manipuló ni controló las variables de interés; sino que se observaron tal como se presentaban en la realidad para estudiarlos en un momento determinado. El alcance fue descriptivo correlacional, ya que se buscó caracterizar las variables y explorar la asociación entre ellas. El enfoque fue cuantitativo, ya que se utilizó datos numéricos y análisis estadísticos para procesar los datos. En base a ello, el estudio recolectó datos de campo (conductividad, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), salinidad, temperatura) y datos obtenidos del laboratorio (nitrógeno total, fósforo total, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp., bacterias heterótrofas) para evaluar el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla durante el año 2021.

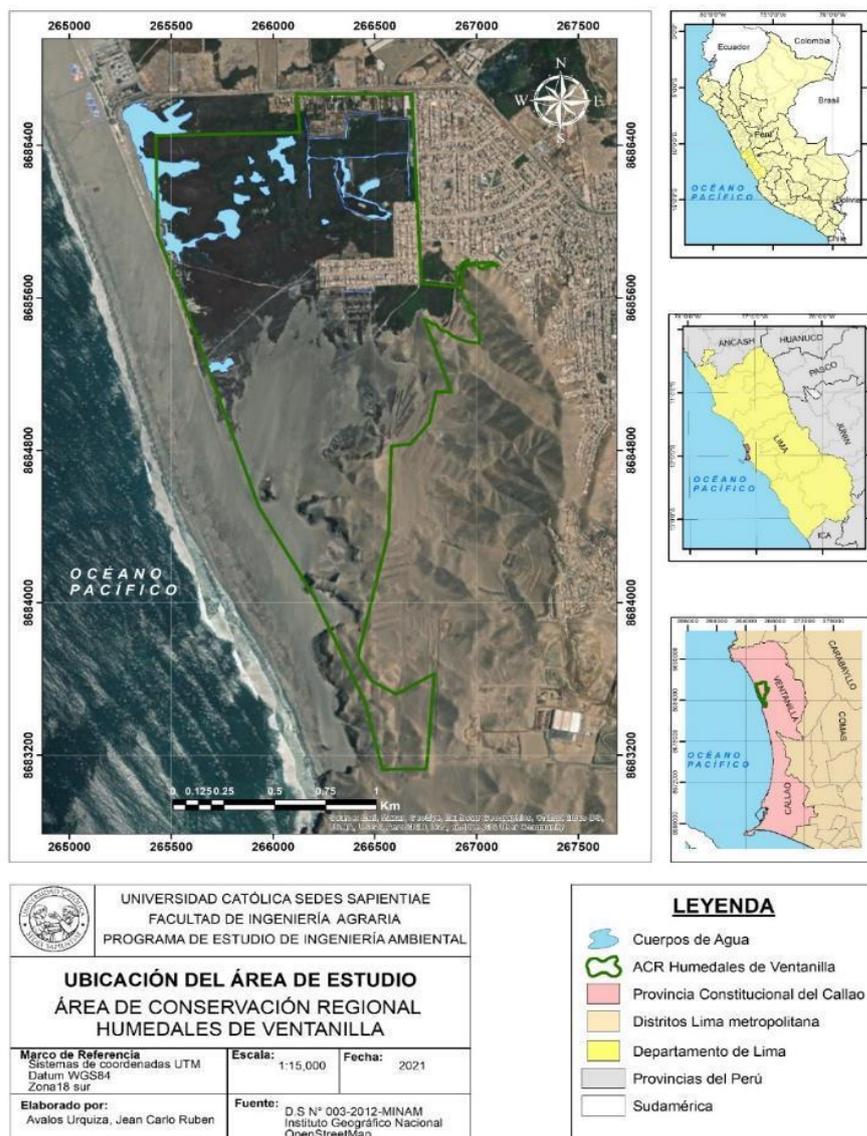
2.2. Lugar y fecha

El área de estudio, ACR Humedales de Ventanilla (Figura 1), está situada en la parte centro occidental del distrito de Ventanilla, región Callao. Las coordenadas en el sistema UTM WGS 84 revelan que su ubicación se extiende desde los puntos 266538,1867 E; 8683125,3189 N y 266113,3948 E; 8686669,1381 N en la zona 18 sur (Decreto Supremo N° 003-2012-MINAM). Sus coordenadas geográficas son 77° 9' 12,24" - 77° 8' 16,8" longitud oeste y 11° 16' 41,8794" - 11° 54' 15,4794" latitud sur, cabe mencionar que el ACR abarca con una superficie de 275,45 hectáreas. Sus límites políticos por el este se encuentra la avenida Miguel Grau (Boquerón) que delimita con el asentamiento humano (A.H.) Defensores de la Patria, por el norte la Avenida La Playa – Balneario Costa Azul, por el sur las zonas eriazas de las estribaciones finales de los cerros Colinar y los Perros, finalmente hacia el oeste con las Playas de Ventanilla - Océano Pacífico (GORE Callao, 2009).

El estudio se llevó a cabo del 14 al 15 de julio (época húmeda o de lluvia) y del 15 al 16 de diciembre (época seca) del año 2021 en la pandemia SARS-CoV-2. Durante estos periodos, se evaluó los 8 cuerpos de agua superficial que comprenden en 4 espejos de agua y 4 canales de agua, cuyas evaluaciones se midieron en campo y laboratorio, obteniendo información necesaria para estimar el estado de los recursos hídricos del ACR Humedales de Ventanilla.

Figura 1

Ubicación de la zona de estudio



2.3. Población y muestra

La población del estudio está conformada por 15 ecosistemas acuáticos (entre lagunas y canales) que integran el ACR Humedales de Ventanilla.

La muestra del estudio está compuesta por 8 ecosistemas acuáticos del ACR Humedales de Ventanilla; localizados cerca de los centros poblados y el mar (Véase Figura 2).

Figura 2

Ubicación de las estaciones de muestreo



En relación con el muestreo de aguas, se utilizaron 10 estaciones existentes en esos ecosistemas; tomando en consideración la profundidad, distancia a la orilla del mar y las fuentes de contaminación (Tabla 4). En cada estación se obtuvo tres muestras de agua, en dos periodos distintos.

Tabla 4

Descripción de las estaciones de muestreo

Estaciones de muestreo	Coordenadas		Cuerpos de agua	Observación
	Este	Norte		
M-1	266683	8686532	Canal cerco*	Frente A.H. Defensores de la Patria
M-2	266668	8686350	Filtro de agua*	Manante de agua
M-3	266182	8686338	canal 3*	Canal principal
M-4	266362	8686222	Pisciplaya**	Uso público
M-5	266503	8686189	Pisciplaya**	Uso público
M-6	266531	8686067	Pisciplaya-Valle Verde**	Invasión
M-7	265432	8686077	Playa Costa Azul**	Zona sur del boulevard
M-8	266256	8686004	Espejo central 2 **	Frente A.H. Valle Verde
M-9	266490	8685637	Canal Valle Verde 5D1*	Frente al colegio inicial
M-10	265751	8685243	Espejo rojo**	Cerca de la playa

Nota. Adaptado de las estaciones de referencia de Fajardo (2018) y GORE Callao (2009). *Canales de agua. **Espejos de agua.

2.4. Técnicas e instrumentos

Para la recolección de agua de las 10 estaciones de muestreo se apoyó a través del Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016), del cual indicaba los procedimientos para la obtención de la muestra, los tipos y medidas de los frascos para cada parámetro, las etiquetas para los frascos, la ficha de registro de datos de los parámetros fisicoquímicos, la ficha de cadena de custodia. Para el análisis de las muestras de agua medidos en campo se usó el multiparámetro HQ40d y para los análisis medidos en laboratorio fue ejecutada en base al *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2017), los resultados de estos parámetros (indicadores bacteriológicos, nitrógeno total y fósforo total) fueron entregados a través del informe de laboratorio por Servicios Analíticos Generales.

La interpretación de los resultados fue comparada con la norma peruana ECA para agua en la categoría 4-E1 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). Para la interpretación de las relaciones entre *Escherichia coli*/coliformes termotolerantes (USEPA, 2002), *Escherichia coli*/ *Enterococcus* sp. (Geldreich y Kenner, 1969; Meeroff *et al.*, 2008) y niveles tróficos con bacterias heterótrofas (Miravet, 2003) fueron procesados con el programa MS Excel. Para el análisis de interpolación espacial se utilizó la herramienta *Geostatistical Analyst* a través del programa ArcGIS (Johnston *et al.*, 2001), de esta manera se ubicó las estaciones de muestro con mayores zonas de riesgo que superaban los límites del ECA para agua.

2.5. Materiales y equipos

2.5.1. Materiales de campo para el monitoreo

Los materiales utilizados en la investigación fueron el mapa de ubicación de las estaciones de muestreo, frascos de vidrio, frascos de plástico, balde de plástico transparente (5 L), pizeta, *cooler*, refrigerantes (*ice pack*), agua destilada, etiquetas para los frascos de vidrio y plástico que se emplearon en la colecta de las muestras de agua, fichas de campo (registro de datos y cadena de custodia), cinta adhesiva transparente, tablero de madera, lapiceros, plumón indeleble, papel tisú, bolsa de residuos sólidos (bolsa negra), repelente de mosquitos y bloqueador solar. Por el motivo del aislamiento social durante la pandemia de covid-19, se tuvo que implementar medidas de bioseguridad e indumentaria de protección, para lo cual se utilizó guantes desechables, mascarillas, gafas o careta facial, chaleco, traje para agua (vadeador) y musleras de jebe.

2.5.2. Equipos de campo para el monitoreo

Los equipos utilizados en la fase de monitoreo fueron los siguientes: brazo metálico muestreador o extensor, cámara fotográfica, geolocalizador Garmin eTrex 20 y multiparámetro de dos entradas HQ40d de Hach.

2.5.3. Materiales y equipos para el posmonitoreo

Los materiales utilizados en la fase de posmonitoreo fueron papel bond A4, lapiceros, computadora, impresora, escáner, programas Microsoft Excel, Word, Power Point, SPSS

versión 23 y ArcGIS. Además, para los análisis realizados en laboratorio de SAG, se tuvo en cuenta los requerimientos (entre materiales y equipos) por *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA *et al.*, 2017).

2.6. Descripción de la investigación

La investigación se realizó en base a diferentes etapas o fases de monitoreo sugerido por Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Se consideraron tres fases (premonitoreo, monitoreo y posmonitoreo) que se detallan en lo siguiente:

2.6.1. Fase de premonitoreo

- Se recopiló información de antecedentes de estudio del ACR Humedales de Ventanilla e información sobre ecosistemas similares con referente al objetivo de estudio.
- Se realizó el permiso correspondiente al Gobierno Regional del Callao para realizar investigación y luego remitieron la carta de autorización (ver Apéndice 1).
- Se identificaron y delimitó del área de estudio para reconocer las estaciones de muestreo establecidas en el plan maestro y agregando otras estaciones, teniendo como referencia los antecedentes, de esta manera escoger las que se asemejan al objetivo de la investigación.
- Se elaboró de un mapa ubicando las 10 estaciones de muestreo con su codificación, como se describe en la Tabla 4 y Figura 2.
- Se estableció de la frecuencia de monitoreo, realizándose durante el mes de julio (época húmeda) y diciembre (época seca) del 2021.
- Se estableció los parámetros que se medirán *in situ* (conductividad eléctrica, pH, Oxígeno disuelto, salinidad, temperatura) y en laboratorio (nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas).
- Se realizó un listado entre materiales y equipos necesarios para el monitoreo como se mencionó en el presente documento en la sección 2.5.1 y 2.5.2. Cabe mencionar que al equipo multiparámetro se les realizó previamente la calibración y verificación correspondiente a las sondas de electrodos (ver Apéndice 2, 3 y 4). Así mismo, se tuvo

en cuenta los materiales y equipos para el posmonitoreo como se menciona en la sección 2.5.3 del presente documento.

- Antes de acudir al monitoreo se rotuló y etiquetó cada frasco, de esta manera, se acelerar el proceso en la toma de muestra y evitar confusión (ver Apéndice 5).

2.6.2. Fase de monitoreo

Reconocimiento del entorno y georreferenciación con el geolocalizador

Se reconoció y se ubicó las estaciones de muestreo a través del mapa elaborado en la fase de premonitoreo y con la ayuda del geolocalizador GPS GARMIN eTrex 20, se localizó las estaciones. Según Garmin (2020), para el uso del equipo se debe tener en cuenta lo siguiente. Al inicio se enciende el dispositivo y se espera a que capte las señales del satélite, donde el estado de la señal se puede visualizar en la página del mapa o en la barra de estado. Para luego acceder al menú principal y seleccionar la opción *waypoint*, donde muestra los detalles sobre la ubicación actual (en coordenadas UTM) y la altitud (m s.n.m). Además, se asignó el nombre de la estación de muestreo, por ejemplo, M1. Para después pulsar en la opción “hecho”, así guardándose los datos de la estación. Por otro lado, para volver a localizar la estación de muestreo, se ingresa a la opción de *waypoint manager* y buscar la estación guardada, del cual se proyectó el punto en un mapa. De esta manera, se identificó las estaciones, se obtuvo las coordenadas y altitud de las estaciones de muestreo, como también se identificó sus condiciones de la estación antes de la toma de muestra (ver Apéndice 6).

Mediciones de parámetros de campo

El muestreo se ejecutó según Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, sirviendo como guía estandarizada. Se recolectó la muestra de agua superficial en un balde de 5 L para analizar los parámetros fisicoquímicos que se medirán *in situ* son la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), salinidad y temperatura (ver Apéndice 7). Seguidamente, se midió con el multiparámetro HQ40d de Hach (ver Apéndice 8) y se anotó los valores en la ficha de registro de campo (ver Apéndice 9 y 10). Al concluir cada medición de los parámetros fisicoquímicos, se lavó con agua destilada los electrodos del multiparámetro y secándose con papel tisú, de esta manera, evitar las lecturas erróneas.

Además, cada vez que se recolectaba agua con el balde se esparció cerca del perímetro de la estación de muestreo.

Procedimiento para la Toma de muestra de agua

En primera instancia, se realizó la toma de muestra para los parámetros de nitrógeno total y fósforo total (ver Apéndice 11), del cual se tuvo en cuenta las siguientes recomendaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA):

- Se utilizó los frascos de plástico de 500 mL.
- Se retiró la tapa del frasco de plástico sin tocar la superficie interna del mismo.
- Se enjuagó el frasco con el agua del punto de muestreo como mínimo dos veces.
- Al recolectar la muestra, el frasco se sumergió de 20 a 30 cm de profundidad con respecto a la superficie del cuerpo de agua.
- La recolección de la muestra fue lo más cerca posible al centro del cuerpo de agua para evitar crear resultados atípicos (Minnesota Pollution Control Agency, 2015), luego de tomar la muestra se procedió a cerrar el frasco dejando un espacio del 1 % de la capacidad del frasco para los que requieran preservante. En este caso, se utilizó 20 gotas de ácido sulfúrico (H₂SO₄).
- Se procedió a almacenar las muestras en el *cooler* con los refrigerantes.

En segunda instancia, la toma de muestras para las bacterias indicadoras como coliformes termotolerantes (CF), *Escherichia coli* (EC), *Enterococcus* sp. (ENT) y bacterias heterótrofas (BH) (ver Apéndice 12), se tuvo las siguientes indicaciones:

- Se recolectó en frascos de vidrio de 250 mL.
- Se evitó enjuagar el frasco con el agua del punto de muestreo. El frasco fue previamente esterilizado en la autoclave.
- Al recolectar la muestra, el frasco fue sumergido y abierto debajo del agua a unos 20 cm a 30 cm de profundidad con respecto a la superficie del cuerpo de agua.
- Se dejó un espacio del 10 % de volumen para suministrar oxígeno a las bacterias y se cerró el frasco.

- Además, en cada estación de monitoreo se llenó los registros de la cadena de custodia para los parámetros analizados en campo y en laboratorio (ver Apéndice 13 y 14).

Preservación, almacenamiento, conservación y transporte

Se necesitó dos *cooler* medianos para campo y un *cooler* grande que funcionaba como almacenamiento final al terminar ciertas estaciones de muestreo. Al finalizar cada toma de muestra de agua, se procedió a almacenar en un recipiente térmico (*cooler*) con refrigerante para mantener una temperatura adecuada. Siendo transportados las muestras de agua en el laboratorio el mismo día junto con su cadena de custodia (ver Apéndice 15).

2.6.3. Fase de posmonitoreo

Análisis en el laboratorio

Los análisis se basaron en el *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA *et al.*, 2017), donde dichos procedimientos fueron realizados en el laboratorio Servicios Analíticos Generales (SAG) acreditado por el Instituto Nacional de Calidad - INACAL. Mediante ello, el procedimiento para nitrógeno total se usó el método *Kjeldahl*, fósforo total con el método del ácido ascórbico de fósforo, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp. con la técnica de fermentación por tubos múltiples, además las bacterias heterótrofas usaron la técnica de placa fluida (*pour plate method*). Tales procedimientos se muestran en el Apéndice 16, 17, 18, 19, 20 y 21.

Revisión de datos

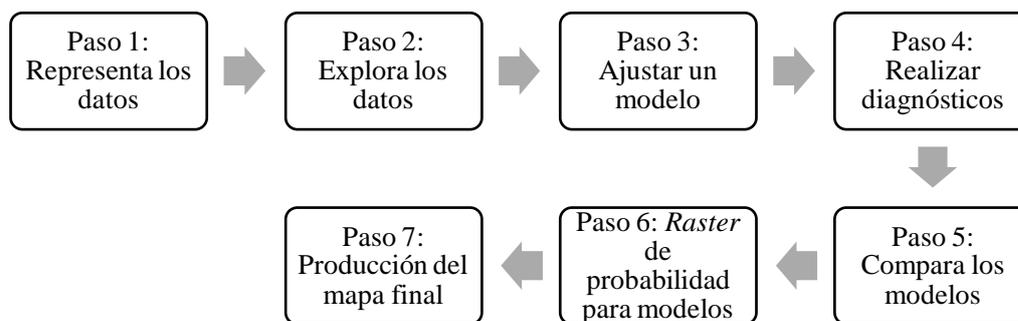
Se realizó la interpretación de los datos recolectados en campo (parámetros fisicoquímicos) y del informe de laboratorio otorgado por el Laboratorio SAG (ver Apéndice 22 y 23), todo ello fue comparado con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del ECA para agua en la categoría 4-E1: Conservación del ambiente acuático (ver Apéndice 24). Además, se realizaron las relaciones entre bacterias como *Escherichia coli*/coliformes termotolerantes (EC/CF), *Escherichia coli*/ *Enterococcus* sp. (EC/ENT) y se evaluó el nivel de eutrofización a través de bacterias heterótrofas, como se describe en la sección 1.2.6. del presente documento. Por último, se generó isolíneas de los parámetros fisicoquímicos y de bacterias

indicadoras en las 10 estaciones de muestreo mediante la herramienta *Geostatistical Analyst* en el *software* ArcGIS. Dicho procedimiento se muestra en la Figura 3.

El procedimiento comenzó con la representación de los datos (se agrega las capas de los parámetros), la exploración de datos, el ajuste del modelo (se realizó la interpolación de cada parámetro con IDW y KO), la realización del diagnóstico (la herramienta de validación cruzada ayudará a comprender el modelo mediante el *QQplot* y errores), comparación de los modelos (para elegir el mejor modelo se comparó las validaciones cruzadas mediante el *Mean Error* [ME] debiendo estar cercano a cero, el *Root Mean Square* [RMS] deben ser menor posible comparando entre métodos de interpolación), *Raster* de probabilidad para modelos (se visualiza las concentraciones) y como último paso con el programa ArcGIS se elaboró el mapa de interpolación (Johnston *et al.*, 2008) con sus respectivas isolíneas para cada parámetro físicoquímico y bacterias indicadoras en función al ECA para agua, observando la distribución espacial de las zonas de riesgo (mayores niveles de concentración de los parámetros de estudio).

Figura 3

Metodología para la generación de superficies con Geostatistical Analyst



Nota. Pasos de la metodología proporcionado de Johnston *et al.* (2008)

2.7. Identificación de las variables y su mensuración

En el estudio se consideró los parámetros fisicoquímicos, nutrientes y bacterias indicadoras para conocer el estado de conservación del recurso hídrico superficial. En la Tabla 5 se presentó las variables, metodología, límite de cuantificación, unidades y referencias.

Tabla 5

Parámetros de estudio de las estaciones de muestreo

VARIABLES	METODOLOGÍA	L.C.	UNIDADES	REFERENCIA	
Conductividad eléctrica	Conductimetría	10 a 200 000	µS/cm		
Oxígeno disuelto	Electrodo LDO	0,1 a 20	mg/L	Manual de usuario del multiparámetro HQ40d (Hach, 2020)	
Potencial de hidrógeno	Potenciómetro	2,0 a 14	Unidad de pH		
Salinidad	Conductimetría	0,0 a 42	ppm (%)		
Temperatura	Termómetro	-10,0 a 110,0	°C		
Fósforo total	Método de ácido ascórbico	0,013	P mg/L	Part 4500 –P E	Guía del <i>Standard methods, for the examination of water and wastewater,</i> 23 edition (APHA <i>et al.</i> , 2017)
Nitrógeno total	método <i>kjeldahl</i>	1,00	NH ₃ ⁺ -N mg/L	Part 4500 Norg-B	
Coliformes termotolerantes	Técnica de fermentación en tubos múltiples (FTM)	1,8*	NMP/100 mL	Part 9221 E-1	
<i>Enterococcus</i> sp.		1,8*	NMP/100 mL	Part 9230	
<i>Escherichia coli</i>		1,8*	NMP/100 mL	Part 9221 G item 2 B	
Bacterias heterótrofas	Técnica de placa fluida	1	UFC/mL	Part 9215 B	

Nota. L.C.=Límite de cuantificación. *Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

2.8. Análisis estadístico de datos

Para el análisis estadístico de los datos, en primer lugar, se empleó la estadística descriptiva como la media, desviación estándar, varianza, valores mínimo y máximo. Estos análisis permitieron ser presentados en tablas y gráficos.

En segundo lugar, se realizó el análisis de distribución normal mediante el test de Shapiro-Wilks, para determinar si se ajustaban o no a una normalidad, con un nivel de confianza del 95 %. Donde la hipótesis nula (H₀) significa que los datos tienen a una distribución normal

y la hipótesis alterna (H_1) significa que los datos no tienen una distribución normal. Según Flores (2017), si algunos de los parámetros indican una no normalidad, se debería rechazar la H_0 y aceptar la H_1 ; es decir, tienden a una distribución no normal. Cabe mencionar que las variables ambientales frecuentemente no siguen una distribución normal, por lo que recomiendan no transformar los datos y usar el enfoque no paramétrico (Helsel, 1987; Flores, 2017; Acevedo, 2021).

En tercer lugar, se desarrolló el coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman (ρ), para establecer si existía una relación significativa ($p < 0,05$) entre los parámetros fisicoquímicos y las bacterias. Por último, se realizó el coeficiente de determinación (R^2) para evaluar la linealidad entre las bacterias indicadoras (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas). Estos datos fueron evaluados, analizados e interpretados mediante el programa SPSS versión 23 y Microsoft Excel.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

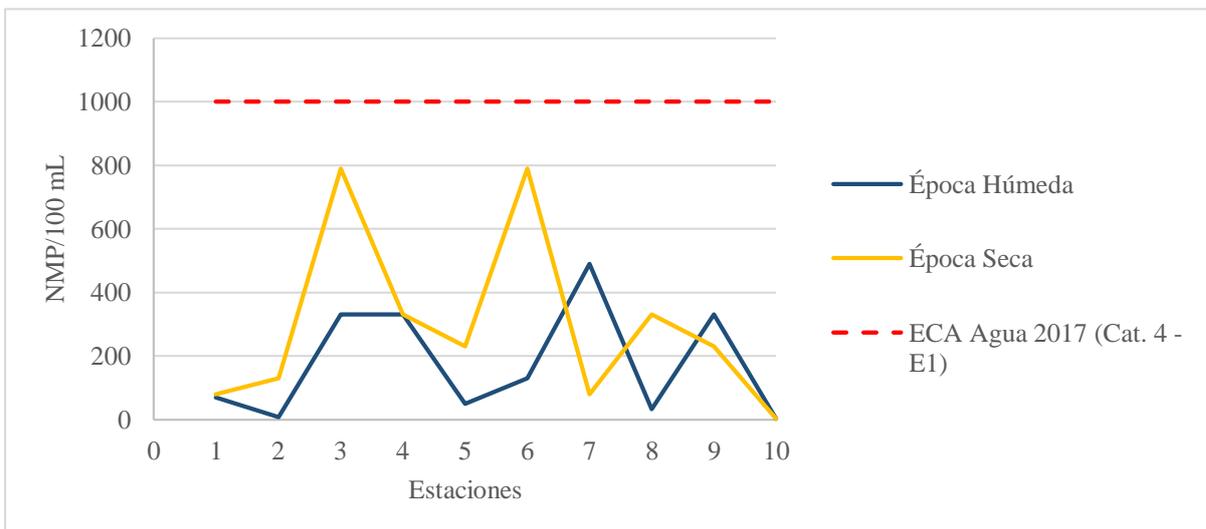
Se realizaron dos campañas de muestreo en julio y diciembre de 2021 en diez estaciones del ACR Humedales de Ventanilla para evaluar la calidad del agua. Se midieron parámetros tanto en el campo como en laboratorio, y los resultados se compararon con los estándares de conservación acuática del ECA para agua, conforme al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

3.1. Bacterias indicadoras de contaminación

La numeración de coliformes termotolerantes en las campañas de monitoreo (Figura 4) no sobrepasaron los límites del ECA para agua en la categoría 4-E1 (< 1 000 NMP/100 mL).

Figura 4

Numeración de coliformes termotolerantes



En la Tabla 6 se detalla la estadística de los coliformes termotolerantes, donde la media aritmética aumentó entre cambio de temporadas. Se obtuvo en la época húmeda una media de 177,16 NMP/100 mL, luego el valor mínimo fue < 1,80 NMP/100 mL y el valor máximo de 490 NMP/100 mL. Mientras en la época seca con una media de 298,98 NMP/100 mL, el

valor mínimo de < 1,80 NMP/100 mL y máximo de 790 NMP/100 mL. La época más homogénea se encuentra en la época seca (Coeficiente de variación [CV] = 93,8 %), seguidamente de la época húmeda (CV = 99,3 %).

Tabla 6

Resumen estadístico de coliformes termotolerantes

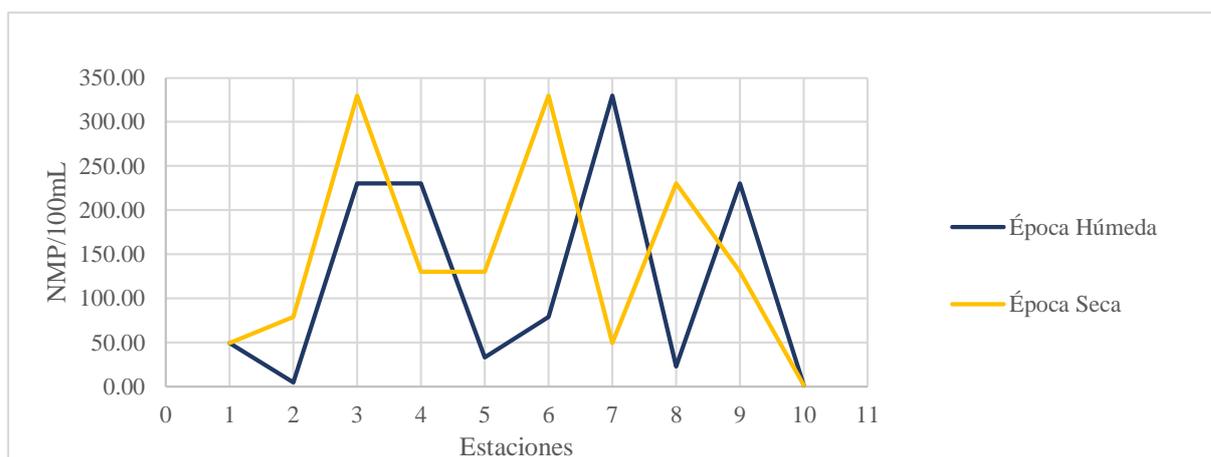
Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	177,160	175,846	30 921,936	< 1,80	490,00
Seca	298,980	280,336	78 588,315	< 1,80	790,00

Nota. DE= Desviación estándar

Según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del ECA para agua, al no existir el valor máximo para *Escherichia coli* en la categoría 4-E1, por lo cual no ha sido comparado con la normativa. Por otro lado, en la Figura 5 se muestra la presencia de *Escherichia coli* en casi todas las estaciones (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 y M9) por su cercanía a AA.HH., excepto en la M10 (coincide con la numeración de coliformes fecales) reportando niveles bajos de detección del método (< 1,8 NMP/100 mL).

Figura 5

Numeración de Escherichia coli



En la Tabla 7 se detalla la estadística del *Escherichia coli*, donde la media aritmética aumentó entre cambio de época húmeda (121,03 NMP/100 mL) y época seca (145,88 NMP/100 mL).

El valor mínimo y máximo coincidieron en ambas épocas desde < 1,80 a 330 NMP/100 mL.

La época más homogénea se encuentra en la época seca (CV = 79 %), seguidamente de la época húmeda (CV = 99,8 %).

Tabla 7

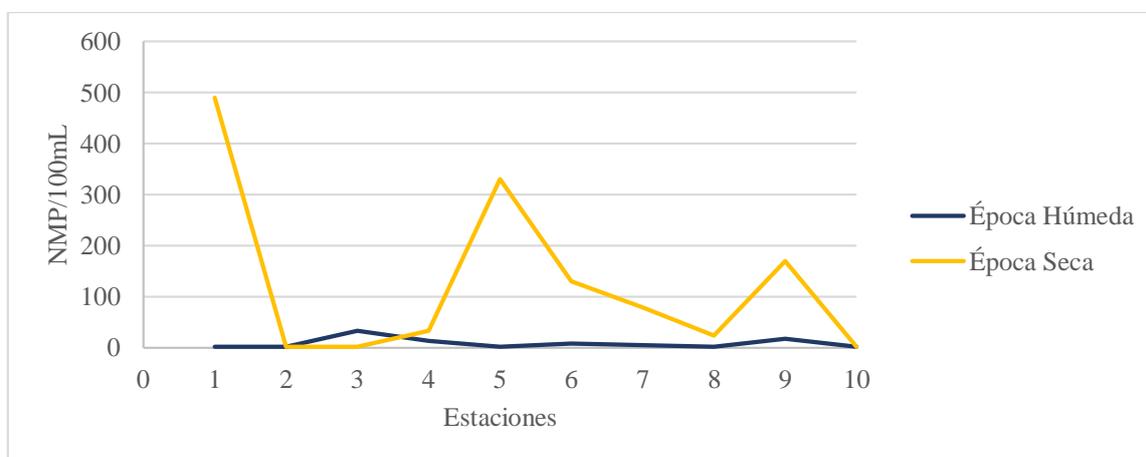
Resumen estadístico de Escherichia coli

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	121,03	120,83086	14 600,098	< 1,80	330,00
Seca	145,88	115,29503	13 292,944	< 1,80	330,00

En la Figura 6 se muestra la presencia de *Enterococcus* sp. por lo menos en una época de muestreo de cada estación (M1, M3, M4, M5, M6, M7, M8 y M9). Además, este parámetro no está establecido dentro de la normativa ECA para agua en la Categoría 4-E1 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Figura 6

Numeración de Enterococcus sp.



En la Tabla 8 se detalla la estadística del *Enterococcus* sp., donde la media aritmética aumentó entre cambio de temporadas. Asimismo, durante la época húmeda se obtuvo una media de 8,45 NMP/100 mL, un valor mínimo de < 1,80 NMP/100 mL y un valor máximo de 33 NMP/100 mL. Mientras que en la época seca con una media de 126,04 NMP/100 mL, el valor mínimo y máximo osciló de < 1,80 a 490 NMP/100 mL. La época más homogénea es la época húmeda (CV = 120,4 %), seguidamente la época seca (CV = 130,6 %).

Tabla 8

Resumen estadístico de Enterococcus sp.

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	8,45	10,170	103,447	< 1,80	33
Seca	126,04	164,589	27 089,767	< 1,80	490

Las Figuras 7 y 8 muestran la presencia de bacterias heterótrofas en ambas épocas de muestreo, se detectaron bacterias heterótrofas, alcanzando el mayor número en la estación M3 durante la temporada húmeda, lo que indica eutrofización. Este parámetro no está incluido en la normativa del ECA para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Figura 7

Recuento de bacterias heterótrofas durante la época húmeda

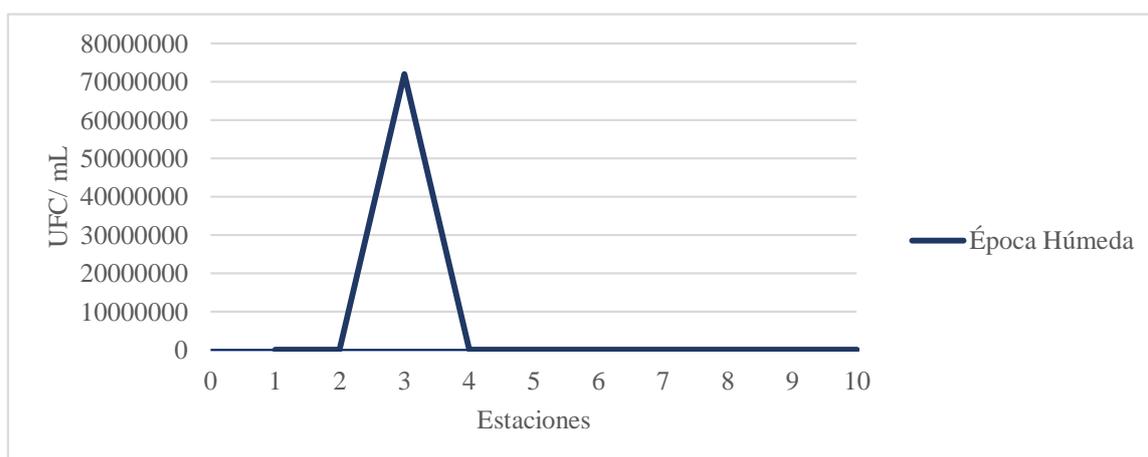
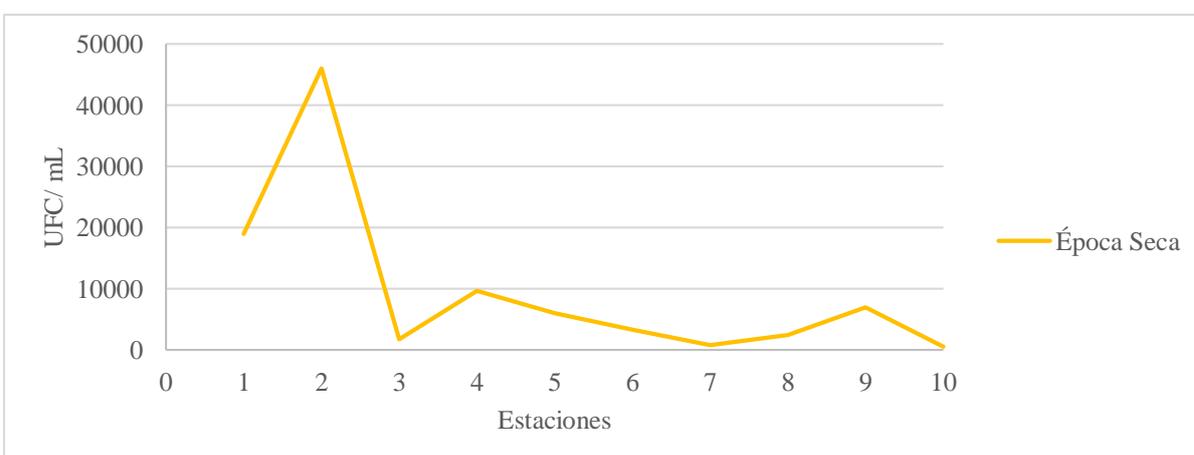


Figura 8

Recuento de bacterias heterótrofa durante la época seca



En la Tabla 9 se detalla la estadística de bacterias heterótrofas, donde la media aritmética disminuyó entre cambio de temporadas. Asimismo, en la época húmeda tuvo una media de 7 200 960 UFC/mL, valor mínimo de 110 UFC/mL y valor máximo de 72 000 000 UFC/mL. Mientras que en la época seca con una media de 9 666 UFC/mL, el valor mínimo y máximo osciló de 580 a 46 000 UFC/mL. La época más homogénea se encuentra en la época seca (CV = 144,0 %), seguidamente de la época húmeda (CV= 316,2 %).

Tabla 9

Resumen estadístico de bacterias heterótrofas

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	7 200 960	22 768 061,884	518 384 641 994 378,000	110	72 000 000
Seca	9 666	13 916,813	193 677 693,333	580	46 000

3.1.1. Análisis estadístico de las bacterias indicadoras

Para verificar si las bacterias reflejaron una distribución normal, se plantó las siguientes hipótesis, donde la hipótesis nula (H_0) expresa que las bacterias indicadoras de contaminación del agua tienden una distribución normal; y la hipótesis alternativa (H_1) expresa que las bacterias indicadoras de contaminación del agua no tienden una distribución normal. En la Tabla 10, según la prueba de Shapiro-Wilks, indicó que solo coliformes termotolerantes ($p > 0,05$) en la época húmeda y *Escherichia coli* ($p > 0,05$) en época seca cumplían con la normalidad, y las bacterias restantes en ambas épocas no cumplían una distribución normal. De esta manera, se observó que algunos de los datos no cumplían con la normalidad, es decir; que solo 3 de 4 bacterias indicadoras por época no cumplían con la normalidad ($p < 0,05$), por lo que se debió rechazar la H_0 y aceptar la H_1 .

Bajo esta perspectiva, se siguió las recomendaciones de otros estudios que utilizaban el enfoque no paramétrico para ver la variabilidad de la calidad del agua (Helsel, 1987; Rivera *et al.*, 2010; Flores, 2017; Acevedo, 2021). Por ello, se utilizó la correlación no paramétrica de Spearman (ρ). Los datos presentados en la Tabla 11, indicaron que existió correlaciones

positivas fuertes entre CF y EC de 1,000 ($p < 0,01$) y de 0,981 ($p < 0,01$), CF y ENT de 0,798 ($p < 0,01$), EC y ENT de 0,798 ($p < 0,01$), ENT y BH de 0,744 ($p < 0,05$).

Tabla 10

Prueba de distribución normal por Shapiro-Wilks de las bacterias indicadoras de contaminación y parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Época húmeda			Época seca		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Potencial de hidrogeno (pH)	0,944	10	0,593	0,872	10	0,104
Temperatura	0,816	10	0,023	0,690	10	0,001
Oxígeno disuelto	0,918	10	0,340	0,896	10	0,197
Conductividad eléctrica	0,834	10	0,037	0,535	10	0,000
Salinidad	0,815	10	0,022	0,607	10	0,000
Nitrógeno total	0,433	10	0,000	-	-	-
Fósforo total	0,720	10	0,002	0,721	10	0,002
Coliformes termotolerantes	0,851	10	0,060	0,826	10	0,030
<i>Escherichia coli</i>	0,840	10	0,044	0,887	10	0,158
<i>Enterococcus</i> sp.	0,734	10	0,002	0,791	10	0,011
Bacterias heterótrofas	0,366	10	0,000	0,679	10	0,000

Nota. Nitrógeno total en la época seca es constante, por ello fue omitido. gl=grados de libertad. Sig.=p-valor

Tabla 11

Correlación de Spearman de las bacterias indicadoras en ambas épocas

		Época Húmeda				Época Seca			
		CF	EC	ENT	BH	CF	EC	ENT	BH
CF	Coef.								
	Correl.	1,000	1,000**	0,798**	0,485	1,000	0,981**	-0,075	0,043
EC	Sig.		0,0	0,006	0,156		0,0	0,838	0,906
	Coef.								
EC	Correl.	1,000**	1,000	0,798**	0,485	0,981**	1,000	-0,038	0,000
	Sig.	0,0		0,006	0,156	0,000		0,918	1,000
ENT	Coef.								
	Correl.	0,798**	0,798**	1,000	0,744*	-0,075	-0,038	1,000	0,350
BH	Sig.	0,006	0,006		0,014	0,838	0,918		0,322
	Coef.								
BH	Correl.	0,485	0,485	0,744*	1,000	0,043	0,000	0,350	1,000
	Sig.	0,156	0,156	0,014		0,906	1,00	0,322	

Nota. * La correlación es significativa $p < 0,05$. ** La correlación es significativa $p < 0,01$. Coef. Correl. significa coeficiente de correlación. Sig. = p-valor

En la Tabla 12, se mostró el coeficiente de determinación (R^2) entre EC vs CF igual a 0,995 y 0,991 durante la época húmeda y seca, respectivamente, indicando que sus datos son muy semejantes.

Tabla 12

Coeficiente de determinación entre bacterias indicadoras

	Época Húmeda				Época Seca			
	CF	EC	ENT	BH	CF	EC	ENT	BH
CF	1	0,995	0,537	0,192	1	0,991	0,081	0,116
EC	0,995	1	0,555	0,195	0,991	1	0,084	0,113
ENT	0,537	0,555	1	0,513	0,081	0,084	1	0,04
BH	0,192	0,195	0,513	1	0,116	0,113	0,04	1

Esto significa que las variables $\log(\text{CF})$ y $\log(\text{EC})$ obtuvieron una linealidad positiva que están representadas mediante la ecuación lineal, como también mediante gráficos para ambas épocas (Ver Apéndice 25). La ecuación en la época húmeda es $\log(\text{EC}) = -0,09 + 0,97 \times \log(\text{CF})$, significa que este modelo representa el 99,5 % de variabilidad de datos. La ecuación en la época seca es $\log(\text{EC}) = 0,05 + 0,86 \times \log(\text{CF})$, que significa que este modelo representa el 99,1 % de variabilidad de datos. Donde es posible estimar los valores de $\log(\text{CF})$ y $\log(\text{EC})$ mediante estas ecuaciones.

3.2. Grado de contaminación, origen del residuo fecal y eutrofización en las estaciones de muestreo

3.2.1. Determinación del grado de contaminación

En la Tabla 13, se presentó las concentraciones de coliformes termotolerantes (CF), *Escherichia coli* (EC) y *Enterococcus* sp. (ENT). Luego, determinar el grado de contaminación se evaluó la relación EC/CF, del cual previamente se transformó a logaritmo las concentraciones de CF y EC. Tales valores se presentaron en la Tabla 14.

Tabla 13

Resumen de la numeración de coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus sp.*

Estaciones	CF		EC		ENT	
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
M1	70,00	79,0	49,00	49,0	< 1,80	490
M2	7,80	130,0	4,50	79,0	< 1,80	< 1,8
M3	330,00	790,0	230,00	330,0	33,00	< 1,8
M4	330,00	330,0	230,00	130,0	13,00	33
M5	49,00	230,0	33,00	130,0	2,00	330
M6	130,00	790,0	79,00	330,0	7,80	130
M7	490,00	79,0	330,00	49,0	4,50	79
M8	33,00	330,0	23,00	230,0	< 1,80	23
M9	330,00	230,0	230,00	130,0	17,00	170
M10	< 1,80	< 1,80	< 1,80	< 1,80	< 1,80	< 1,80

Nota. < 1,80 es el valor inferior al método de detección en NMP/100 mL.

Tabla 14

Resumen de la transformación en Log coliformes fecales y Log *Escherichia coli*

Estaciones	Log CF		Log EC	
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
M1	1,85	1,90	1,69	1,69
M2	0,89	2,11	0,65	1,90
M3	2,52	2,90	2,36	2,52
M4	2,52	2,52	2,36	2,11
M5	1,69	2,36	1,52	2,11
M6	2,11	2,90	1,90	2,52
M7	2,69	1,90	2,52	1,69
M8	1,52	2,52	1,36	2,36
M9	2,52	2,36	2,36	2,11
M10	0,26	0,26	0,26	0,26

En la estimación de EC/CF, se obtuvo una media de 0,909 (época húmeda) y 0,899 (época seca); es decir, existió un 90,9 y 89,9 % de coliformes fecales que fueron *Escherichia coli*, interpretándose como un alto grado de contaminación en el ACR Humedales de Ventanilla (Tabla 15).

3.2.2. Identificación del origen de la contaminación fecal

Para conocer el origen de la contaminación fecal se realizó la relación de EC/ENT (Tabla 15), del cual las estaciones de muestreo presentaron un patrón variado. Se obtuvo una fuente de contaminación de origen humano ($EC/ENT > 4,0$) en la época húmeda con 8 estaciones (M1, M3, M4, M5, M6, M7, M8 y M9) y en la época seca solo 3 estaciones (M2, M3 y M8). Con respecto a la fuente de contaminación fecal de origen mixto, durante la época húmeda la estación M2 y M10 presentaron contaminación mixta con predominio de desecho humano ($2,0 < EC/ENT < 4,0$) y animal ($0,7 < EC/ENT < 2,0$), respectivamente. En cambio, durante la época seca, la estación M4 y M6 estuvieron con predominio de desechos humanos, y la estación M9 y M10 con predominio de desecho animal. Para la fuente de contaminación de origen animal ($0,7 > EC/ENT$) se identificó 3 estaciones en la época seca (M1, M5, M7).

Tabla 15

Resumen de las relaciones entre bacterias en ambas épocas de muestreo

Estaciones	Log(EC/CF)		EC/ENT	
	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
M1	0,916	0,891	27,222	0,100
M2	0,732	0,898	2,500	43,889
M3	0,938	0,869	6,970	183,333
M4	0,938	0,839	17,692	3,939
M5	0,898	0,895	16,500	0,394
M6	0,898	0,869	10,128	2,538
M7	0,936	0,891	73,333	0,620
M8	0,897	0,938	12,778	10,000
M9	0,938	0,895	13,529	0,765
M10	1,0	1,0	1,0	1,0
Promedio	0,909	0,899	18,165	24,66

3.2.3. Evaluación del nivel de eutrofización

En la Tabla 16, se describió los conteos y las categorías de cada estación de muestreo con referente a las bacterias heterótrofas. En la época húmeda y seca no se encontró condiciones oligotróficas con tendencias mesotróficas (4,0 - 80,0 UFC/mL), en las condiciones mesotróficas (80,1 - 6 500,0 UFC/mL) se encontró 9 estaciones de muestreo de la época húmeda y 6 estaciones en la época seca, luego en la condición mesotróficas con tendencias eutróficas (6 500,1 - 27 000,0 UFC/mL) solo hubo en 3 estaciones de la época seca y

finalmente la estación M2 (época seca) y M3 (época húmeda) con condiciones eutróficas (27 000,1 - 120 000,0 UFC/mL).

Tabla 16

Conteo de bacterias heterótrofas en las dos épocas de muestreo y promedio

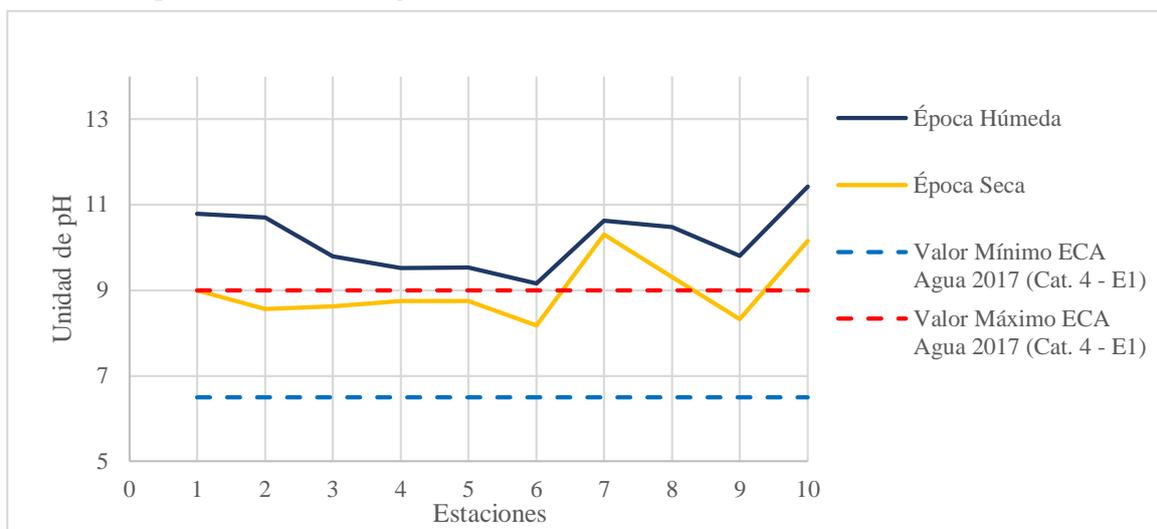
Estaciones	Húmeda	Bacterias heterótrofas (UFC/mL)		Interpretación
		Interpretación	Seca	
M1	550	Mesotróficas	19 000	Mesotróficas con tendencias eutróficas
M2	670	Mesotróficas	46 000	Eutróficas
M3	72 000 000	Eutróficas	1 800	Mesotróficas
M4	600	Mesotróficas	9 700	Mesotróficas con tendencias eutróficas
M5	890	Mesotróficas	6 000	Mesotróficas
M6	810	Mesotróficas	3 300	Mesotróficas
M7	610	Mesotróficas	780	Mesotróficas
M8	460	Mesotróficas	2 500	Mesotróficas
M9	4 900	Mesotróficas	7 000	Mesotróficas con tendencias eutróficas
M10	110	Mesotróficas	580	Mesotróficas
Promedio	7 200 960	Eutróficas	9 666	Mesotróficas con tendencias eutróficas

3.3. Parámetros fisicoquímicos del ACR Humedales de Ventanilla

El gráfico presentado en la Figura 9 indicó que el Potencial de Hidrógeno (pH) en ambas épocas (húmeda y seca) estuvieron fuera del rango permitido por el ECA para agua en la Categoría 4-E1 (6,5 – 9,0 unidades pH), excepto en algunas estaciones de la época seca (M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M9).

Figura 9

Unidad de potencial de hidrógeno



En la Tabla 17 se detalla la estadística del pH, donde la media aritmética del pH disminuye al cambio de temporada. En la época húmeda una media de 10,181; el valor mínimo de 9,16 y un valor máximo de 11,42. Mientras que en la época seca con una media de 8,995; el valor mínimo de 8,18 y un valor máximo de 10,30. Los valores más homogéneos de pH se encontraron en la época húmeda (CV= 7,1 %), seguidamente de la época seca (CV = 8,0 %).

Tabla 17

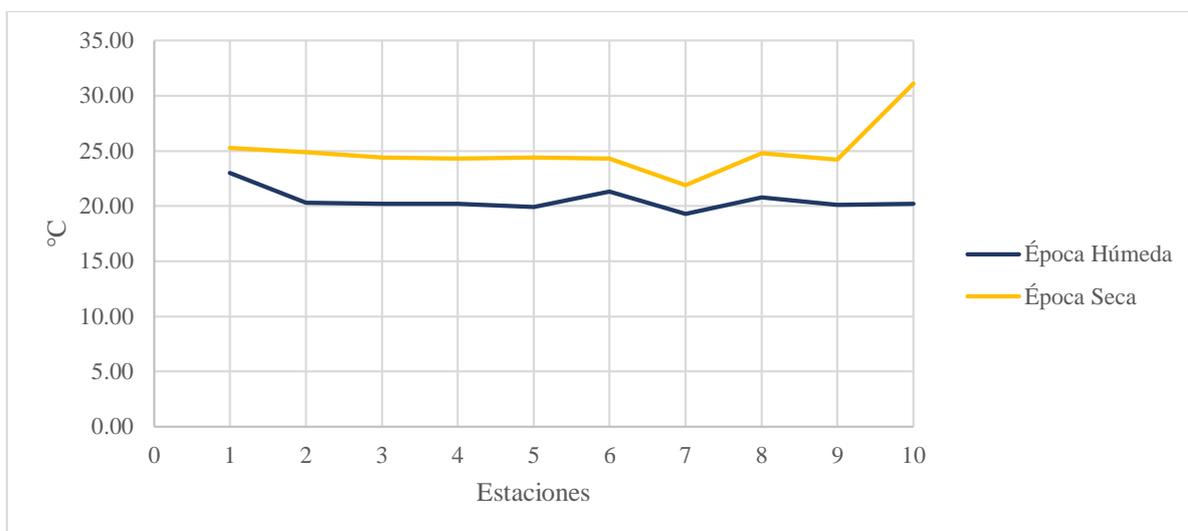
Resumen estadístico de potencial de hidrógeno (pH)

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	10,181	0,718	0,516	9,16	11,42
Seca	8,995	0,722	0,521	8,18	10,30

Los valores de temperaturas (Figura 10) obtenidas de las 10 estaciones de muestreo en ambas épocas han aumentado de acuerdo al cambio de temporada de invierno a verano, encontrándose una semejanza de la temperatura del agua descrita en su plan maestro 2009-2014 (GORE Callao, 2009).

Figura 10

Valores de temperatura



En la Tabla 18 se detalló la estadística de la temperatura, donde la media aritmética de la temperatura en la época húmeda fue de 20,53 °C, el valor mínimo de 19,3 °C y un valor máximo de 23,0 °C. Mientras que, en la época seca con una media de 24,96 °C, el valor mínimo de 21,9 °C y máximo de 31,1 °C. La época más homogénea se encuentra en la época húmeda (CV = 4,9 %), seguidamente de la época seca (CV = 9,4 %).

Tabla 18

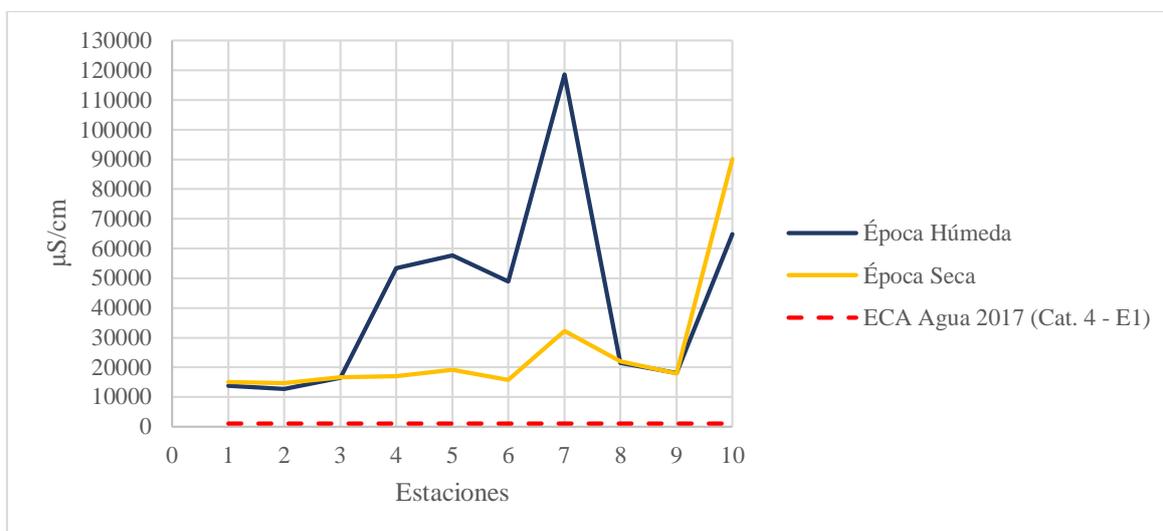
Resumen estadístico de temperatura

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	20,53	1,013	1,027	19,3	23
Seca	24,96	2,340	5,476	21,9	31,1

El gráfico en la Figura 11 mostró que la concentración de la conductividad eléctrica en las 10 estaciones de muestreo de ambas épocas (húmeda y seca) sobrepasaron los límites del ECA para agua en la Categoría 4-E1 (con valores < 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), destacando las mayores concentraciones en la estación M7 y M10 por la cercanía al mar.

Figura 11

Concentración de conductividad eléctrica



En la Tabla 19 se detalló la estadística de la conductividad eléctrica, donde la media aritmética disminuye al cambio de temporada. Durante la época húmeda tuvo una media de 42 576 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor mínimo de 12 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valor máximo de 118 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mientras que en la época seca una media de 26 065 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el valor mínimo de 14 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y máximo de 90 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La época más homogénea fue la época húmeda ($\text{CV} = 78,7 \%$), seguidamente de la época seca ($\text{CV} = 88,6 \%$).

Tabla 19

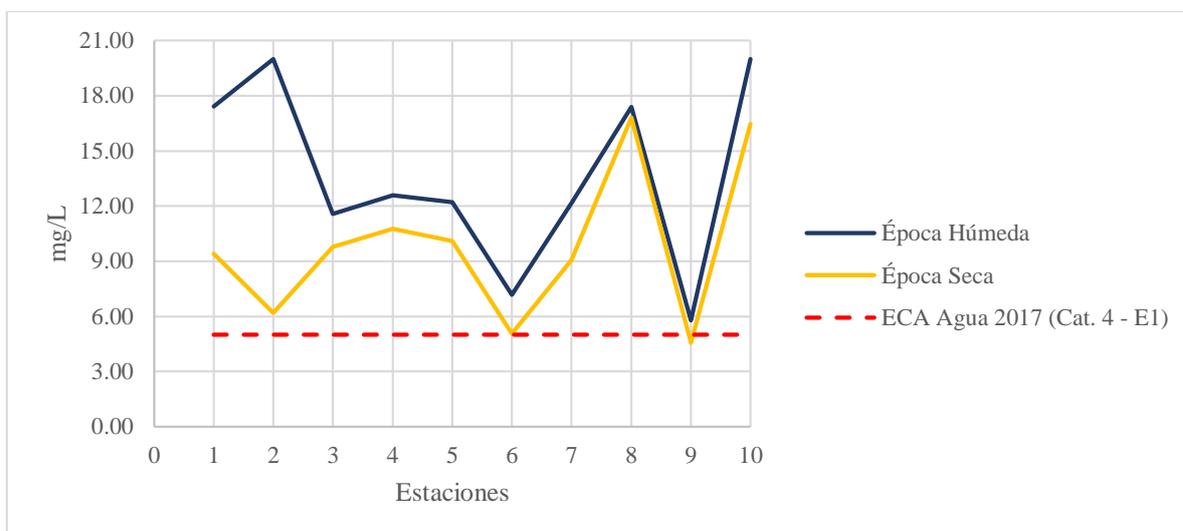
Resumen estadístico de conductividad eléctrica

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	42 576	33 513,067	1 123 125 716	12 710	118 600
Seca	26 065	23 089,699	533 134 227,8	14 660	90 100

En cuanto al gráfico del oxígeno disuelto de la Figura 12, mostró que casi todas las estaciones están dentro del rango permitido ($\geq 5 \text{ mg}/\text{L}$) por ECA para agua en la Categoría 4-E1, excepto en la época seca con una estación ligeramente bajo ($\text{M9} = 4,56 \text{ mg}/\text{L}$). Además, se obtuvieron valores $> 20 \text{ mg}/\text{L}$ (sobrepasando los límites detectables por el multiparámetro) en la estación M2 y M10 de la época húmeda.

Figura 12

Concentración de oxígeno disuelto



En la Tabla 20 se describió la estadística del oxígeno disuelto, destacando una disminución en la media aritmética al cambio de temporadas. Durante la época húmeda, se registró una media de 13,633 mg/L, el valor mínimo de 5,78 mg/L y un valor máximo de > 20 mg/L. Mientras que en la época seca con una media de 9,820 mg/L, el valor mínimo de 4,56 mg/L y máximo de 16,81 mg/L. La época más homogénea fue la época húmeda (CV = 36,5 %), seguidamente de la época seca (CV = 42,7 %).

Tabla 20

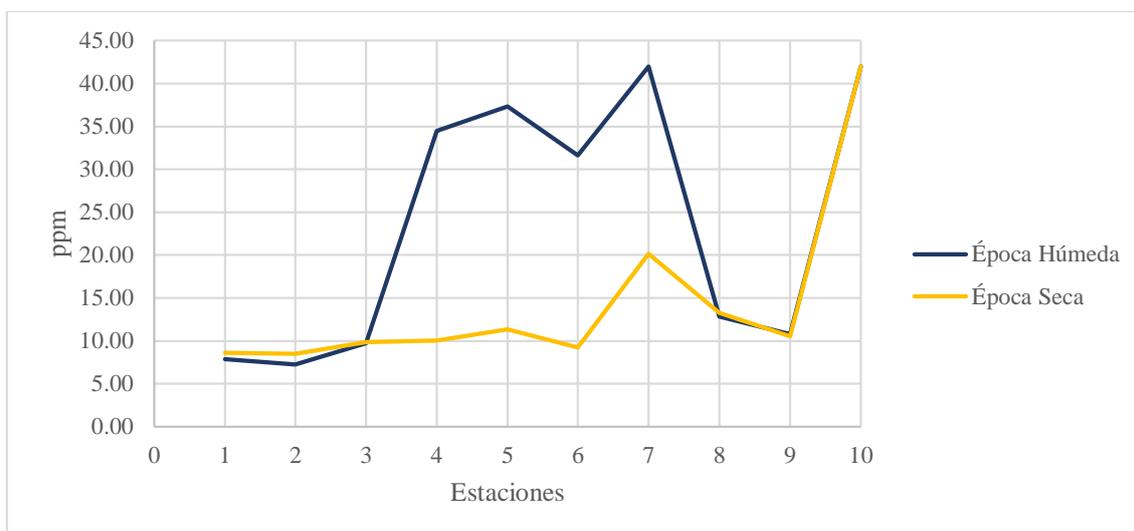
Resumen estadístico de oxígeno disuelto

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	13,633	4,971	24,712	5,78	>20
Seca	9,82	4,193	17,586	4,56	16,81

En la Figura 13 indicó que la concentración de salinidad se obtuvo concentraciones, además en la estación M7 y M10 durante ambas épocas sobrepasaron los límites detectables del multiparámetro (> 42 ppm). Este parámetro no está establecido dentro de la normativa ECA para agua en la Categoría 4-E1.

Figura 13

Concentración de salinidad



En la Tabla 21 detalló la estadística de la salinidad, donde la media aritmética de la salinidad disminuyó entre las temporalidades de muestreo. En la época húmeda obtuvo una media de 23,591 ppm, el valor mínimo de 7,28 ppm y un valor máximo de > 42 ppm. Mientras que en la época seca con una media de 14,359 ppm, el valor mínimo de 8,51 ppm y máximo de > 42 ppm. La época más homogénea se encuentra en la época húmeda (CV = 63,7 %), seguidamente de la época seca (CV = 71,7 %).

Tabla 21

Resumen estadístico de salinidad

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	23,591	15,035	226,061	7,28	> 42
Seca	14,359	10,298	106,051	8,51	> 42

3.3.1. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos

Para verificar si los parámetros fisicoquímicos indican una distribución normal mediante Shapiro-Wilks. Se planteó las siguientes hipótesis, donde la hipótesis nula (H_0) expresa que los parámetros fisicoquímicos del agua tienden una distribución normal; y la hipótesis alternativa (H_1) expresa que los parámetros fisicoquímicos del agua no tienden una distribución normal.

En la Tabla 10, se presentó los resultados de la prueba de Shapiro-Wilks, donde indicó que solo pH y OD ($p > 0,05$) cumplían con la normalidad en ambas épocas, y los demás parámetros fisicoquímicos (CE, TEMP, SALI) en ambas épocas no cumplían con una distribución normal. Donde solo 3 de 5 parámetros por época; no cumplían con la distribución normal ($p < 0,05$), por lo que se debió rechazar la H_0 y aceptar la H_1 .

Como resultado, se calculó el coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman (ρ) para analizar la asociación entre los parámetros fisicoquímicos y las bacterias que señalan contaminación. Según lo detallado en la Tabla 22, durante la temporada húmeda se observó una correlación negativa que varía de moderada a fuerte entre el pH y ENT de -0,688 ($p < 0,05$), OD y CF de -0,751 ($p < 0,05$), OD y EC de -0,751 ($p < 0,05$), OD y BH de -0,742 ($p < 0,05$), OD y ENT de -0,847 ($p < 0,01$). En cambio, en la época seca, se obtuvo una relación negativa fuerte entre CE y BH de -0,770 ($p < 0,01$), salinidad y BH de -0,770 ($p < 0,01$).

Tabla 22

Correlación Spearman entre parámetros fisicoquímicos y bacterias

		Época húmeda				Época seca			
		CF	EC	ENT	BH	CF	EC	ENT	BH
pH	Coef.								
	Correl.	-0,460	-0,460	-0,688*	-0,564	-0,603	-0,613	-0,105	-0,492
	Sig.	0,181	0,181	0,028	0,090	0,065	0,059	0,774	0,148
TEMP	Coef.								
	Correl.	-0,416	-0,416	-0,399	-0,350	-0,370	-0,348	-0,296	0,091
	Sig.	0,232	0,232	0,254	0,322	0,292	0,325	0,406	0,802
OD	Coef.								
	Correl.	-0,751*	-0,751*	-0,847**	-0,742*	-0,049	-0,086	-0,337	-0,358
	Sig.	0,012	0,012	0,002	0,014	0,893	0,812	0,340	0,310
CE	Coef.								
	Correl.	0,166	0,166	0,050	-0,261	-0,313	-0,278	-0,117	-0,770**
	Sig.	0,647	0,647	0,891	0,467	0,379	0,437	0,748	0,009
SALI	Coef.								
	Correl.	0,111	0,111	0,028	-0,286	-0,313	-0,278	-0,117	-0,770**
	Sig.	0,761	0,761	0,938	0,424	0,379	0,437	0,748	0,009

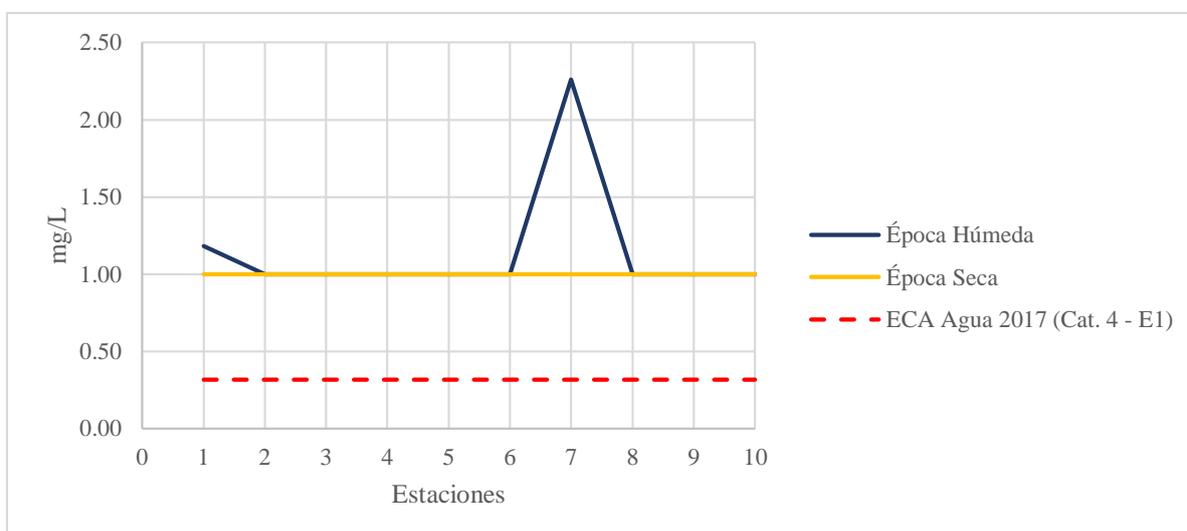
Nota. * La correlación es significativa $p < 0,05$. ** La correlación es significativa $p < 0,01$. nd= no hay datos. Coef. Correl. significa Coeficiente de correlación. Sig. = p-valor

3.4. Concentración de nutrientes en el ACR Humedales de Ventanilla

En la Figura 14, presentó que el nitrógeno total se obtuvo valores inferiores al límite de detección empleada por el método *Kjeldahl* ($< 1 \text{ NH}_3^+ \text{-N mg/L}$). Sin embargo, en las estaciones M1 y M7 de la época húmeda se obtuvo 1,18 mg/L y 2,26 mg/L respectivamente, de esta manera fue comparando con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, registrándose valores superiores a 0,315 mg/L.

Figura 14

Concentración de nitrógeno total



En la Tabla 23 se detalló la estadística de nitrógeno total, donde la media aritmética disminuyó entre la época húmeda y seca, obteniendo de 1,114 y 1,0 $\text{NH}_3^+ \text{-N mg/L}$, respectivamente. Además, en la época húmeda el valor mínimo fue $< 1,0 \text{ NH}_3^+ \text{-N mg/L}$ y un valor máximo de 2,26 $\text{NH}_3^+ \text{-N mg/L}$. Mientras que en la época seca no se obtuvo valores significativos, ya que se demostró concentraciones inferiores a 1,0 $\text{NH}_3^+ \text{-N mg/L}$.

Tabla 23

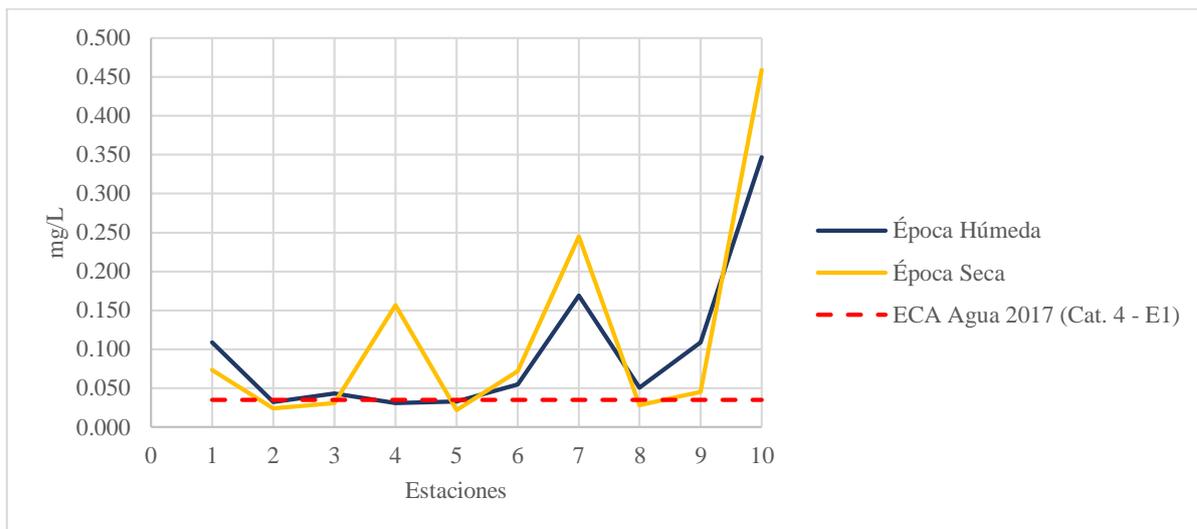
Resumen estadístico de nitrógeno total

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	1,114	0,39618	0,157	$< 1,0$	2,26
Seca	1,0	0	0	$< 1,0$	$< 1,0$

En la Figura 15 se mostró las concentraciones de fósforo total, del cual las estaciones que superaron por lo menos en una época de muestreo son M1, M3, M4, M6, M7, M8, M9 y M10, de esta manera, sobrepasando los límites máximos de la Categoría 4-E1 del ECA para agua ($< 0,035$ mg/L).

Figura 15

Concentración de fósforo total



En la Tabla 24 se detalló la estadística del fósforo total, donde la media aritmética del fósforo total aumentó entre cambio de temporadas. En la época húmeda se obtuvo una media de 0,097 mg/L, el valor mínimo de 0,031 mg/L y un valor máximo de 0,347 mg/L. Mientras que en la época seca con una media de 0,115 mg/L, el valor mínimo de 0,022 mg/L y máximo de 0,459 mg/L. La época más homogénea fue la época húmeda (CV = 100,7 %), seguida de la época seca (CV= 121,3 %).

Tabla 24

Resumen estadístico de fósforo total

Época	Media	DE	Varianza	Mínimo	Máximo
Húmeda	0,097	0,098	0,01	0,031	0,347
Seca	0,115	0,140	0,02	0,022	0,459

3.4.1. Análisis estadístico de las nutrientes (nitrógeno total y fósforo total)

Para verificar si los nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) reflejaron una distribución normal mediante Shapiro-Wilks. Se planteó las siguientes hipótesis, donde la hipótesis nula (H_0) expresa que los nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) del agua tienden una distribución normal; y la hipótesis alternativa (H_1) expresa que los nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) del agua no tienden una distribución normal. En la Tabla 10, se presentó los resultados de la prueba de Shapiro-Wilks, donde indicó que ninguno de los nutrientes cumplía una distribución normal en ambas épocas ($p < 0,05$), de cual se rechazó la H_0 y se aceptó la H_1 , ya que no existió normalidad en las variables.

Luego, se calculó el coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman (ρ) entre nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) y las bacterias indicadoras de contaminación. Los datos presentados en la Tabla 25, indicaron que durante ambas épocas no hubo una correlación significativa ($p > 0,05$).

Tabla 25

Correlación Spearman entre los nutrientes y bacterias indicadoras

Parámetros	CF	Época húmeda				Época seca			
		CF	EC	ENT	BH	CF	EC	ENT	BH
NT	Coef. Correl.	0,394	0,394	-0,192	-0,242	nd	nd	nd	nd
	Sig.	0,260	0,260	0,595	0,500	nd	nd	nd	nd
FT	Coef. Correl.	0,025	0,025	-0,185	-0,310	-0,417	-0,512	-0,043	-0,394
	Sig.	0,946	0,946	0,609	0,383	0,230	0,130	0,906	0,260

Nota. Nitrógeno total (NT) en la época seca se obtuvo un valor constante, por ello se omitió la correlación en la época seca. nd= no hay datos. Coef. Correl. significa Coeficiente de correlación. Sig. = p-valor

3.5. Identificación de las zonas de riesgo en función al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Para generar las isolíneas e identificar el nivel de riesgo por cada parámetro se utilizó la herramienta *Geostatistical Analyst* con el *software* ArcGIS, donde se procedió a realizar las

interpolaciones IDW y KO, de esta manera, obtener mapas de isolíneas por cada parámetro. Para validar y elegir alguna técnica de interpolación se tuvo que calcular *Mean Error* (ME) y *Root mean square* (RMS), tal y como se muestra en la Tabla 26.

Una vez realizada las interpolaciones de cada parámetro de estudio, se realizó una clasificación de los parámetros que están en la normativa, luego se identificó cuales sobrepasaban los límites. Por ello, los datos presentados en la Tabla 27 indican que solo 6 de los 11 parámetros de estudio como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo total y coliformes termotolerantes, lograron ser comparadas con el ECA para agua en la Categoría 4-E1 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). Además, se generó isolíneas (Figura 16 al 21) en función a la normativa, logrando ubicar las zonas con nivel de riesgo (alta contaminación) y sin riesgo (zonas más conservadas).

Tabla 26

Validación y elección de la técnica de interpolación

Parámetro	IDW		KO		Interpolación
	RMS	ME	RMS	ME	
pH	0,624	-0,238	0,452	-0,061	KO
TEMP	1,439	-0,099	2,002	-0,111	IDW
CE	21 951,18	-4 743,097	16 452,972	-3 199,593	KO
OD	4,446	-0,063	5,192	-0,108	IDW
SALI	9,526	-0,954	8,825	-0,835	KO
NT	0,203	-0,033	0,214	-0,043	IDW
FT	0,111	-0,038	0,082	-0,017	KO
CF	184,684	7,272	187,321	11,051	IDW
EC	84,725	-1,287	89,348	4,428	IDW
ENT	90,208	3,567	107,000	32,345	IDW
BH	12 268,457	88,519	12 737,663	117,136	IDW
EC/CF	0,037	-0,010	0,034	-0,004	KO
EC/ENT	8,583	0,512	9,965	3,199	IDW

Nota. RMS significa *Root mean square* “Error medio cuadrático”, ME significa *Mean Error* “Error medio”, KO significa *Kriging* ordinario

Tabla 27

Promedio de los parámetros y comparados con D.S. N° 004-2017-MINAM

Estaciones	pH	OD	CE	NT	FT	CF
M1	9,90	13,41	14 335	1,09	0,0910	74,50
M2	9,63	13,09	13 685	1,00	0,0280	68,90
M3	9,21	10,67	16 600	1,00	0,0370	560,00
M4	9,14	11,69	35 150	1,00	0,0940	330,00
M5	9,14	11,17	38 400	1,00	0,0275	139,50
M6	8,67	6,12	32 370	1,00	0,0635	460,00
M7	10,46	10,62	75 450	1,63	0,2070	284,50
M8	9,89	17,11	21 755	1,00	0,0395	181,50
M9	9,07	5,17	18 010	1,00	0,0770	280,00
M10	10,79	18,23	77 450	1,00	0,4030	1,80
ECA para agua Categoría 4- E1	6,5 - 9	≥ 5	≤ 1 000	≤ 0,315	≤ 0,035	≤ 1 000

Nota. oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), nitrógeno total (NT), fósforo total (FT), coliformes fecales (CF)

Por otro lado, los parámetros restantes (temperatura, salinidad, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas) se generó isolíneas sin ser comparadas con el ECA para agua, como también se generó isolíneas para las relaciones de bacterias (EC/ CF, EC/ENT y nivel de eutrofización). Tal y como se puede evidenciar en la Figura 22 hasta 28.

La Figura 16, se visualizó la distribución espacial del pH del agua en el humedal, describiendo una tendencia de aumento en el sentido de este al oeste. Sus concentraciones promedias del pH oscilaron entre 8,67 a 10,79; lo cual reveló registros altos de pH (alcalino). Por ello, se identificó zonas sin riesgo (respetaban los límites del ECA para agua) que corresponde a la estación M6, donde existen plantaciones de junco. Además, las zonas con riesgo fueron aquellas que están fuera de los límites del ECA para agua, del cual corresponden a las estaciones M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8, M9 y M10.

Figura 16

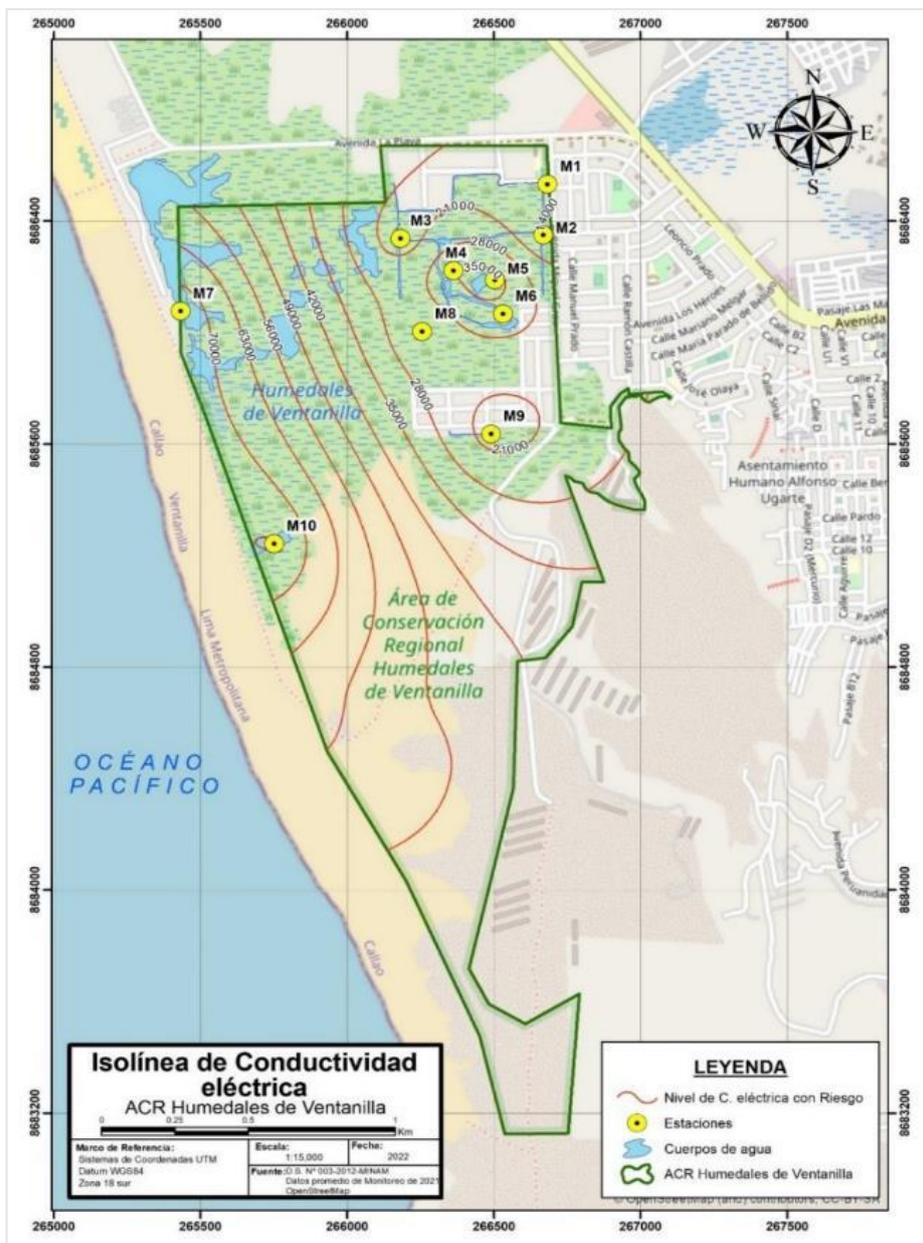
Isolínea de potencial de hidrogeno (pH)



En la Figura 17, se visualizó la distribución espacial de la conductividad eléctrica (CE) del agua, donde mostró una tendencia de aumento en el sentido de noreste al oeste del humedal. Sus concentraciones promedio de CE oscilaron entre 13 685 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (M2) a 77 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (M10). Debido a ello, se identificó que existe zonas con riesgo que corresponde a todas las estaciones, esto significa que no son adecuadas para la conservación del ambiente acuático, ya que no se respetó los límites del ECA para agua en la categoría 4-E1.

Figura 17

Isolínea de conductividad eléctrica



La Figura 18, se visualizó la distribución espacial del oxígeno disuelto (OD) del agua, describiendo una tendencia de aumento en el sentido de sureste al oeste del humedal. Sus concentraciones promedio del OD oscilaron entre 5,17 a 18,23 mg/L. Debido a ello, se identificó zonas sin riesgo que corresponde a todas las estaciones como M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10, esto significó que fueron adecuadas para la conservación del ambiente acuático, ya que se respetó los límites del ECA para agua en la categoría 4-E1.

Figura 18

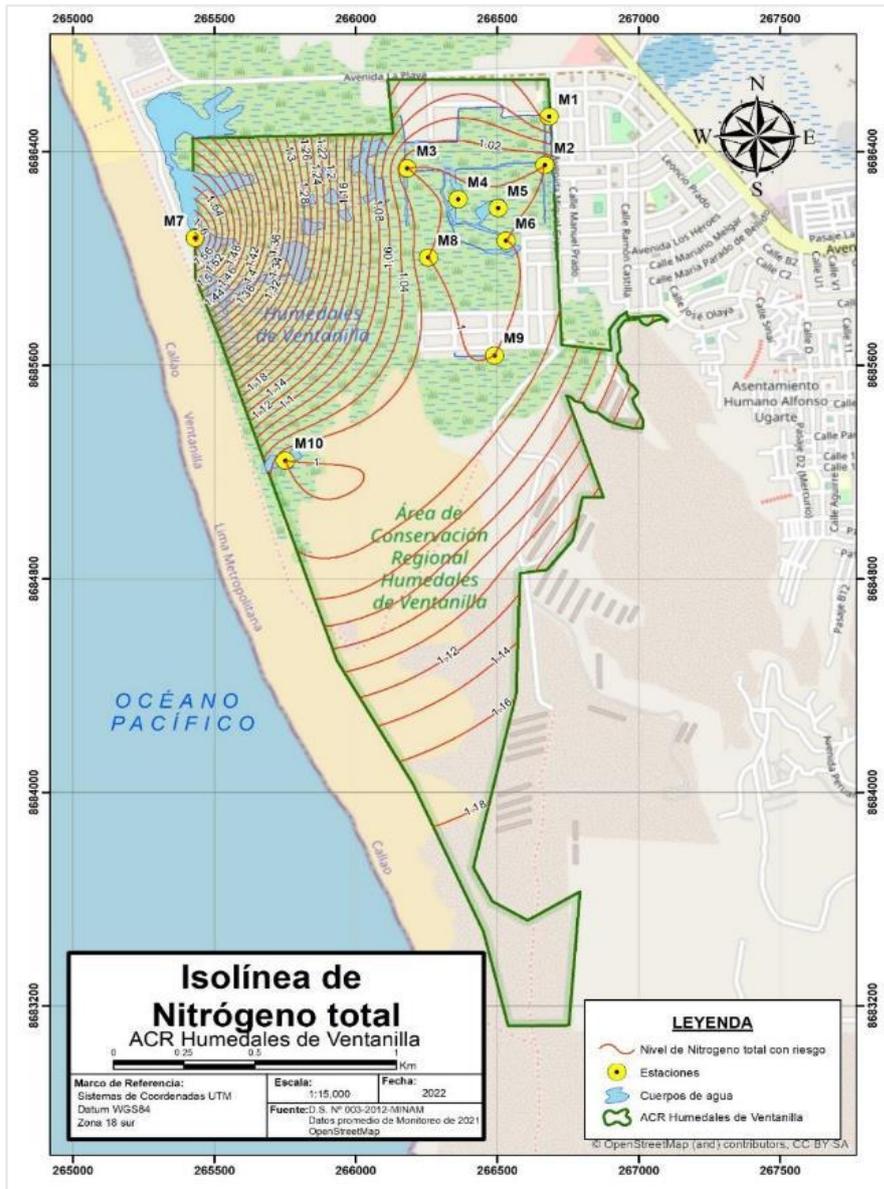
Isolínea de oxígeno disuelto



La Figura 19, se visualizó la distribución espacial del nitrógeno total (NT) del agua en el humedal, donde mostró una tendencia de aumento en el sentido de sur al noroeste. Sus concentraciones promedio del NT oscilaron entre 1,00 a 1,63 mg/L. Por ello, se identificó las zonas con riesgo, aquellas fuera de los límites del ECA para agua, del cual las estaciones que más destacan son M1 (Frente A.H. Defensores de la Patria) y M7 (cerca de la playa Costa Azul).

Figura 19

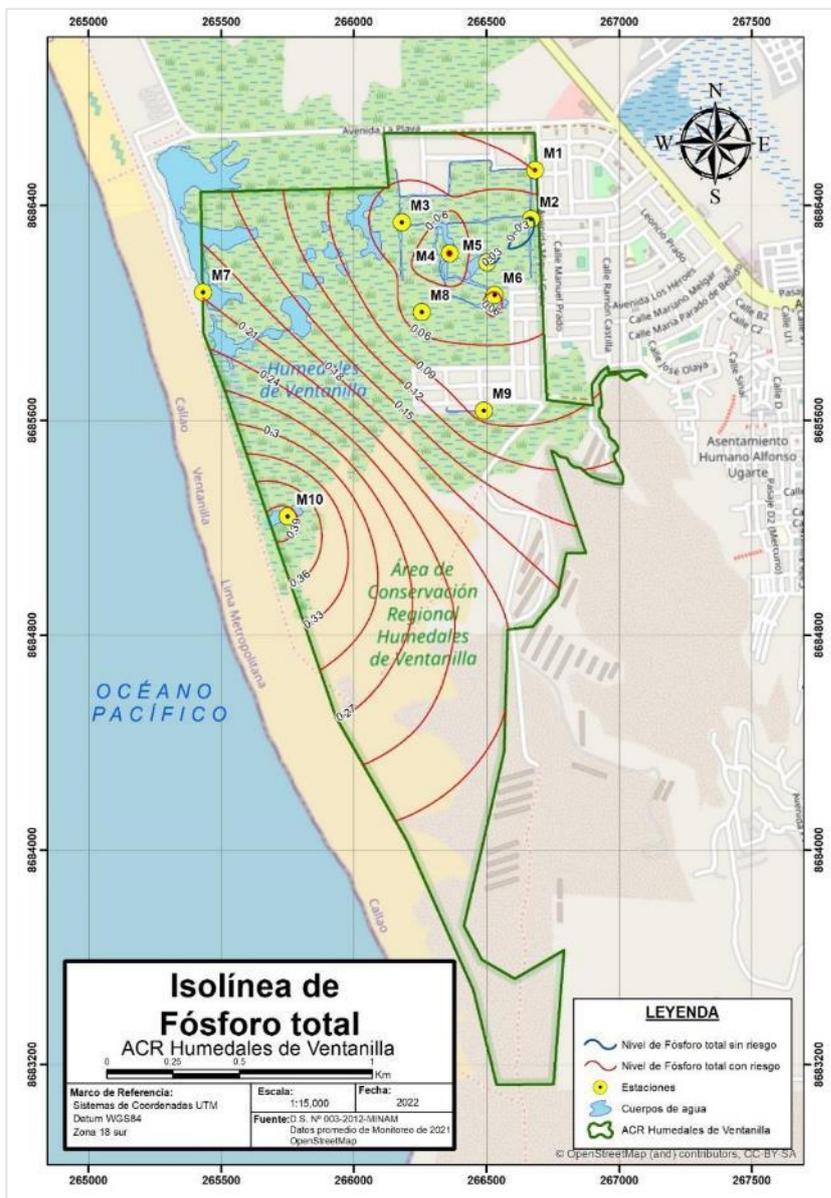
Isolínea de nitrógeno total



En la Figura 20, se visualizó la distribución espacial del fósforo total (FT) del agua en el humedal, donde mostró una tendencia de aumento en el sentido de noreste al suroeste. Sus concentraciones promedio del FT oscilaron entre 0,0275 mg/L (M5) a 0,4030 mg/L (M10). Por ello, se identificó zonas sin riesgo que corresponde a la estación M2 (Filtro de agua) y M5 (Pisciplaya) cumplen con el ECA para agua. Además, las zonas con riesgo fueron aquellas que no cumplían con el ECA para agua, del cual corresponden a las estaciones M1, M3, M4, M6, M7, M8, M9 y M10.

Figura 20

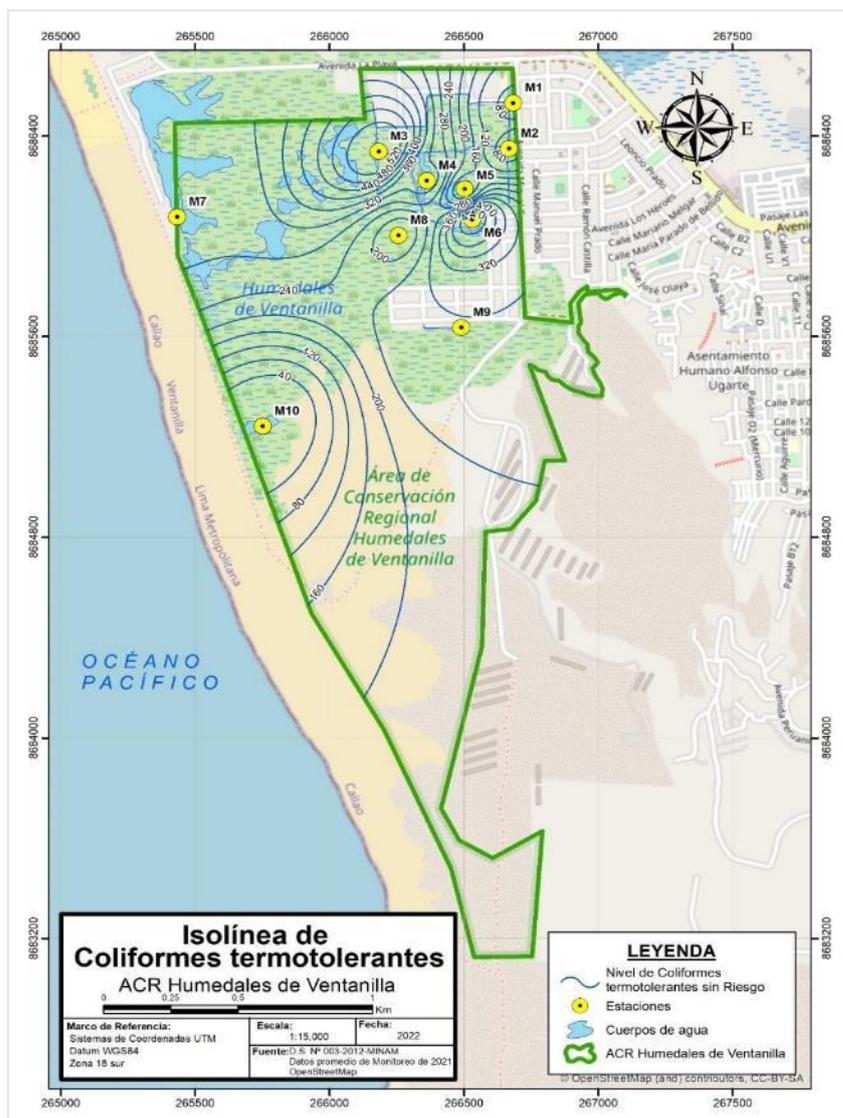
Isolínea de fósforo total



La Figura 21, se visualizó la distribución espacial del coliformes termotolerantes o fecales (CF) del agua en el humedal, donde mostró una tendencia de aumento en el sentido de suroeste al norte, del cual indicaron promedios de CF entre 1,80 a 560 NMP/100 mL. A partir de ello, se identificó zonas sin riesgo que corresponde a todas las estaciones como M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10, donde la estación con mayor valor fue la M3 que se encuentra cercana al asentamiento humano Cooperativa Apurímac. A pesar de ello, todas las estaciones cumplieron con los límites del ECA para agua en la categoría 4-E1, indicando la adecuada conservación del ambiente acuático.

Figura 21

Isolínea de coliformes termotolerantes



En la Figura 22, la distribución espacial de la temperatura del agua en el humedal mostró una tendencia de aumento hacia el suroeste. Sus concentraciones promedio de la temperatura oscilaron entre 20,60 °C (M7) a 25,65 °C (M10) dentro del todo el ACR humedales de Ventanilla. En el mapa de isolíneas se visualizó que los puntos más calientes fueron el M10 (espejo rojo) y M1 que estuvo cerca al A.H. Defensores de la Patria.

Figura 22

Isolínea de temperatura



A partir de esta sección se muestra los parámetros que no se encuentran catalogadas en el ECA para agua en la categoría 4-E1, a pesar de ello, se realizó las isolíneas para verificar la variación de concentraciones de cada parámetro.

En la Figura 23, se visualizó la distribución espacial de salinidad del agua en el humedal, donde mostró una tendencia de aumento en el sentido de este al oeste. Sus concentraciones promedio de salinidad oscilaron entre 7,895 ppm (M2) a 42,00 ppm (M10). Las mayores concentraciones fueron identificadas en las estaciones M10 y M7 con 42,00 y 31,075 ppm, respectivamente. Estas estaciones fueron las más cercanas a la playa Costa Azul (al mar), en comparación de las estaciones M1 y M2 que fueron aledaños a los asentamientos humanos.

Figura 23

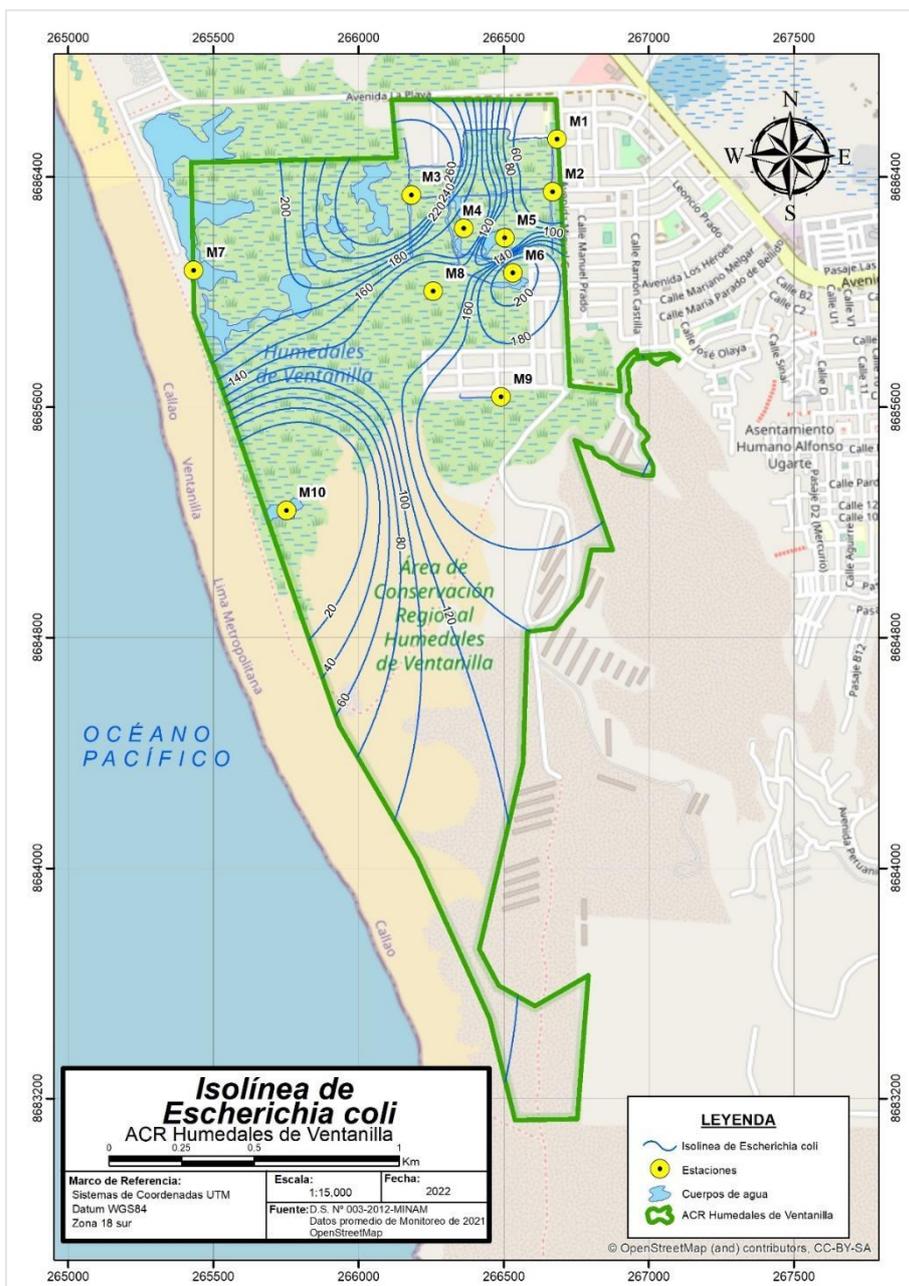
Isolínea de Salinidad



La Figura 24, se visualizó la distribución espacial del *Escherichia coli* (EC) del agua en el humedal, donde mostró una tendencia de aumento en el sentido de suroeste al norte. Sus concentraciones en promedio del EC oscilaron entre 1,80 a 280,0 NMP/100 mL; lo cual reveló la presencia de esta bacteria en casi todo el humedal. Las estaciones con mayor concentración fueron identificadas en M3 y M6 con 280 y 204 NMP/100 mL, respectivamente. Estas estaciones fueron las más cercanas a los AA.HH. Cooperativa Apurímac y Valle Verde.

Figura 24

Isolínea de Escherichia coli



En la Figura 25 ilustra la distribución espacial de *Enterococcus* sp. del agua en el humedal. Sus concentraciones promedio oscilaron entre 1,80 hasta 245,90 NMP/100 mL. Además, se destacaron concentraciones elevadas en la estación M1, con 245,90 NMP/100 mL, y en la estación M5 con 166 NMP/100 mL. En contraste, las estaciones M2 (filtro de agua) y M10 (espejo rojo) registraron valores más bajos a < 1,8 NMP/100 mL. Notablemente, la estación M10 es una estación anómala, debido a la ausencia de crecimiento de bacterias del grupo coliformes y enterococos.

Figura 25

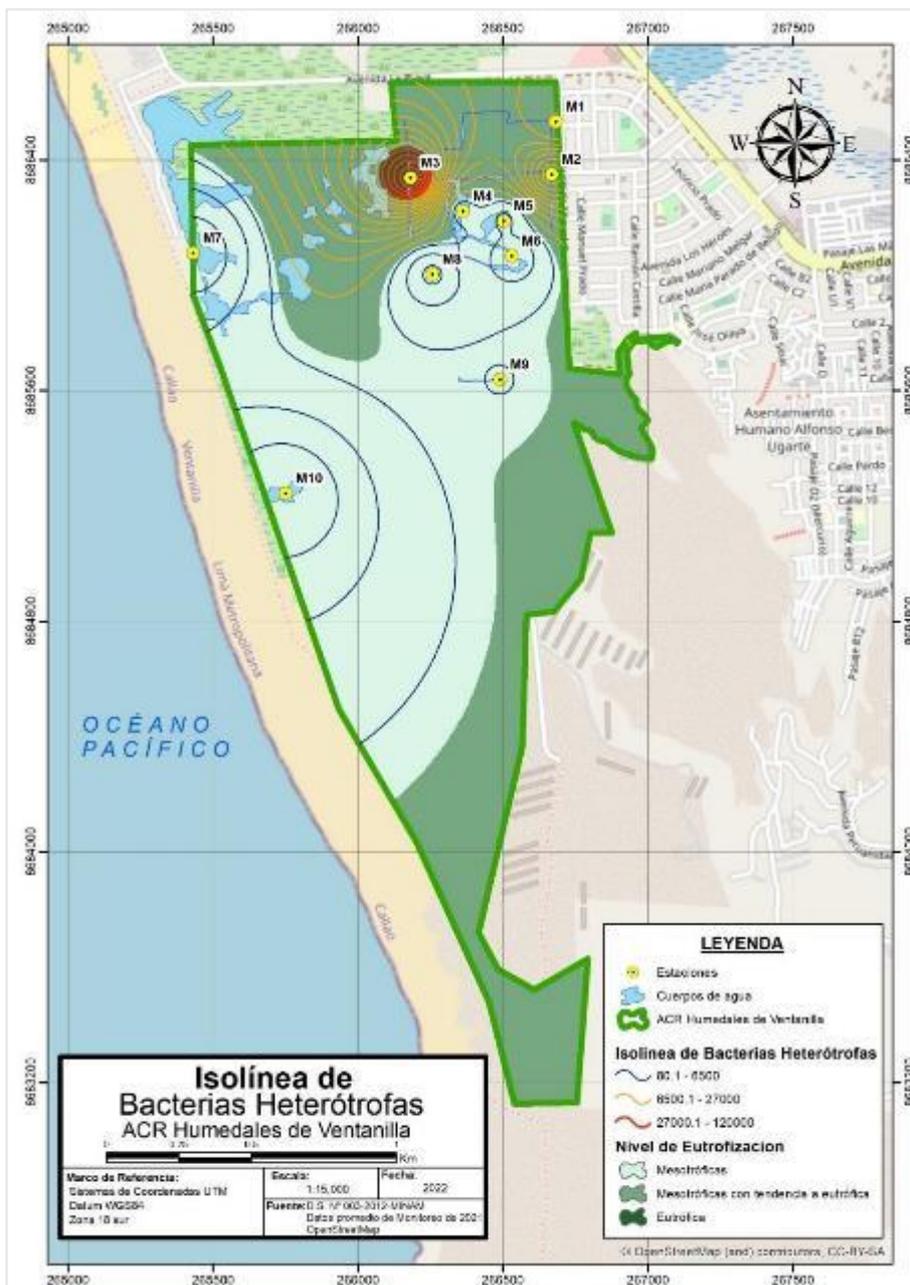
Isolínea de Enterococcus sp.



En la Figura 26 muestra la distribución espacial de bacterias heterótrofas (BH) del agua en el humedal, evidenciando un incremento progresivo desde la zona suroeste, caracterizada por ser mesotrófica, hacia el norte, donde se clasifica como eutrófica. Además, los promedios de BH oscilaron entre 345 hasta 36 000 900 UFC/mL. Debido a ello, se observó que la estación M3 (Canal 3) tuvo la tendencia de eutrofización, donde está influenciada por los asentamientos humanos (Asociación cooperativa Apurímac y los Chankas), también por estar adyacentes a zonas dedicadas a la agricultura y ganadería.

Figura 26

Isolínea de bacterias heterótrofas



En la Figura 27, se visualizó la isolínea del promedio de la relación *Escherichia coli*/coliformes termotolerantes. Se identificó las zonas con alto grado de contaminación (isolíneas de color rojo) dentro y alrededor de las estaciones M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10, donde no cumplían con el criterio; $EC/CF < 0,63$ (USEPA, 2002). Por ende, significó que los cuerpos de agua del ACR Humedales de Ventanilla; aún están siendo afectados por los AA.HH., además la influencia de los bañistas a la playa como también el posible ingreso desautorizado de personas que atentan la preservación del humedal.

Figura 27

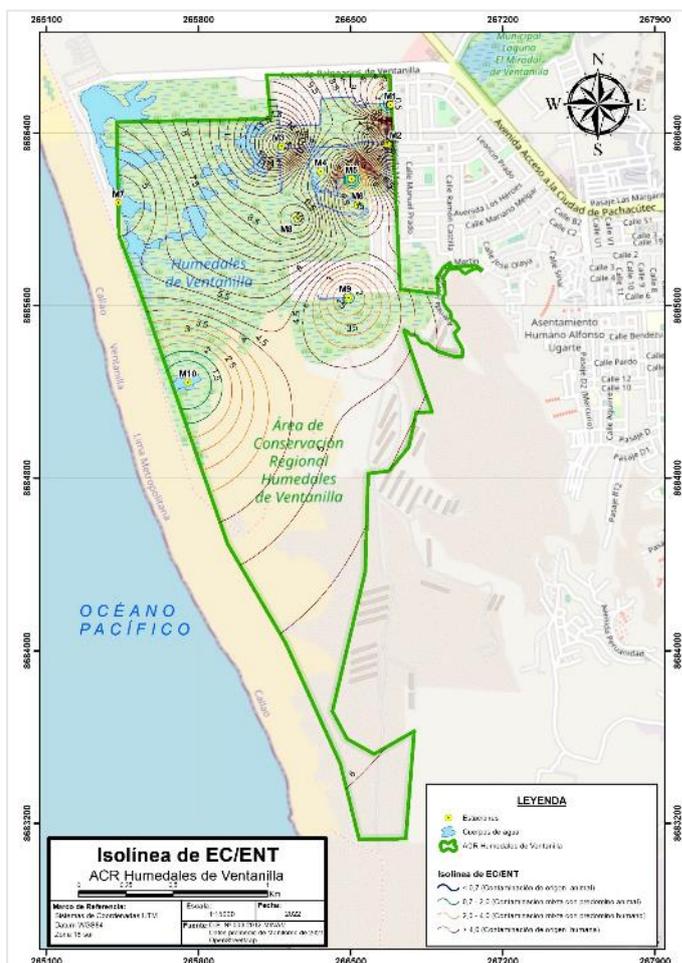
Isolínea de relación Escherichia coli / coliformes termotolerantes



La Figura 28, se visualizó la distribución espacial del de la relación *Escherichia coli*/*Enterococcus* sp. en el humedal, donde mostró una tendencia de aumento hacia el norte. Sus concentraciones en promedio del EC/CF oscilan entre 0,20 a 23,19; lo cual revela una contaminación de origen animal a humano. Debido a ello, se identificó en el mapa la contaminación de origen animal ($EC/ENT < 0,7$) en las estaciones M1 y M5, donde se observó que durante las dos campañas de muestreo había animales domésticos y aves cerca, luego se mostró la contaminación mixta con predominio animal ($0,7 < EC/ENT < 2,0$) en la estación M9 y M10, y contaminación mixta con predominio humano ($2,0 < EC/ENT < 4,0$) solo en la estación M6. Por último, la contaminación de origen humano ($EC/ENT > 4,0$) para las estaciones M2, M3, M4, M7 y M8, ya que se encontraban próximas a la playa Costa Azul, AA.HH. Cooperativa Apurímac y Valle Verde. Cabe mencionar que las estaciones M2 y M10 fueron evaluadas, siguiendo las recomendaciones de Fajardo (2018), donde indica que se puede tomar el valor límite (1,8 NMP/100 mL) para generar las isolíneas.

Figura 28

Isolínea de relación Escherichia coli/Enterococcus sp.



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Bacterias indicadoras de contaminación

En esta investigación se analizó las bacterias indicadoras de contaminación (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas) que influyen en la conservación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla. Mediante el cual, se encontró presencia de estas bacterias en casi todas las estaciones de muestreo y variaban sus concentraciones según la época, por lo consiguiente, se aceptó la hipótesis alterna y se rechazó la hipótesis nula. Además, se encontró relaciones significativas ($< 0,05$ y $< 0,01$) y positivas a través de la correlación no paramétrica de Spearman. Por último, se calculó el coeficiente de determinación, donde señaló una fuerte relación lineal entre CF y EC.

En este contexto, las concentraciones de los coliformes termotolerantes fueron de $< 1,80$ a 490 NMP/100 mL (época húmeda) y $< 1,80$ a 790 NMP/100 mL (época seca), del cual se indicó que no sobrepasaron el límite ($< 1\ 000$ NMP/100 mL) en la categoría 4-E1 del ECA para agua. En tal sentido, hubo resultados similares de años anteriores en el mismo humedal, como lo investigado por Rodríguez *et al.* (2017), donde obtuvieron promedios anuales desde $99,9$ hasta $1\ 237,2$ NMP/100 mL, del mismo modo para Fajardo (2018) que monitoreó en tres épocas de muestreo; del cual obtuvo $< 1,8$ a $7\ 900$ NMP/100 mL (durante la época seca), $< 1,8$ a $2\ 300$ NMP/100 mL (al inicio de época de lluvias), $< 1,8$ a $3\ 300$ NMP/100 mL (época de lluvias o húmeda). Además, Chacon (2020) indicó de 11 a 240 NMP/100 mL (A.H. Valle verde y Balneario Costa Azul, respectivamente) durante octubre del 2019. Bajo lo referido anteriormente, se concluye que las épocas influyen en la concentración de este grupo de bacteria, como también se observa una disminución considerable de coliformes fecales al paso de los años dentro del ACR humedales de Ventanilla, sin embargo, la presencia de este grupo de bacterias puede provenir de las excretas como los animales

homeotermos (aves y mamíferos) y del hombre (Correa, 2014), como también de aguas residuales que contengan bacterias entéricas, generando la exposición de la salud humana, flora y fauna (De la Lanza y Hernández, 2019; Chacon, 2020). Por ello, esta bacteria es asociado a materia fecal, materia orgánica y nutrientes.

Se encontró presencia de *Escherichia coli* en casi todas las estaciones, siendo de < 1,80 a 330,0 NMP/100 mL (época húmeda y época seca). Además, este parámetro no es considerado en la categoría 4 E-1 del ECA para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). En este sentido, hubo resultados similares en el mismo humedal como lo realizado por Rodríguez *et al.* (2017), dentro del espejo de agua llamado pisciplaya, donde obtuvieron desde < 1,8 a 2 400 NMP/100 mL (estación cercana al A.H. Valle verde), como también en el estudio de Fajardo (2018) desde < 1,8 a 4 900 NMP/100 mL (época seca), < 1,8 a 330 (al inicio de época de lluvias), < 1,8 a 330 NMP/100 mL (época de lluvias). Por otro lado, Rudic *et al.* (2014) en la investigación realizada dentro del Lago Palic obtuvieron concentraciones bajas (6,3 hasta 18,1 NMP/100 mL) y elevadas en el efluente (160 700 NMP/100 mL), cabe mencionar que este estudio se realizó después de la temporada de verano. A modo de conclusión, se observa que ciertas condiciones ambientales (temperatura y nutrientes) favorecerían la presencia de esta bacteria en los ecosistemas acuáticos (Larrea *et al.*, 2009), además esta bacteria está asociada al riesgo sanitario por las heces humanas y animales (Fewtrell y Bartram, 2001; OMS, 2017).

Las concentraciones de *Enterococcus* sp. en el presente estudio reflejó desde < 1,80 a 33 NMP/100 mL (época húmeda) y < 1,80 a 490 NMP/100 mL (época seca), observándose el incremento de las concentraciones de acuerdo a la época de muestreo. Además, este parámetro no es considerado en la categoría 4 E-1 del ECA para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). Estos resultados fueron corroborados por Rodríguez *et al.* (2017), quienes en su investigación evaluaron el espejo de agua llamado Pisciplaya del ACR Humedales de Ventanilla, cuyos resultados fueron de 20 hasta 14 000 NMP/100 mL, esta elevada concentración se debe a la cercanía del A.H. Valle verde. Por otro lado, existen estudios que se encuentran cerca de zonas no urbanizadas o agrícolas, del cual se puede citar a Rudic *et al.* (2014) indicaron que el lago Palic presentaba de 9,5 a 58,1 NMP/100 mL. Lo mismo ocurre con Madriz (2017) en el humedal laguna de Moyua, que reflejó

concentraciones desde $< 1,8$ a 13 NMP/100 mL (año 2015) y $2,0$ a 49 NMP/100 mL (año 2016), tal que, estos estudios coinciden con un pH ligeramente alcalino. Analizando estos resultados, se concluyó que los *Enterococcus* sp. fueron más elevados con la cercanía a zonas urbanas y que la supervivencia a ciertas condiciones ambientales. Cabe mencionar que estas bacterias pueden sobrevivir otros medios fuera del intestino del hombre como en el agua, el suelo (OMS, 2017), sedimentos, arena de playa, vegetación y agua del mar (Byappanahalli *et al.*, 2012). Por ello, *Enterococcus* sp. es considerado uno de los mejor indicadores de contaminación fecal (USEPA, 2002) gracias a la supervivencia y resistencia a factores ambientales tiende a sobrevivir más tiempo que los coliformes fecales (Ávila *et al.*, 2019).

Las concentraciones de las bacterias heterótrofas fueron variables en cada época y estación de muestreo, obteniendo valores desde 110 a 72×10^6 UFC/mL durante la época húmeda y 58×10^1 a 46×10^3 UFC/mL durante la época seca. Además, este parámetro no es considerado en la categoría 4 E-1 del ECA para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). Estos resultados fueron similares a lo presentado por Mwanamoki *et al.* (2014) en el lago de Ma Vallée en Congo con valores desde 4×10^2 a $5,1 \times 10^4$ UFC/100 mL, del mismo modo ocurre con Loucif *et al.* (2020) donde indicaron que el humedal de Tonga en Argelia mostró valores de $276,2 \times 10^3$; $347,7 \times 10^3$ y $347,7 \times 10^3$ UFC/100 mL en cada estación. En cambio, se encontró altas concentraciones de bacterias heterótrofas en el estudio de Díaz (2012) desde 5×10^2 a 1×10^{10} UFC/mL obtenidas durante lluvias intensas, al igual que Malaver *et al.* (2014) con valores de 1×10^7 a 1×10^{13} UFC/mL durante un evento de fenómeno de La Niña. Estas elevadas concentraciones se podrían deber al aporte de las lluvias que favorecen el crecimiento de estas bacterias y una elevada descomposición de materia orgánica en el agua (Díaz, 2012). En conclusión, la época húmeda favoreció al crecimiento de estas bacterias, ya que hay prevalencia que exista lluvia que genere escorrentía hacia al espejo del agua, además otros factores que favoreció fueron la carga de nutrientes por los efluentes de aguas residuales, actividades agrícolas y vegetación natural (Bartram *et al.*, 2003).

4.2. Grado de contaminación, origen del residuo fecal y eutrofización en las estaciones de muestreo

En esta investigación se determinó el grado de contaminación, se identificó el origen de la contaminación del residuo fecal y evaluó los niveles de eutrofización en cada estación de muestreo para evaluar la conservación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla. Por ello, se calculó EC/CF, EC/ENT y nivel de eutrofización, observando en todas las estaciones de muestreo el mal estado del ecosistema acuático, la fuente de contaminación fecal de origen animal, mixto y humano, como también las condiciones mesotróficas a eutróficas en los espejos y canales de agua.

4.2.1. Determinación del grado de contaminación

Con respecto al presente estudio, se realizó la relación EC/CF obteniendo resultados desde 0,732 hasta 1,00 (época húmeda) y 0,815 hasta 1,00 (época seca). Al igual, otros estudios estimaron esta relación EC/CF donde obtuvieron resultados similares que indicaron el mal estado de los ecosistemas acuáticos, ya que sobrepasaban el criterio otorgado por el USEPA. La relación fue utilizada en las siguientes investigaciones de Rasmussen y Ziegler (2003), Noble *et al.* (2004), Hamilton *et al.* (2005), Kloot *et al.* (2006), Prats *et al.* (2006), García-Armisen *et al.* (2007), Hachich *et al.* (2012) y Romeu *et al.* (2012) que obtuvieron resultados promedios de 0,77; 0,88; 0,75 a 0,93; 0,84; 0,75; 0,77; 0,84 y 0,90 cada uno respectivamente. También existieron valores inferiores indicado por el USEPA (2002) de 0,63; del cual se destaca Larrea *et al.* (2009) con un valor de 0,46. Esta disminución se debe al aumento de salinidad o conductividad eléctrica que podría disminuir la capacidad de supervivencia de *Escherichia coli*.

Sin embargo, existió otras investigaciones donde obtuvieron relaciones mayores a una unidad ($EC/CF > 1$), como en el estudio de Yakub *et al.* (2002) desde 0,4 a 1,6 y Kloot *et al.* (2006) de 1,63 (Serie 1) y 1,20 (Serie 2). Estas diferencias entre la relación de poblaciones de bacterianas (EC/CF) puede estar influenciada por los métodos aplicados para el conteo de las bacterias destacando el medio de cultivo y la técnica empleada (Hamilton *et al.*, 2005), además del lugar de estudio entre una área urbanizada y no urbanizada (Vernberg *et al.*, 1996).

Según Yakub *et al.* (2002) en su estudio relacionado al tipo y uso del agua, estimó las relaciones de las bacterias y dedujeron que tuvieron gran afectación por las actividades humana como los afluentes, efluentes de aguas residuales y la corriente de agua superficial de mina ácida. Del cual, observaron que las concentraciones de *Escherichia coli* eran más elevadas con respecto a los coliformes termotolerantes. Así mismo, Kloot *et al.* (2006) indicó que esta elevación podría ser por la aparición de falsos positivos, el cual elevaría los niveles de *Escherichia coli*, también podría ser el método usado (filtración por membrana para los coliformes termotolerantes) y los medios de cultivos. Existen medios de cultivos tradicionales (agar m-TEC a 44,5 °C) que fueron los menos usados en comparación con medios específicos (cromogénicos y fluorogénicos) por su eficiente recuperación y mejorar la relación EC/CF. Debido a estos indicios, se recomendó elegir un óptimo tipo de medio cultivo y método o técnica (Hamilton *et al.*, 2005). Con respecto al método, en el estudio realizado por Noble *et al.* (2004) compararon dos métodos de enumeración, del cual obtuvieron diferencias entre las relaciones bacterianas por el método de filtro por membrana (EC/CF = 1) y fermentación en tubos múltiples (EC/CF = 0,5).

Por otro lado, según Vernberg *et al.* (1996) indicaron que estos niveles elevados y bajos de coliformes fecales y *Escherichia coli* se debió a la cercanía de una zona urbanizada y no urbanizada (forestal). En la zona urbanizada evidenciaron mayor presencia de *Escherichia coli* y menor de coliformes fecales, en cambio, la zona no urbanizada hubo mayor presencia de coliformes fecales y menor incidencia de *Escherichia coli*.

4.2.2. Identificación del origen de la contaminación fecal

En el presente estudio la relación estuvo desde 1,0 a 73,333 (época húmeda) y 0,10 a 183,333 (época seca), es decir los espejos de agua presentaron una fuente de contaminación fecal de origen animal hasta contaminación de origen humano. Estos resultados fueron respaldados por el estudio Meeroff *et al.* (2008), quienes en su investigación utilizaron la relación EC/ENT, de cual indicaron valores promedios desde 1,9 hasta 10,1 (predominio de los desechos de animales en la contaminación mixta hasta contaminación de origen humano). Por otro lado, en la investigación de Rivera *et al.* (2010), usaron una relación de coliformes

fecales/*Streptococcus* (CF/SF), del cual mostraron valores de 2,0 a 3,2 que presentaron una contaminación mixta (zona no urbana) y 5,9 a 273,3 presentaron una contaminación de origen humana (zona urbana). Así también, Coyne y Howell (1994) mostraron la relación de coliformes fecales y estreptococos fecales, obteniendo valores desde 0,2 hasta 84,0 (manantiales y arroyos, respectivamente) dentro de una cuenca en la región de Bluegrass de Kentucky que mostraron una contaminación de origen animal a humana. En tal sentido, bajo lo referido se concluyó que algunos autores utilizaron grupos de bacterias como la relación coliformes fecales/ *Streptococcus* fecales del cual emitían resultados menos precisos y ambiguos, por ello, la utilización de bacterias más específicas de cada grupo de bacterias como *Escherichia coli* (reemplazando al coliformes fecales) y *Enterococcus* sp. (reemplazando al *Streptococcus* fecales), obteniendo un resultado más preciso para poder determinar la posible fuente de contaminación y evitar ser una relación inconsistente (Meeroff *et al.*, 2008).

4.2.3. Evaluación del nivel de eutrofización

Con respecto a la evaluación de la eutrofización de los espejos de agua del ACR humedales de Ventanilla, se categorizó las bacterias heterótrofas que reflejan condiciones mesotróficas (110 UFC/mL) hasta condiciones eutróficas (72 000 000 UFC/mL). Estos resultados fueron similares a Díaz (2012) que tuvieron condiciones mesotróficas a condiciones eutróficas durante el evento del fenómeno de La Niña (marzo del 2011). De igual manera, en la investigación realizada por Malaver *et al.* (2014) donde la gran mayoría de los espejos de agua eran eutróficas (1×10^{10} en el sector madre castaña) dentro del Parque Nacional Laguna de Tacarigua durante el mes de agosto. Por ende, las tendencias hacia un estado eutrófico con las bacterias heterótrofas podrían ser ocasionadas por la entrada adicional de materia orgánica eventual o permanente (Miravet *et al.*, 2009), que a través de las precipitaciones trasladan más nutrientes hacia los espejos de agua por escurrimiento del suelo (Miravet, 2003), como también la entrada de estos nutrientes originarían el crecimiento de algas (Díaz, 2012).

4.3. Parámetros fisicoquímicos del ACR Humedales de Ventanilla

En esta investigación se relacionó los valores de los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura) con las bacterias

indicadoras de contaminación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla. Como también las condiciones fisicoquímicas del agua todas las estaciones de muestreo variaban según la época.

Con respecto al pH, el presente estudio mostró unidades desde 9,16 a 11,42 (época húmeda) y 8,18 a 10,3 (época seca). Además, se encontró una correlación significativa ($p < 0,05$) entre pH y ENT en la época húmeda. Por otro lado, la presencia de este parámetro en el ACR humedales de ventanilla, evidenció que algunas estaciones superaban los límites del ECA para agua categoría 4-E1. Estos resultados fueron similares a Fajardo (2018) de 7,17 a 9,41 en febrero (época seca); 7,22 a 9,26 en mayo y 7,15 a 9,98 en agosto (época húmeda), de igual manera, para el estudio de Canales (2022) con un pH de 7,23 a 9,25 en marzo y 7,36 a 8,66 en octubre; donde hubo la tendencia hacia la alcalinidad del agua que podría estar relacionada por la cercanía al océano. Además, coinciden con Huamán *et al.* (2020) en la Laguna Marvilla de los Pantanos de Villa obtuvieron entre 8 a 9 unidades durante octubre 2019 - agosto 2020 y 8,5 a 9,1 en octubre 2020. Del mismo modo, Tello *et al.* (2014) obtuvo valores cercanos al 8,5 dentro la laguna norte del Humedal Paraíso, también en la investigación de Chacon (2020) tuvo variación desde 7,30 (cerca al AA. HH Valle Verde) hasta 8,10 (Pampas de Ventanilla) y en el estudio de Loayza *et al.* (2018), realizado en el humedal El Cascajo - Santa Rosa, obtuvieron valores que fueron de 7,85 (Cercano actividades antrópicas) hasta 8,7 (cerca al mar). En cambio, en otros estudios se encontró niveles cercanos a la neutralidad como en el humedal San Pedro de Quilcay reportó 6,03 a 7,60 (Rivas *et al.*, 2022) y en el humedal Huacho-Hualmay-Carquín que obtuvo valores cerca de 7 (Hoyos, 2021). Por ende, esta alcalinidad en los espejos de agua se debió a que algunos sectores están influenciados directamente con aguas marinas con respecto a las que no tienen contacto (Díaz, 2012), también podría ser referencia que existe poco desplazamiento de agua y una posible presencia de contaminantes por el humano (Sánchez *et al.*, 2014), en consecuencia, no permitiría un óptimo desarrollo de la cadena trófica acuática (García *et al.*, 2018).

La temperatura del agua que se registró en el presente estudio fue de 19,3 hasta 23 °C (época húmeda) y 21,9 hasta 31,1 °C (época seca), además, no se encontró una correlación significativa ($p > 0,05$) entre la temperatura y las bacterias indicadoras. Así mismo, este

parámetro no fue posible compararlo con la categoría 4 E-1 del ECA para agua, debido a que la comparación requiere como mínimo 1 año para determinar el promedio histórico (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). Estos resultados de la temperatura pudieron ser corroboradas con estudios de años anteriores realizados en el mismo humedal, como lo descrito en Fajardo (2018) obteniendo valores de 28,2 hasta 34,9 °C (época seca), 21,6 hasta 29,7 °C (época poco lluviosa) y 19,1 hasta 24,1 °C (época lluviosa). Del mismo modo, para Chacon (2020) que registró desde 21,8 hasta 23,1 °C en octubre 2018, como también lo descrito por Canales (2022) registró 24,50 hasta 31,70 °C en marzo y 21,10 hasta 24.10 °C en octubre. Analizando estos resultados, se concluyó que la temperatura es variable según las estaciones del clima como verano, otoño, invierno y primavera, además mostraron coincidencias y ligeras variaciones de temperatura con respecto a las estaciones establecidas en el estudio base del plan maestro Humedales de Ventanilla 2009-2014 (GORE Callao, 2009).

Con respecto a las concentraciones de conductividad eléctrica, se hallaron valores desde los 12 710 hasta 118 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (época húmeda) y 14 660 hasta 90 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (época seca). Además, se encontró una correlación significativa ($p < 0,01$) entre CE y BH en la época seca. Por otro lado, la presencia de este parámetro en el ACR humedales de ventanilla, evidenció que todas las estaciones superaban los límites del ECA para agua categoría 4-E1. De modo similar, en el estudio de Fajardo (2018) registró valores de CE en febrero que oscilaron entre 14 180 a 128 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en mayo entre 12 730 a 103 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en agosto entre 14 010 a 63 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos hallazgos son consistentes con los de Canales (2022), quien reportó valores de 16 450 a 81 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en marzo y de 100 a 59 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octubre, evidenciando una correlación significativa entre la conductividad y la proximidad de la urbanización con respecto del ACR Humedales de Ventanilla. Sin embargo, hay algunos humedales que reportaron valores más bajos de CE como el humedal San Pedro de Quilcay, con mediciones que variaron de 6,54 hasta 7,26 mS/cm (Rivas *et al.*, 2022). Por otro lado, el humedal Huacho-Hualmay-Carquín presentó valores elevados de 1 868 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto 1 y de 1 970 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto 2 (Hoyos, 2021). En la Laguna Marvilla de los Pantanos de Villa, se observaron valores entre 4 493,3 a 4 793,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante octubre del 2019 hasta agosto del 2020, y valores desde 4 520 a 4 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octubre del año 2020 (Huamán *et al.*, 2020). El humedal costero El Cascajo-Santa Rosa, también se detectaron valores altos que fluctuaron de 900 a 3 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Loayza *et al.*, 2018), y el ACR albuferas

de Medio Mundo se encontraron valores desde 4 300 hasta 5 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 30 cm de profundidad (Quiroz, 2019). Debido a estos resultados, concluyó que la conductividad en estos ecosistemas acuáticos está influenciada por los aportes de sales del océano y del río (Malaver *et al.*, 2014), también se debe al tipo de suelo, al contacto del agua y sedimento (Quiroz, 2019), a la profundidad y movimiento del agua (García *et al.*, 2018).

Las concentraciones de oxígeno disuelto mostraron valores desde 5,78 a $> 20 \text{ O}_2\text{mg}/\text{L}$ (época húmeda) y 4,56 a 16,81 $\text{O}_2\text{mg}/\text{L}$ (época seca), del cual hubo una ligera disminución por temporada de monitoreo. Además, se halló una correlación significativa entre OD y las cuatro bacterias indicadoras durante la época húmeda. Por otro lado, la presencia de este parámetro en casi todas las estaciones del ACR humedales de ventanilla, evidenciaron buenas condiciones para la vida acuática ($> 5,0 \text{ mg}/\text{L}$) según ECA para agua categoría 4-E1 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). En este sentido, hubo estudios realizados en el mismo humedal como la investigación de Fajardo (2018) del cual indicó una concentración de 0,47 a 18,07 mg/L durante febrero (época seca), en mayo de 1,17 a 16,14 mg/L y en agosto de 1,49 a 20,08 mg/L (época lluviosa), además, en la investigación de Chacon (2020) tuvo valores de 6,4 mg/L (al frente del balneario Costa Azul) hasta 10,2 mg/L (al frente AA. HH Valle verde), como también en el estudio de Canales (2022) mostró buenas condiciones para oxígeno disuelto de 7,44 a 9,71 mg/L (marzo) y 7,69 a 13,72 mg/L (octubre). De igual manera, ocurre en otros humedales al norte de Lima donde existe ligeramente bajo en oxígeno disuelto, como lo descrito por Loayza *et al.* (2018) desde 4,6 a 6,0 mg/L en el humedal Cascajo-Santa Rosa, como también en el estudio de Quiroz (2019), del cual varió desde 3,44 a 7,00 mg/L a 30 cm de profundidad. Cabe mencionar que existen otros estudios en la costa de lima donde reflejan buenas condiciones, tal y como muestra Sánchez *et al.* (2014), Tello *et al.* (2014), Huamán *et al.* (2020) y Rivas *et al.* (2022) que obtuvieron resultados de 5,50 a 9,32 mg/L ; 7,0 a 7,4 mg/L ; 10,3 a 18,1 mg/L ; y 6,20 a 8,20 mg/L cada uno respectivamente. Analizando estos resultados, se concluye que las concentraciones bajas de oxígeno disuelto pueden estar influenciados por la poca profundidad del espejo de agua, presencia de plantas acuáticas (Quiroz, 2019) como la *Eichhornia crassipes* “lenteja de agua” (Chandra *et al.*, 2010) o por recolocar aguas subterráneas a través de piezómetro (Fajardo, 2018). En cambio, las concentraciones altas en oxígeno disuelto indican que existe una buena conservación del ecosistema acuático permitiendo el desarrollo de especies flora, fauna y microorganismos acuáticos (Fajardo, 2018).

La concentración de salinidad varió desde 7,28 a > 42 ppm (época húmeda) y 8,51 a > 42 ppm (época seca). Además, se encontró una correlación significativa ($p < 0,01$) entre salinidad y BH en la época seca. Por otro lado, este parámetro no es considerado en la categoría 4 E-1 del ECA para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM). Estas concentraciones de salinidad fueron elevadas al igual que el estudio de Ruiz (2008), donde se evaluó tres humedales en la costa norte de Lima, donde obtuvo valores desde 0,36 a 105,36 g/L durante otoño e invierno (humedal el Paraíso); 0,07 a 45,34 g/L durante verano e invierno (humedal Albuferas de medio mundo) y 1,20 a 114,32 g/L durante otoño e invierno (humedal la Encantada). Por otro lado, en la investigación de Menéndez *et al.* (2011) realizada en Cuba, obtuvieron de 50 a 70 ‰ (temporada de lluvia) y de 55 a 81 ‰ (en época de poca lluvia). Lo mismo ocurrió por Malaver *et al.* (2014) en el humedal Laguna de Tacarigua, donde estudiaron una época de altas lluvias (marzo) provocada por el fenómeno de La Niña con valores desde 0 hasta 32 ‰ y una época de alta temperatura (agosto) que obtuvieron valores de 0 a 35 ‰. A modo de conclusión, estas altas concentraciones de salinidad dependen de sales disueltas y temperatura, con respecto a su comportamiento están las precipitaciones, escorrentía superficial, escorrentía subterránea y la constante recirculación de aguas marinas (Menéndez *et al.*, 2011), además, concentraciones inferiores de salinidad puede ser por una menor mezcla de aguas fluviales (Malaver *et al.*, 2014).

4.4. Concentración de nutrientes del ACR Humedales de Ventanilla

En esta investigación se determinó y correlacionó los nutrientes (nitrógeno total y fósforo total), con respecto a las bacterias indicadoras de contaminación de los recursos hídricos superficiales ACR Humedales de ventanilla.

Con respecto al nitrógeno total, el presente estudio tuvo valores desde < 1,0 hasta 2,26 mg/L en la época húmeda y valores inferiores a 1,0 mg/L en la época seca. Además, no se encontró una correlación positiva o negativa. Por lo que, no existe relación entre nitrógeno total frente a las bacterias indicadoras (CF, EC, ENT y BH). Por otro lado, la presencia de este parámetro en el ACR humedales de ventanilla, evidencio que sobrepasaba los límites del ECA para agua categoría 4-E1 en la estación M1 y M7. En este sentido, se encontró estudios similares que fue reportado por Quiroz (2019) del cual sus concentraciones fluctuaron de 1,40 hasta 15,240 mg/L a 30cm de profundidad en la Albufera de Medio Mundo. Del mismo modo, el

humedal Huacho-Hualmay-Carquín se registró valores de 1,93 a 9,63 mg/L (Hoyos, 2021). No obstante, hubo investigaciones donde el nitrógeno total era tan elevado, como lo menciona Barrero y Márquez (2015) del cual obtuvieron concentraciones desde 5,84 hasta 26,4 mg/L dentro del Humedal la Conejera en Colombia. Así mismo, en el estudio del humedal El Cascajo - Santa Rosa en Chancay obtuvieron valores elevados de nitrógeno total que osciló de 20,8 a 78,65 mg/L, estos valores se debieron al exceso de entrada de materia orgánica por las actividades humanas colindante al humedal (Loayza *et al.*, 2018). De este modo, se concluye que la presencia del nitrógeno total podría deberse al constante uso de detergentes para el lavado de autos y ropa (Hoyos, 2021), también a la actividad ganadera y la existencia de AA.HH. alrededor del humedal (Loayza *et al.*, 2018).

La concentración de fósforo total fue de 0,031 a 0,347 mg/L (época húmeda) y 0,022 a 0,4590 mg/L (época seca). Además, no se encontró una correlación positiva o negativa. Por lo que, se rechazó la hipótesis de investigación y se acepta la hipótesis nula, es decir no existe relación entre fósforo total frente a las bacterias indicadoras (CF, EC, ENT y BH). Cabe mencionar que los resultados de fósforo total tuvieron presencia en todas las estaciones de muestreo y sobrepasaban los límites del ECA para agua categoría 4-E1. En este sentido, hubo resultados similares en el mismo humedal como lo describe Chacon (2020), donde obtuvo valores de 0,0361 a 0,6410 mg/L (cerca al AA. HH Valle verde y Balneario Costa Azul). De igual manera ocurre en otro humedal al norte de Lima, la Albufera de Medio Mundo tuvo valores desde < 13 a 100 µg/L que equivale a < 0,013 a 0,100 mg/L (Quiroz, 2019). Luego, en el humedal Huacho-Hualmay-Carquín que osciló entre 0,01 a 0,51 mg/L (Hoyos, 2021). Por último, en la Laguna Marvilla de los Pantanos de Villa, se obtuvo valores entre 0,2 a 4,0 mg/L en octubre 2020, del cual la mayoría de estaciones de muestreo superaron los valores permitidos para el ECA para agua (Huamán *et al.*, 2020). En efecto, se concluye que estas de concentraciones fósforo total son características de espejos de agua estancado o con poco movimiento (OMS, 2017), provocando el desarrollo de macrófitas y microalgas (García *et al.*, 2018) como lo que ocurrió en el humedal El Cascajo - Santa Rosa; por la presencia de la macrófita *Pistia stratiotes* (Loayza *et al.*, 2018) y en los humedales de Coimbatore por el alto aporte de nutrientes conllevó al crecimiento del *Eichhornia crassipes* (Chandra *et al.*, 2010). Además, otras causas que aportarían al incremento de fosforo total hacia el ACR, son las escorrentías, los vertimientos de aguas residuales domesticas (detergentes) y los fertilizantes (Quiroz, 2019).

4.5. Identificación de las zonas de riesgo en función al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

En esta investigación se comparó los resultados obtenidos con la normativa vigente en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del ECA para agua en la categoría 4-E1, para luego identificar las zonas con riesgo a través de técnicas de interpolación (IDW y KO) dentro del ACR Humedales de Ventanilla. Como resultado se obtuvo que 6 parámetros de estudio que pudieron ser comparadas para realizar los mapas de isolíneas en función al ECA para agua en su categoría 4-E1. Logrando encontrar que los promedios de cada parámetro eran muy dinámicos en todo los espejos y canales de agua del humedal, además, hubo parámetros que parcialmente superaban los límites (pH, CE, NT y FT) y algunos que cumplían los límites (OD y CF) de la categoría 4-E1 del ECA para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

En este sentido, hubo estudios similares anteriormente descritos en el mismo humedal, pero realizada bajo una técnica de interpolación diferente (*Spline*) como lo estudiado por Fajardo (2018), donde el pH mostró tantas zonas con y sin riesgo en el humedal, del cual ocurre de manera diferente para el presente estudio, donde abarcaron más zonas con riesgo y pocas zonas sin riesgo cercanos al A.H. Valle Verde. En la conductividad eléctrica, Fajardo (2018) tuvo zonas de riesgo en todo el humedal, de igual manera en la presente investigación. El oxígeno disuelto para Fajardo (2018) tuvo zonas con riesgo de noroeste, centro y sureste, en cambio para el presente estudio, tuvo zonas sin riesgo en todo el humedal. El fósforo total para Fajardo (2018) presentó zonas con riesgo en casi todo el humedal y zonas sin riesgo cercano al A.H. Valle Verde, por el contrario, la presente investigación tuvo zonas sin riesgo con dirección al este del humedal (cerca al A.H. Defensores de la Patria). Los coliformes termotolerantes para Fajardo (2018) tuvo zonas con riesgo en las estaciones cercanas a los AA.HH. Defensores de la Patria, Valle verde y Cooperativa Apurímac, por el contrario, en el presente estudio estuvieron consideradas zonas sin riesgo. Por último, el nitrógeno total en el presente estudio, mostró que las estaciones M1 y M7 como zonas con riesgo, y las estaciones restantes con valores inferiores a < 1 , además no pudo ser comparado con Fajardo (2018), ya que en su estudio no determinó este parámetro. Analizando estos resultados, se puede concluir que aún hay estaciones que no cumplen la normativa y las actividades de los

AA.HH. cerca del humedal indican zonas de riesgo de contaminación, por lo que generaría problemas a nivel de flora, fauna y salud en el hombre (Fajardo, 2018).

Por otro lado, para generar los mapas de isolíneas se tuvo que seguir lo recomendado anteriormente e interpolar cada parámetro. Por ello, se utilizó dos técnicas de interpolación el IDW y KO. Estas técnicas fueron realizadas con la herramienta *Geostatistical Analyst* en el programa ArcGIS. Cabe señalar que estas técnicas fueron también empleadas por Romero (2015) y Hernández (2017), quienes usaron la herramienta *Geostatistical Analyst* para generar interpolaciones de IDW o KO, donde indicaban que a través de los errores (Mean Error y RMS) se podía elegir una de las técnicas de interpolación que se ajustaban a la realidad de los datos del estudio. Casi similar indicaba Guzmán *et al.* (2012) que para elegir la predicción en base a la interpolación de *kriging* ordinario calculó el mejor ajuste a estos modelos a través del error medio estandarizado (debe ser cercano a cero) y el error cuadrático medio (debe ser cercano a 1). Por el contrario, otros autores como Malaver *et al.* (2014) y Sánchez *et al.* (2014) del cual emplearon la técnica de interpolación *Kriging* utilizando el programa PAST V.2.15 y *Surfer* respectivamente, omitiendo verificar si sus modelos de interpolación presentaban algún error en cada parámetro. En tal sentido, se pudo afirmar que el uso de estas técnicas de interpolación fue importante para conocer el error y elegir la adecuada técnica por cada parámetro, de esta manera, obtener una correcta estimación en lugares donde no fueron muestreados (Johnston *et al.*, 2001).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Evaluar el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras de contaminación y parámetros fisicoquímicos dentro del ACR Humedales de Ventanilla

Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y bacterias indicadoras que se encontraron en el ACR Humedales de Ventanilla, fue fundamental para determinar el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales, lo cual demostró que algunos parámetros cumplieron con la normativa y otros sobrepasan los límites permitidos del ECA para agua en la categoría 4-E1 (conservación para el ambiente acuático). Además, la presencia de las bacterias (coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp y bacterias heterótrofas) que actuaron como indicadores fue esencial, ya que demostró el alto grado de contaminación acuática, la fuente de contaminación fecal (humana, mixta y animal) y la eutrofización de los cuerpos de agua. Ante estas determinaciones que mostraban el deterioro de la calidad del agua en las distintas zonas del ACR Humedales de Ventanilla, se concluyó que el estado del ecosistema está microbiológicamente afectado. De esta manera, se logró cumplir con el objetivo general del estudio.

2. Analizar la influencia de las bacterias indicadoras de contaminación en el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla

Se analizó las bacterias indicadoras de contaminación en el humedal, del cual, solo los coliformes termotolerantes se compararon con el ECA para agua, y se encontraron por debajo del límite en la categoría 4-E1. Teniendo en cuenta los antecedentes de estudio;

este parámetro ha disminuido con el transcurso de los años. Al igual que las demás bacterias evaluadas como *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas que tuvieron mayor presencia y variación en los distintos lugares del ecosistema debido al cambio de temporada húmedo-seco. Esto se debe a la capacidad de adaptación de estas bacterias a ciertas condiciones climáticas y ambientales; tales como temperatura, precipitación, descarga de aguas residuales, desperdicios fecales, salinidad, nutrientes disponibles y las condiciones alcalinas. Por otro lado, la reducción de las concentraciones de estas bacterias se pudo haber debido a las intervenciones del gobierno regional y los guardaparques quienes colocaron cercos perimétricos alrededor del humedal y fomentaron actividades de educación ambiental hacia la comunidad. A pesar de este descenso en la cuantificación de estas bacterias a lo largo de los años, aún se observa su presencia, como los coliformes termotolerantes; que señalan una contaminación fecal y transmisión de patógenos en el agua, además *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp. implican un riesgo para la salud pública, y las bacterias heterótrofas; determinan nivel eutrofización en el medio ambiente, poniendo en peligro el estado de conservación de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla. Por ello, es esencial incluirlos en los monitoreos de calidad de agua e incorporarlos dentro del ECA para agua en la categoría 4.

3. Determinar el grado de contaminación, origen del residuo fecal y nivel eutrofización en las estaciones de muestreo del ACR Humedales de Ventanilla

Se determinó cuáles eran las estaciones de muestreo que presentarían valores elevados en cuanto al grado de contaminación, la presencia de la fuente de materia fecal y el nivel de eutrofización mediante las bacterias indicadoras. En ese sentido, las relaciones como EC/CF indicaron que todas las estaciones tuvieron un alto grado de contaminación en el medio acuático (0,909 en la época húmeda y 0,899 en la época seca). Además, la otra relación EC/ENT mostró que las estaciones en promedio indicaban una contaminación fecal de fuente humano en la M2, M3, M4, M7 y M8, la contaminación mixta para las estaciones M6, M9 y M10, y la contaminación fecal de fuente animal en las estaciones M1 y M5. Seguidamente, el nivel de eutrofización que presentaba el humedal fueron condiciones mesotróficas hasta eutróficas a lo largo de todas las estaciones. Debido a ello, estas relaciones entre bacterias fueron eficientes, ya que demostró que cada

estación de muestreo está siendo influenciada por diferentes factores; tales como cambio de temporada, temperatura, precipitaciones, pH, oxígeno disuelto y nutrientes del agua. Estas relaciones bacterianas pueden ser utilizadas como indicadores del estado de conservación en que se encuentran los ecosistemas acuáticos clasificados por el convenio RAMSAR.

4. Determinar la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y las bacterias indicadoras de contaminación en los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla

Se demostró si existe la relación entre los valores de los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura) con las bacterias indicadoras, del cual mostró una fuerte correlación inversa de pH con los *Enterococcus* sp., y el oxígeno disuelto con 4 bacterias (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas), además las bacterias heterótrofas se relacionan inversamente con la conductividad y salinidad, dando a conocer que estos parámetros fisicoquímicos podrían condicionar la supervivencia de estas bacterias. De esta manera, logrando observar las relaciones entre estos parámetros fisicoquímicos y las bacterias indicadoras dentro de los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla.

5. Determinar la relación que existe entre la concentración de nutrientes y las bacterias indicadoras de contaminación en los recursos hídricos superficiales del ACR Humedales de Ventanilla

Se demostró que no existe la relación con respecto a los nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) con las bacterias indicadoras; durante las dos épocas de muestreo. Sin embargo, la presencia de las concentraciones de estos nutrientes; no garantiza el crecimiento de estas bacterias, ya que estos nutrientes pueden ser absorbidos por otras plantas acuáticas y otros microorganismos como las microalgas.

6. Comparar las concentraciones de los parámetros de estudio con la normativa vigente, específicamente en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del ECA agua para identificar zonas de riesgo dentro del ACR Humedales de Ventanilla

Se comparó 6 de los 11 parámetros de estudio en función con la normativa vigente establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del ECA para agua, encontrándose que algunos ecosistemas acuáticos del ACR Humedales de Ventanilla estuvieron excediendo los rangos permitidos. Se indicó un pH con tendencia hacia la alcalinidad, el exceso de conductividad eléctrica, la presencia de nitrógeno total y fósforo total. Debido a ello, estas altas concentraciones fueron causadas por la distancia de los centros poblados y del mar, por cambios de usos de suelo, por las condiciones climáticas e hidrológicas. Además, solo el oxígeno disuelto y los coliformes termotolerantes estuvieron dentro del rango permitido por el ECA para agua en la categoría 4-E1. Por último, se generó mapas de isolíneas logrando identificar las zonas con nivel de riesgo (alta contaminación) y sin riesgo (zonas más conservadas) de cada parámetro.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se hace prioridad la implementación de sistemas de alcantarillado a los asentamientos humanos para evitar filtración del agua de desagüe hacia el humedal y la vigilancia constante alrededor del ACR preservando el estado del ecosistema. Además, como indica Chandra *et al.* (2010) el establecimiento de áreas de amortiguación alrededor de los espejos de agua en especial los hábitats de aves, reduciría el contacto con el hombre y aumentaría el restablecimiento de la calidad ambiental del agua en el humedal.
2. Se sugiere la implementación en la normativa peruana del ECA para agua en la categoría 4; los parámetros de *Escherichia coli*, *Enterococcus* sp. y bacterias heterótrofas, por lo que su presencia puede indicar contaminación animal, mixta o humana, y el nivel de eutrofización, que se debería tomar en cuenta en los ecosistemas de humedales por tener contacto marino-costero. También el cambio del valor establecido para los coliformes termotolerantes en la categoría 4 (1000 NMP/100 mL), ya que es muy permisivo y no refleja la calidad del agua ni el riesgo para la salud pública y ambiental.
3. Realizar replicaciones de las relaciones EC/CF y EC/ENT en otros humedales costeros; de esta manera conocer el grado de contaminación acuática, la fuente de contaminación de materia fecal humana o animal, como también el uso de índice de eutrofización.
4. Realizar la detección del nitrógeno total con otra metodología que permita rangos inferiores a 1,0 mg/L (método Kjeldah), una opción podría ser el método de persulfato que detecta rangos inferiores a 2,9 mg/L.

5. Se sugiere evaluación constante de la calidad de agua para que se encuentren dentro de la normativa actual del ECA para agua en la categoría 4-E1, además la generación de isolíneas en otros ecosistemas similares, así identificar las zonas afectadas que ayudaría a una rápida intervención de los gobiernos regionales o municipalidades.

6. Se recomienda el uso de un brazo extensor para toma de muestra en espejos y canales de agua, así evitaremos la resuspensión de los sedimentos para no obtener datos ambiguos.

7. Si en el futuro hubiera la presencia de otra pandemia o epidemia, es recomendable generar un protocolo de seguridad para salir a campo, como se realizó durante la pandemia del COVID-19.

Estudios complementarios

- Ante la presencia de bacterias se recomienda hacer investigaciones relacionadas a parásitos de vida libre y en la biota acuática del ACR.

- Se recomienda el estudio de microorganismos presentes a nivel de los sedimentos en los espejos y canales de agua del ACR.

- Determinar la presencia de microalgas en especial de las cianobacterias en el espejo rojo (M10) del ACR.

- Formular estudios de biorremediación en los espejos de agua afectados, en especial en aquellas zonas con carga bacteriana alta que puede ser un riesgo para la salud humana y la ecología del humedal.

REFERENCIAS

- Acevedo, A. (2021). *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales para el riego de la subcuenca del río Carash con métodos multivariados, San Marcos, Huari-Ancash, 2020*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNSAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4749>
- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] y Water Environment Federation [WEF]. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales]. (23a ed.). American Public Health Association.
- Aponte, H. (2017). *Humedales de la Costa central del Perú: un diagnóstico de los humedales de Santa Rosa, laguna El Paraíso y Albufera de Medio Mundo*. CooperaciónAcción. https://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo_0/140.pdf
- Ávila, S., Estupiñán, S., Caicedo, L., Calderón, X. y Rubiano, W. (2019). Diagnóstico de la calidad bacteriológica del agua del Humedal Córdoba, Bogotá. *Nova*, 17(31), 87-95. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/946>
- Barrero, M. y Márquez, A. (2015). *Evaluación de la Calidad del agua en el Humedal La Conejera, Localidad 11 de Suba* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional UDFJC. <http://hdl.handle.net/11349/4299>
- Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M, Fricker, C. y Glasmacher, A. (2003). *Heterotrophic plate counts and drinking-water safety: the significance of HPCs for water quality and human health* [Recuentos de placas heterótrofas y seguridad del agua potable: la importancia de los HPC para la calidad del agua y la salud humana]. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42612>
- Boehm, A. B. y Sassoubre, L. M. (2014). Enterococci as Indicators of Environmental Fecal Contamination [Enterococos como indicadores de contaminación fecal ambiental]. Gilmore M., Clewell D., Ike Y. y Shankar N. (Eds.). *Enterococci from Commensals to Leading Causes of Drug Resistant Infection*. pp. 101-121. Massachusetts Eye and Ear Infirmary. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK190421/>
- Byappanahalli, M., Nevers, M., Korajkic, A., Staley, Z. y Harwood, V. (2012). Enterococci in the Environment [Enterococos en el Medio Ambiente]. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 76(4), 685–706. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00023-12>

- Canales, H. P. (2022). *Variabilidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el área de conservación regional Humedales de Ventanilla Callao durante el año 2018*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18901>.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS], Organización panamericana de la salud [OPS] y Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría*. (OPS/CEPIS/PUB/04.109).
- Chacon, R. X. (2020). *Evaluación de la biodiversidad de los Humedales de Ventanilla* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15859>.
- Chandra, N., Nishadh, K. y Azeez, P. (2010). Monitoring water quality of Coimbatore wetlands, Tamil Nadu, India [Monitoreo de la calidad del agua de los humedales de Coimbatore, Tamil Nadu, India]. *Environmental monitoring and assessment*, 169(1-4), 671-676. doi.org/10.1007/s10661-009-1206-0
- Correa, R. J. (2014). Calidad del agua en Humedales del plano de inundación del Río Atrato. *Revista Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 1(1), 93–109. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/16917>
- Coyne, M. S. y Howell, J. M. (1994). The Fecal Coliform/Fecal Streptococci Ratio (FC/FS) And Water Quality in the Bluegrass Region of Kentucky [La proporción de coliformes fecales/Estreptococos fecales (FC/FS) y la calidad del agua en la región de Bluegrass de Kentucky]. *Soil Science News and Views*, 34. https://uknowledge.uky.edu/pss_views/34
- De la Lanza, E. G. y Hernández, P. S. (2019). Variación de la calidad del agua de La Ciénega de Tláhuac, México. *CIENCIA Ergo-Sum*, 26(3). <https://doi.org/10.30878/ces.v26n3a4>
- Decreto Supremo N° 074-2006-AG [Ministerio de Agricultura y Riego]. Establecen Área de Conservación Regional “Humedales de Ventanilla” en la Provincia Constitucional del Callao. 20 de diciembre de 2006. Diario Oficial El Peruano No. 334986-334988.
- Decreto Supremo N° 016-2009-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Actualización del Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas. 03 de setiembre de 2009. Diario Oficial El Peruano No. 401904.

Decreto Supremo N° 003-2012-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Precisa los Límites del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. 06 de setiembre 2012. Diario Oficial El Peruano No. 474026 – 474027.

Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Estrategia Nacional de Humedales. 24 de enero de 2015. Diario Oficial El Peruano No. 545326.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Estándares de calidad ambiental [ECA] para agua y establecen Disposiciones Complementarias. 07 de junio de 2017. Diario Oficial El Peruano No. 10-19.

Díaz, S. (2012). *Estudio de la calidad del agua del humedal costero, Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda, Venezuela* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela]. Repositorio Institucional UCV. <http://hdl.handle.net/10872/15669>

Fajardo, V. N. S. (2018). *Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, región Callao* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7738>

Fernández, C. A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>

Fewtrell, L. y Bartram, J. (2001). *Water quality: guidelines, standards and Health, assessment of risk and risk management for water-related infectious diseases* [Calidad del agua: directrices, normas y salud: evaluación del riesgo y gestión del riesgo de enfermedades infecciosas relacionadas con el agua]. World Health Organization Series. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42442>

Flores, R. (2017). *Variación temporal de la calidad de agua en la bocatoma “la atarjea”, río Rímac (2009-2015)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2892>

García-Armisen T., Prats J. y Servais P. (2007). Comparison of culturable fecal coliforms and *Escherichia coli* enumeration in freshwaters [Comparación de coliformes fecales cultivables y enumeración de *Escherichia coli* en agua dulce]. *Canadian Journal of Microbiology*, 53, 798-801. <https://doi.org/10.1139/W07-033>

- García, S. (2016). *Generalización de variables medioambientales mediante interpolaciones GIS* [Tesis doctoral, Universidad politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional UPM <https://oa.upm.es/39397/>
- García, J., Benjumea, C. y Quijano, M. (2018). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los humedales del Altiplano del Oriente antioqueño. Quijano M., Villabona S., García J y Gómez A. (Eds.). *Los humedales del Altiplano del Oriente Antioqueño y su conceptualización*. pp. 97-115. Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente.
- Garmin (2020). Manual de usuario eTrex 10/20/20x/30/30x. https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/eTrex_10_20x_30x/ES-XM/eTrex_10_20_20x_30_30x_OM_ES-XM.pdf
- Geldreich, E. y Kenner, A. (1969). Concepts on fecal streptococci in stream pollution [Conceptos sobre estreptococos fecales en la contaminación de arroyos]. *Water Pollution Control Federation*, 41(8), R336-R341.
- Gerba, C. P. (2015). *Indicator Microorganisms* [Microorganismos indicadores]. Pepper L., Gerba C. P. y Gentry T. J. (Eds.), *Environmental Microbiology*. pp. 551–564. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-394626-3.00023-5>
- Gobierno Regional del Callao [GORE Callao]. (2009). *Plan maestro 2009-2014 del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla*. Perú, Lima. <https://www.oceandocs.org/handle/1834/8220>
- Guzmán, A., Selvaraj, J. y Martínez, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de parámetros físico-químicos en la bahía de Tumaco. *Acta Agronómica*, 61(5), 20–21. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/41440
- Hach (2020). HQ40d Portable Meter [Medidor portátil HQ40d]. Hach Company/Hach Lange. <https://latam.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7648008621>
- Hachich, E. M, Di Bari, M., Christ, A. P. G., Lamparelli, C. C., Ramos, S. S. y Sato, M. I. Z. (2012). Comparison of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* densities in freshwater bodies [Comparación de coliformes termotolerantes y densidades de *Escherichia coli* en cuerpos de agua dulce]. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(2), 675-68. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000200032>
- Hamilton, W., Kim, M. y Thackston E. (2005). Comparison of commercially available *Escherichia coli* enumeration test: Implications for attaining water quality standards

[Comparación de la prueba de enumeración de *Escherichia coli* comercialmente disponible: Implicaciones para alcanzar los estándares de calidad del agua]. *Water research*, 39(20), 4869–4878. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.02.006>.

Helsel, D. R. (1987). Advantages of nonparametric procedures for analysis of water quality data [Ventajas de los procedimientos no paramétricos para el análisis de datos de calidad del agua]. *Hydrological Sciences Journal*, 32(2), 179-190. <https://doi.org/10.1080/02626668709491176>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación 6th edición*. McGraw-Hill Education.

Hernández, G. M. A. (2017). *Aplicación de SIG en la caracterización de las aguas de dos acuíferos de las comarcas de la Marina Alta-Safor* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <http://hdl.handle.net/10251/88840>

Hoyos, A. I. (2021). *Determinación del estado de conservación del humedal Huacho-Hualmay-Carquín, provincia de Huaura, departamento de Lima* [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional digital UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/1106>

Huamán, S., Lucen, M., Paredes, M. y Changanahui, D. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *South Sustainability*, 1(2). <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-019>

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K. y Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst* [Uso de ArcGIS Geostatistical Analyst]. ESRI Inc. Redlands.

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., Lucas, N. y Magri, A. (2008). *ArcGIS 9: ArcGIS Geostatistical Analyst Tutorial* [ArcGIS 9: Tutorial de ArcGIS Geostatistical Analyst]. ESRI Inc. Redlands.

Kloot, R., Radakovich, B., Huang, X. y Brantley, D. (2006). A comparison of bacterial indicators and methods in rural surface waters [Una comparación de indicadores bacterianos y métodos en aguas superficiales rurales]. *Environmental monitoring and assessment*, 121(1), 275-287. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9121-5>

Larrea, J., Rojas, M., Heydrich, M., Romeu, B., Rojas, N. y Lugo, D. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas del Complejo Turístico “Las Terrazas”, Pinar

del Río (Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 9, 492-504.
<https://www.researchgate.net/publication/257957195>

Ley N° 29338 de 2009. Por el cual se dicta la ley de Recursos Hídricos. 30 de marzo de 2009. Diario Oficial El Peruano No. 393473-393486.
<https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29338.pdf>

Loayza, B. K., Castillejos, P. K., Mestas, V. R. y Quiliche, D. (2018). Estudio de la Teledetección y Caracterización Fisicoquímica del Humedal “El Cascajo”, Santa Rosa, Chancay- Lima, Perú. *Infinitum*, 7(1), 52-58.
<http://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/61>

Loucif, K., Neffar, S., Menasria, T., Cherif, M., Houhamdi, M. y Chenchouni, H. (2020). Physico-chemical and bacteriological quality assessment of surface water at Lake Tonga in Algeria [Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas superficiales del lago Tonga en Argelia]. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100284>

Madrid A. y Ortiz, L. (2005). *Análisis y síntesis en cartografía: Algunos procedimientos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2864>

Madriz, F. N. P. (2017). *Evaluación de la calidad física química y bacteriológica del agua de la laguna de Moyua, Matagalpa (Humedal Ramsar N° 1980), periodo 2015-2016* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio digital UNAM <https://repositorio.unan.edu.ni/8753/>

Malaver, N., Rodríguez, M. y Aguilar, V. (2014). Un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua de la laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela. *Acta Biológica Venezuelica*, 34(2), 203-226.
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/revista_abv/article/view/9301

Meeroff, D., Bloetscher, F., Bocca, T. y Morin, F. (2008). Evaluation of Water Quality Impacts of On-site Treatment and Disposal Systems on Urban Coastal Waters [Evaluación de los impactos en la calidad del agua de los sistemas de tratamiento y disposición *in situ* en las aguas costeras urbanas]. *Water, Air and Soil Pollution*, 192, 11–24. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9630-2>

Menéndez, H., Díaz, Martínez, R., González de Zayas, R., y González F. (2011). Caracterización hidroquímica del Gran Humedal del Norte, Ciego de Ávila, Cuba. *Minería y Geología*, 27(2), 15-41.
<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/269>

- Minnesota Pollution Control Agency. (2015). *Water chemistry assessment protocol for wetland monitoring sites, Biological Monitoring Program* [Protocolo de evaluación de la química del agua para sitios de monitoreo de humedales, Programa de Monitoreo Biológico]. Minnesota, EEUU. <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-bwm5-01.pdf>
- Miravet, M. E. (2003). *Abundancia, actividad y diversidad de las bacterias heterótrofas en el Golfo de Batabanó y su uso como indicadoras ambientales* [Tesis doctoral, Universidad de la Habana, Cuba]. Repositorio AquaDocs. <https://aquadocs.org/handle/1834/3398>
- Miravet, M. E., Lugioyo, M., y Rodríguez, F. (2009). Índice microbiológico para evaluar el estado trófico de las aguas de la plataforma SW cubana. *Revista cubana de investigaciones pesqueras*, 26(1): 31-36. <https://aquadocs.org/handle/1834/3496>
- Murray, P., Rosenthal, K. y Pfaller M. (2014). *Medical Microbiology* [Microbiología médica]. Elsevier.
- Mwanamoki, P., Devarajan, N., Thevenon, F., Atibu, E., Tshibanda, J., Ngelinkoto, P., Mpiana, P., Prabakar, K, Mubedi, J., Kabele, C., Wildi, W. y Poté, J. (2014). Assessment of pathogenic bacteria in water and sediment from a water reservoir under tropical conditions (Lake Ma Vallée), Kinshasa Democratic Republic of Congo [Evaluación de bacterias patógenas en agua y sedimentos de un embalse de agua en condiciones tropicales (Lago Ma Vallée), Kinshasa República Democrática del Congo]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(10), 6821–6830. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3891-6>
- Noble, R., Leecaster, M., McGee, C., Weisberg, S. y Ritter, K. (2004). Comparison of bacterial indicator analysis methods in stormwater-affected coastal waters [Comparación de métodos de análisis de indicadores bacterianos en aguas costeras afectadas por aguas pluviales]. *Water Research*, 38(5), 1183–1188. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.038>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. <https://github.com/volaya/libro-sig/releases/download/v3.0/Sistemas.de.Informacion.Geografica.pdf>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2017). *Guidelines for drinking-water Quality* [Directrices para la calidad del agua potable]. OMS <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- Prats, J., Larrea, J., García-Armisen, T., Lugo, D., Rodríguez, A., Servais, P., Rojas, N. y Heydrich, M. (2006). Potential risk due to the microbial pollution in the Almedares

river, Havana Cuba [Riesgo potencial por la contaminación microbiana en el río Almendares, La Habana Cuba]. *Contribution to the Education and Environmental Protection*, 7, 25-24.

Pronaturaleza. (2010). *Documento base para la elaboración de una Estrategia de Conservación de los humedales de la costa peruana*. Pronaturaleza. http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/humedales_de_la_costa_peruan_avf.pdf

Prusty, B. A. K. (2008). *Role of detritus in trace metal dynamics of a wetland system: A case study of Keoladeo National Park, Bharatpur* [Papel de los detritos en la dinámica de metales traza de un sistema de humedales: un estudio de caso del Parque Nacional Keoladeo, Bharatpur]. Report submitted to Council of Scientific and Industrial Research (CSIR). <http://www.sacon.in/wp-content/uploads/2015/06/FT-2008-PR98.pdf>

Quiroz, R. L. (2019). *Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del área de conservación regional Albufera de Medio Mundo, Huaura – Lima* [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional digital UCSS <https://hdl.handle.net/20.500.14095/649>

Ramos, O. L., Vidal, L., Vilardy, S. y Saavedra, L.M. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biológica colombiana*. 13, 87-98. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028004007>

Rasmussen, P. y Ziegler A. (2003). *Comparison and continuous estimates of fecal coliform and Escherichia coli bacteria in selected Kansas streams, May 1999 through April 2002* [Comparación y estimaciones continuas de bacterias coliformes fecales y Escherichia coli en arroyos seleccionados de Kansas, de mayo de 1999 a abril de 2002]. US Geological Survey. http://catalog.gpo.gov/F/?func=direct&doc_number=000551984&format=999

Reasoner, D. J. (1998). *Curso de Certificación de Microbiología (OPS), Recuento heterotrófico en placas*. División de Contaminantes Microbiológicos, WSWRD, NRMRL Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA [Autoridad Nacional del Agua]. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. 13 de enero de 2016. Diario Oficial El Peruano No. 575300-575301.

- Resolución Ministerial N° 173-2021-MINAM [Ministerio del Ambiente]. Designan al “Estuario de Virrilá”, ubicado en el departamento de Piura, como humedal de importancia internacional. 23 de setiembre de 2021. Diario Oficial El Peruano No. 5-6.
- Ríos, T., Agudelo, C. y Gutiérrez, B. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rivas, R., Zerpa, C., Pareja, E., Leiva, D., Huaytalla, V. y Iannacone, J. (2022). Caracterización física y biológica, y servicios ecosistémicos del humedal San Pedro de Quilcay, Lurín, lima, Perú. *The Biologist*, 20(2). <https://doi.org/10.24039/rtb20222021415>
- Rivera, R., De Los Ríos, P. y Contreras, A. (2010). Relations fecal coliforms/ fecal Streptococci as indicators of the origin of fecal pollution in urban and rural water bodies of Temuco, Chile [Relaciones coliformes fecales/estreptococos fecales como indicadores del origen de la contaminación fecal en cuerpos de agua urbanos y rurales de Temuco, Chile]. *Ciencia e investigación agraria*, 37(2), 141-149. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202010000200014>
- Rodríguez, R., Retamozo, R., Aponte, H. y Valdivia, E. (2017). Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*, 16(1), 15-21. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i1.899>.
- Romero, L. (2015). *Aplicación de los sistemas de información geográfica en la caracterización de aguas. Caso de estudio: La Safor* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio institucional UPV <http://hdl.handle.net/10251/53840>.
- Romeu, B., Larrea, J.A., Lugo, D., Rojas, N. y Heydrich, M. (2012). Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 43(3).
- Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., De Roubin, M. y Laurent, P. (2002). Methods of detection and enumeration of coliforms in drinking water: a review [Métodos de detección y enumeración de coliformes en agua potable: una revisión]. *Journal of Microbiological Methods*, 49, 31-54.
- Rudic, Z., Raicevic, V., Bozic, M., Nikolic, G., Obradovic, V. y Petrovic, J. (2014). *Microbiological indicators in the water and sediment of the shallow Panonnian*

Lake-Lake Palic [Indicadores microbiológicos en el agua y sedimentos del lago Panonian somero-Lago Palic]. II Congreso Internacional - Recursos hídricos y humedales, Tulcea, Rumania. <http://www.limnology.ro/water2014/proceedings.html>

Ruiz, B. (2008). *Impacto antrópico sobre los Humedales El Paraíso, Medio Mundo y La Encantada, Huaura, Lima-Perú, 2007-2008* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio Institucional UNITRU. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/59cecb77-b654-46fb-9c44-667487d73229>

Sánchez, R. G., Flores, V. y Henostroza, Q. A. (2014). Calidad ambiental del humedal poza La Arenilla, Callao 2008. *Informe del Instituto del Mar de Perú*, 41(1-4), 202-214. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/2320>

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales*. (6a ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>

Standing Committee of Analysts. (2012). *The Microbiology of Drinking Water– Part 7 – Methods for the enumeration of heterotrophic bacteria by pour and spread plate techniques* [La microbiología del agua potable - Parte 7 - Métodos para la enumeración de bacterias heterótrofas mediante técnicas de placa de vertido y esparcido]. *Methods for the Examination of Waters and Associated Materials*. Environment Agency

Tello, E., Sifuentes, P., Resurrección, J., Cabello, J., Sifuentes, A., Fabián, J. y Bustamante, A. (2014). Caracterización de sedimentos de la laguna El Paraíso, Huacho, Región Lima. *Infinitum*, 4(1). <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/408>

United States Environmental Protection Agency [USEPA]. (1986). *Ambient Water Quality Criteria for Bacteria* [Criterios de calidad del agua ambiental para bacterias] (EPA440/5-84-002). USEPA, Office of Water.

United States Environmental Protection Agency [USEPA]. (2002). *Implementation guidance for ambient water quality criteria for bacteria* [Guía de implementación para los criterios de calidad del agua ambiental para bacterias] (EPA-823-B-003). USEPA, Office of Water. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20003PSB.txt>

Vernberg, W. B., Scott, G. I., Strozier, S. H., Bemiss, J. y Daugomah, J. W. (1996). The effects of urbanization on human and ecosystem Health [Los efectos de la

urbanización en la salud humana y de los ecosistemas]. Vernberg F. J., Vernberg W. B. y Siewicki T. (Eds.). *Sustainable Development in the Southeastern Coastal Zone*. pp. 221–239. University of South Carolina Press, Columbia.

Wheelock, C., Sandoval, E., Zamorio, M. y Cornejo, I. (2019). *Calidad del agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades*. IANAS. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-las-Am%C3%A9ricas_2019.pdf

Yakub, G., Castric, D., Stadterman, D., Tobin, M., Blazina, M., Heineman, T., Lee, G. y Frazier, L. (2002). Evaluation of Colilert and Enterolert Defined Substrate Methodology for Wastewater Applications [Evaluación de la metodología de sustrato definido Colilert y Enterolert para aplicaciones de aguas residuales]. *Water Environmental Research*, 74, 131–135. <https://doi.org/10.2175/106143002X139839>

TERMINOLOGÍA

Área de Conservación Regional. Son áreas de conservación de la diversidad biológica de interés regional y local, para mantener la continuidad de los procesos ecológicos esenciales y la prestación de los servicios ambientales que de ellos se deriven, tal como indica en la actualización del Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas (Decreto Supremo N° 016-2009-MINAM).

Autocorrelación espacial. Es la correspondencia entre las concentraciones de la variable de un lugar conocido con respecto a otro lugar alrededor de dicho punto (Olaya, 2020).

Bacterias. Son células que pueden medir de 0,1 hasta 0,2 mm de diámetro, se ubica dentro de las procariotas, es decir con un núcleo primitivo. (Murray *et al.*, 2014).

Condiciones eutróficas. Es la adición excesiva de carga orgánica pudiendo ser temporal o permanente, causando alteraciones al ecosistema; obteniendo posibles condiciones anóxicas del cual habitarían bacterias anaerobias, también podría causar alteración de la calidad ambiental (Miravet *et al.*, 2009).

Condiciones mesotróficas. Son el equilibrio entre las heterótrofas y sulfatoreductoras, es decir presentan un ambiente con más materia orgánica que la condición oligotrófica (Miravet, 2003).

Conservación. Es la acción de protección de la biosfera por el hombre para mantener y garantizar sus beneficios a generaciones futuras (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM).

Ecosistema. Se entiende un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM).

Estándares de calidad ambiental para agua. representa el análisis previo a proyectos, detallando las condiciones físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas del entorno.

Identifica impactos potenciales y estrategias de mitigación para asegurar un desarrollo sostenible y la conservación ambiental (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Indicador de calidad del agua. Son medidas o percepciones que muestran condiciones del grado de óptimo de calidad del agua o contaminación de la misma señalando alguna alteración. Estos se dividen en variables físicas, químicas y biológicas (Madriz, 2017).

In situ. Significa que es realizado en el lugar o en el sitio (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Isolíneas. es una representación gráfica mediante líneas y curvas, donde se visualiza la distribución de los datos (Madrid y Ortiz, 2005).

Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos. Procedimiento que permite evaluar la calidad de los cuerpos de agua, con la finalidad de seguir y controlar los riesgos de contaminantes y los efectos a los usos del agua como también al ecosistema acuático (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Muestra de agua. Es la porción del agua superficial obtenido en campo y recolectado en botellas para luego analizar los parámetros deseados (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Parámetros. Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad del agua (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Residuo Fecal: También conocido como heces, deposición o materia fecal, estos desechos pueden ser sólidos o líquidos y son el producto final de la digestión en humanos y animales. (CEPIS *et al*, 2004).

APÉNDICES

Apéndice 1

Carta de autorización para realizar investigación en el ACR Humedales de Ventanilla

 **GOBIERNO REGIONAL CALLAO**

Año del Bicentenario del Perú: 200 Años de Independencia

Callao, 05 ABR. 2021

CARTA N° 052 -2020-GRC/GRRNGMA

Señor
Mg. Blgo. WILFREDO MENDOZA CABALLERO
Director del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria
Universidad Católica Sedes Sapientiae
Esq. Constelaciones y Sol de Oro s/n, Urb. Sol de Oro
Los Olivos.-

Atención: Mg. Blga. Narda Stella Fajardo – Asesora de Tesis
Asunto: Autorización para realizar investigación (Proyecto de Tesis) en el ACR Humedales de Ventanilla.
Ref.: Carta S/N de la UCSS, Facultad de Ingeniería Agraria (H.R. N° 004331).

De mi consideración:

Es muy grato dirigirme a usted, dando atención a su documento de la referencia, mediante el cual su representada solicita la emisión de autorización para realizar investigación en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, de acuerdo al Proyecto de Tesis titulado *Estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras y parámetros fisicoquímicos en el ACR Humedales de Ventanilla*, a cargo del señor Jean Carlo Rubén Ávalos Urquiza, bachiller de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de su casa de estudios, por un período total máximo de 19 meses, comprendido entre marzo del 2021 y setiembre del 2022.

En ese sentido, esta Gerencia Regional, responsable de la administración de la mencionada área natural protegida, emite la **Autorización para la Realización de Investigación Científica en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, bajo el título de “Estado de conservación de los recursos hídricos superficiales empleando bacterias indicadoras y parámetros fisicoquímicos en el ACR Humedales de Ventanilla”, por un período total máximo de 19 meses, comprendido entre marzo del 2021 y setiembre del 2022**, de acuerdo a los términos planteados en el resumen del proyecto y en la documentación oficial de la UCSS, presentada por el interesado, y bajo las condiciones particulares expresadas en el **Informe N° 007-2021-GRC/GRRNGMA/OAPYMA/RZR**, documento elaborado por el profesional especialista de esta gerencia regional y en el que se sustenta la presente autorización, por lo que se adjunta a la presente.

Sin otro particular, me despido de usted, haciendo propicia la ocasión para expresarle los sentimientos de mi consideración.

Atentamente,


Geog. WENDY DE LA CRUZ GARRIBOLDO
Gerente Regional de Recursos Naturales
y Gestor del Medio Ambiente

☎ Lunes a viernes, de 8:00 a. m. a 4:30 p. m. 📍 Av. Elmer Faucett N° 3970, Callao. ☎ (01) 206 0430 / (01) 201 4411

WDL/Grzr

Apéndice 2

Certificado de calibración del electrodo de pH

 ALAB <small>ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.</small>	LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01 SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017	 ACCREDITED <small>CERT #6032.01</small>
--	--	---

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0020-2021

Expediente : 00077 Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2021-02-27

1 Solicitante	:	INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.	
Dirección	:	Z. I. Asoc. Parque Industrial El Asesor Mza. J-Lt. 6 - Ate - Lima - Lima	
2 Instrumento calibrado	:	MULTIPARÁMETRO	
• Marca	:	HACH	
• Modelo	:	HQ40d	
• Número de serie	:	150400018463	
• Serie del electrodo	:	131682561018	
• Identificación	:	NO INDICA	
• Procedencia	:	U.S.A.	
• Intervalo de medida	:	0,00 pH a 14,00 pH	
• Resolución	:	0,01 pH	
3 Lugar de calibración	:	Laboratorio de Físicoquímica de ALAB	
4 Fecha de calibración	:	2021-02-17	
5 Método de calibración	:		

La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

7. Trazabilidad

Se utilizó las soluciones tampones patrones de pH:

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,008	CC655433	4280-10976852	0,011
6,994	CC631810	4281-10578064	0,011
10,013	CC632041	4282-10582508	0,011

y un termómetro patrón de código PTT-002, con Certificado de Calibración N° LT-091-2020


Oscar F. Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista - Callao
Telf. 01-717 5802 / 01-7175803 / Cel. 961768828
www.alab.com.pe

Certificado de Calibración N° LFQA-0020-2021

Página 2 de 2

8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental	24,5 °C	25 °C
Humedad Relativa	59,0 %H.R.	62,0 %H.R.

9. Resultados

INDICACIÓN DEL PHMETRO (pH)	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN (pH)	ERROR (pH)	INCERTIDUMBRE (pH)
4,46	4,008	0,452	0,014
7,59	6,994	0,596	0,014
10,67	10,013	0,657	0,014

- Valor de la solución tampón patrón = Indicación del pHmetro - Error
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C
- La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura $k = 2$.

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO".
- El equipo no admitió ajuste antes de la calibración.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Apéndice 3

Certificado de calibración del electrodo de conductividad



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA - 0017 - 2021

Expediente : 00077
Fecha de emisión : 2021-02-27

Página 1 de 2

1. **Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
2. **Dirección** : Z.I. ASOC. PARQUE INDUSTRIAL EL ASESOR MZA. J - LT. 6 - ATE - LIMA - LIMA
3. **Instrumento** : CONDUCTÍMETRO
 - Marca** : HACH
 - Modelo** : HQ40d
 - Serie** : 150400018463
 - Serie del electrodo** : 112642583015
 - Procedencia** : U.S.A.
 - Código de identificación** : NO INDICA
 - Intervalo de Indicación** : 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 200 mS/cm
 - Resolución** : 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 0,01 mS/cm
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físico Química de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2021-02-17
6. **Método de calibración**
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la calibración de Conductímetros" Primera Edición, 2014. INDECOPI.
7. **Trazabilidad**

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB EIRL.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB EIRL.

Valor Certificado a 25 °C	N° de lote	Certificado de Análisis	Incertidumbre (k=2)
99,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$	CC20442	4066-11681671	2,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
1412 $\mu\text{S}/\text{cm}$	CC20203	4173-11497708	4,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$
9988,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$	CC20400	4068-11639556	40 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
PTT-002	Termómetro digital de incertidumbre 0,022 °C a 0,034 °C	LT-091-2020

8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura ambiental :	24,5 °C	25,0 °C
Humedad relativa :	59 % H.R.	62 % H.R.

Oscar F. Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

9. Resultados

Valor del Certificado	Lectura promedio del conductímetro	Error	Incertidumbre
99,70 $\mu\text{S/cm}$	98,1 $\mu\text{S/cm}$	-1,60 $\mu\text{S/cm}$	3,2 $\mu\text{S/cm}$
1412 $\mu\text{S/cm}$	1409 $\mu\text{S/cm}$	-3 $\mu\text{S/cm}$	5,6 $\mu\text{S/cm}$
9,988 mS/cm	10,41 mS/cm	0,422 mS/cm	40 $\mu\text{S/cm}$

Valor Certificado = Lectura del Conductímetro - Error

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C.
- Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Apéndice 4

Certificado de calibración de la sonda LDO (Oxígeno disuelto)



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0005-2021

Expediente : 00077
Fecha de emisión : 2021-02-27 Página 1 de 2

1. Solicitante : INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.

2. Dirección : Z.I. Asoc. Parque Industrial El Asesor Mza. J - Lt.6 - Ate - Lima - Lima

3. Instrumento : Sonda LDO

Marca / Fabricante : HACH

Modelo : HQ40d

Serie : 150400018463

Serie del electrodo : 132662597001

Procedencia : U.S.A

Código de identificación : NO INDICA

Intervalo de Indicación : 0 mg/L a 20 mg/L

Resolución : 0,01 mg/L

4. Lugar de calibración : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB

5. Fecha de calibración : 2021-02-17

6. Método de calibración
Medición con solución oxígeno disuelto, basados SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210, 23rd. Ed. 2017

7. Trazabilidad
Solución de cero oxígeno

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	3163	2023-07
HI7040-2	Hanna Instruments	3222	2023-07

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
B-50-3	Bureta, marca WITEG	MV-1248-2019
EM-001	Balanza electrónica, marca Mettler Toledo	BD20-C-0610

8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	: 24,7 °C	24,3 °C
Humedad relativa	: 67 % H.R.	71,0 % H.R.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB EIRL.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB EIRL.


Oscar Félix Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista-Callao
Telf. 01-717 5802 / 01-7175803 / Cel. 961768828
www.alab.com.pe

9. Resultados

Valor referencia (mg/L)	Lectura promedio del instrumento (mg/L)	Error promedio encontrado (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
0,000	0,05	0,05	0,12
7,820	7,74	-0,08	0,12

Valor de referencia = Lectura del Instrumento - Error

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Apéndice 5

Etiqueta para los frascos de la muestra de agua

	Facultad de Ingeniería Agraria Especialidad de Ingeniería Ambiental Etiqueta para muestreo de Agua	
	PROYECTO / CLIENTE: <i>ACR Humedales de Ventanilla</i>	
PUNTO DE MUESTREO: <i>M1</i>		
FECHA: <i>15.07.21</i>	HORA: <i>12:15</i>	
PARÁMETROS: <i>Nitrógeno total</i>		UCSS
CONSERVACIÓN / PRESERVANTE		
Frasco estéril <input type="checkbox"/> Refrigerado <input checked="" type="checkbox"/> Acetato de zinc/NaOH <input type="checkbox"/>	HNO ₃ pH < 2 <input type="checkbox"/> H ₂ SO ₄ pH < 2 <input checked="" type="checkbox"/> NaOH hasta pH>10 <input type="checkbox"/>	Formaldehído <input type="checkbox"/> Alcohol <input type="checkbox"/> Otros:
MUESTREADOR: <i>Jean Carlo Ruben Avalos Verauzza</i>		

	Facultad de Ingeniería Agraria Especialidad de Ingeniería Ambiental Etiqueta para muestreo de Agua	
	PROYECTO / CLIENTE: <i>ACR Humedales de Ventanilla</i>	
PUNTO DE MUESTREO: <i>M1</i>		
FECHA: <i>15.07.21</i>	HORA: <i>12:15</i>	
PARÁMETROS: <i>Fósforo total</i>		UCSS
CONSERVACIÓN / PRESERVANTE		
Frasco estéril <input type="checkbox"/> Refrigerado <input checked="" type="checkbox"/> Acetato de zinc/NaOH <input type="checkbox"/>	HNO ₃ pH < 2 <input type="checkbox"/> H ₂ SO ₄ pH < 2 <input checked="" type="checkbox"/> NaOH hasta pH>10 <input type="checkbox"/>	Formaldehído <input type="checkbox"/> Alcohol <input type="checkbox"/> Otros:
MUESTREADOR: <i>Jean Carlo Ruben Avalos Verauzza</i>		

	Facultad de Ingeniería Agraria Especialidad de Ingeniería Ambiental Etiqueta para muestreo de Agua	
	PROYECTO / CLIENTE: <i>ACR Humedales de Ventanilla</i>	
PUNTO DE MUESTREO: <i>M1</i>		
FECHA: <i>15.07.21</i>	HORA: <i>12:15</i>	
PARÁMETROS: <i>Colif. termotolerante, E.coli, Enterococos, Bact. heterófila</i>		UCSS
CONSERVACIÓN / PRESERVANTE		
Frasco estéril <input checked="" type="checkbox"/> Refrigerado <input checked="" type="checkbox"/> Acetato de zinc/NaOH <input type="checkbox"/>	HNO ₃ pH < 2 <input type="checkbox"/> H ₂ SO ₄ pH < 2 <input type="checkbox"/> NaOH hasta pH>10 <input type="checkbox"/>	Formaldehído <input type="checkbox"/> Alcohol <input type="checkbox"/> Otros:
MUESTREADOR: <i>Jean Carlo Ruben Avalos Verauzza</i>		

Apéndice 6

Geolocalizando la estación de muestreo



Apéndice 7

Toma de muestra de agua para el análisis fisicoquímico



Apéndice 8

Lectura con el multiparámetro portátil Hq40d



Apéndice 9

Datos de campo de parámetros fisicoquímicos de julio del 2021

Registro de Datos en Campo



UCSS

CUENCA: Río Chillón

LUGAR : ACR Humedales de Ventanilla

REALIZADO POR: Jean Carlo Ruben Avalos Urquiza

RESPONSABLE: Jean Carlo Ruben Avalos Urquiza

Punto de monitoreo	Descripción origen/ubicación	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas ¹		Altura msnm	Fecha	Hora	pH	T °C	OD mg/L	COND µS/cm	SALIN ppm	Observaciones ²
						Norte/Sur	Este/Oeste									
M1	Camel Cenco	VENTAN	CALLAO	LIMA	868532	266683	42	15/7/21	12:15	10.79	23.0	17.42	13700	7.86		
M2	Filtro de Agua	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686350	266668	16	15/7/21	12:45	10.70	20.3	7.20	12710	7.28		
M3	Camel 3	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686338	266482	13	15/7/21	13:30	9.79	20.2	11.57	16510	9.73		
M4	Disciplayan	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686222	266362	11	14/7/21	15:30	9.52	20.2	12.60	53300	34.47		
M5	Disciplayan	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686189	266503	12	14/7/21	15:00	9.53	19.9	12.22	57700	37.32		
M6	Valle Verde	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686077	266531	13	14/7/21	14:00	9.16	24.3	7.18	48900	31.63		
M7	Playa Costa Azul	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686077	265432	9	14/7/21	12:30	10.62	19.3	12.16	118600	7.42		
M8	Espejo Central	VENTAN	CALLAO	LIMA	8686004	266256	10	15/7/21	14:15	10.47	20.8	17.40	24410	12.83		
M9	Camel Valle Verde	VENTAN	CALLAO	LIMA	8685637	266490	14	14/7/21	17:00	9.81	20.1	5.78	18430	10.39		
M10	Espejo Rojo	VENTAN	CALLAO	LIMA	8685243	265751	10	14/7/21	16:10	11.42	20.2	7.20	64800	7.42		

¹ Las coordenadas del punto de control deberán ser expresadas en sistema UTM para puntos en cuerpos de agua continental y en sistema geográfico para puntos de monitoreo en el mar, ambos en estándar geodésico WGS84.

² Las observaciones en campo se refieren, entre otros, a características atípicas tales como coloración anormal del agua, abundancia de algas o vegetación acuática, presencia de residuos, actividades humanas, presencia de animales y otros factores que modifiquen las características naturales del cuerpo de agua.

Apéndice 10

Datos de campo de parámetros fisicoquímicos de diciembre del 2021



Registro de Datos en Campo

CUENCA: Río Chillón REALIZADO POR: Jean Carlo Ruben Avalos Urquiza
 LUGAR: ACR Humedales de Ventanilla RESPONSABLE: Jean Carlo Ruben Avalos Urquiza

Punto de monitoreo	Descripción origen/ubicación	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas ¹		Altura msnm	Fecha	Hora	pH	T °C	OD mg/L	COND µS/cm	SALIN ppm	Observaciones ²
						Norte/Sur	Este/Oeste									
M1	Canal Cerco		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8496532	266683	12	15/12/21	11:36	9.00	25.3	9.4	19970	8.62	
M2	Filtro de agua		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486350	266668	16	15/12/21	12:05	8.56	24.9	6.18	14660	8.54	
M3	Camel 3		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486338	266482	13	15/12/21	12:51	8.62	24.4	9.77	16690	9.86	
M4	Disciplaya		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486222	266362	11	15/12/21	14:15	8.75	24.3	10.78	17000	10.04	
M5	Disciplaya		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486489	266508	12	15/12/21	14:47	8.75	24.4	10.11	19100	11.34	
M6	Valle Verde		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486067	266531	13	15/12/21	15:12	8.48	24.3	5.06	15890	9.25	
M7	Playa costa Azul		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486077	265432	9	16/12/21	11:19	10.30	21.9	9.07	32300	20.15	
M8	Espejo Central		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8486004	266256	10	16/12/21	12:41	9.31	24.8	16.81	22100	13.26	
M9	Camel Valle Verde		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8485637	266490	14	16/12/21	14:40	8.33	24.2	9.56	17890	10.56	
M10	Espejo Bajo		VENTANILLA	CALLAO	LIMA	8485543	265751	10	16/12/21	15:45	10.15	31.1	16.41	90100	7.42	

¹ Las coordenadas del punto de control deberán ser expresadas en sistema UTM para puntos en cuerpos de agua continental y en sistema geográfico para puntos de monitoreo en el mar, ambos en estándar geodésico WGS84.
² Las observaciones en campo se refieren, entre otros, a características atípicas tales como coloración anormal del agua, abundancia de algas o vegetación acuática, presencia de residuos, actividades humanas, presencia de animales y otros factores que modifiquen las características naturales del cuerpo de agua.

Apéndice 11

Toma de muestras de agua para el análisis nitrógeno y fósforo total



Apéndice 12

Toma de muestras de agua para el análisis microbiológico



Apéndice 14

Cadena de custodia de diciembre 2021



CADENA DE CUSTODIA
SOLICITUD DE SERVICIOS ANALÍTICOS

Version: 08
 F.E. 2017-02-11
 Página de

Cliente: Foyendo Udel Mando (Asesor) Contacto: Dga. Narda Egozabal Tel.: 9896 73335 E-mail: Estadística.SV@yaho.com
 Solicitado por: Pavel Urbano, Juan Carlos Echeburu Lugar/Empresa/Planta/Proyecto: PCR Humedales de Antares (7 ordenadores Microcentros)

Número de Contratación:		Análisis in situ				Análisis solicitado				N° Informe:	
Exclusión de muestra/Código del Cliente	Tipo de Muestra	Fecha de muestra	Número de muestra	Tipo de envase	Condiciones de muestra y preservación	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN	Código de Laboratorio	Observaciones y detalles adicionales
M1	Papa Superficial	15/12/21	11-36am			✓	✓	✓	✓		
M2	Papa Superficial	15/12/21	12-05pm			✓	✓	✓	✓		
M3	Papa Superficial	15/12/21	12-31pm			✓	✓	✓	✓		
M4	Papa Superficial	15/12/21	14-05pm			✓	✓	✓	✓		
M5	Papa Superficial	15/12/21	14-47pm			✓	✓	✓	✓		
M6	Papa Superficial	15/12/21	15-10pm			✓	✓	✓	✓		

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES

RECIBIDO

15 DIC 2021

RECEPCIÓN DE MUESTRAS (SAG)

Obs. de laboratorio:

P	Envase de Plástico	W	Wintler
V	Envase de Vidrio		
FA	Fresco Ambiente		
FE	Fresco Estéril		

Condición de ER (sin refrigeración la muestra y preservación)

Refrigerada	Refrigerada
sin refrigeración	sin refrigeración
en envase estéril	en envase estéril

III Muestra preservada con HNO₃, pH<2
 IV Muestra preservada con H₂SO₄, pH<2
 V Muestra preservada con NaOH pH> 9
 VI Otros

Nombre y firma del responsable del muestreo: _____ Obs. Del Muestreador: _____ Recibido en laboratorio por: _____ 17:00 y 4 Dia

Entregado por: _____ Representante de: _____ Firma: _____

Servicios Analíticos Generales S.A.C. Tlf.: 425 6885 Anexo 129 / 977 189 625
 www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com; vertas@sagperu.com; atencionalcliente@sagperu.com

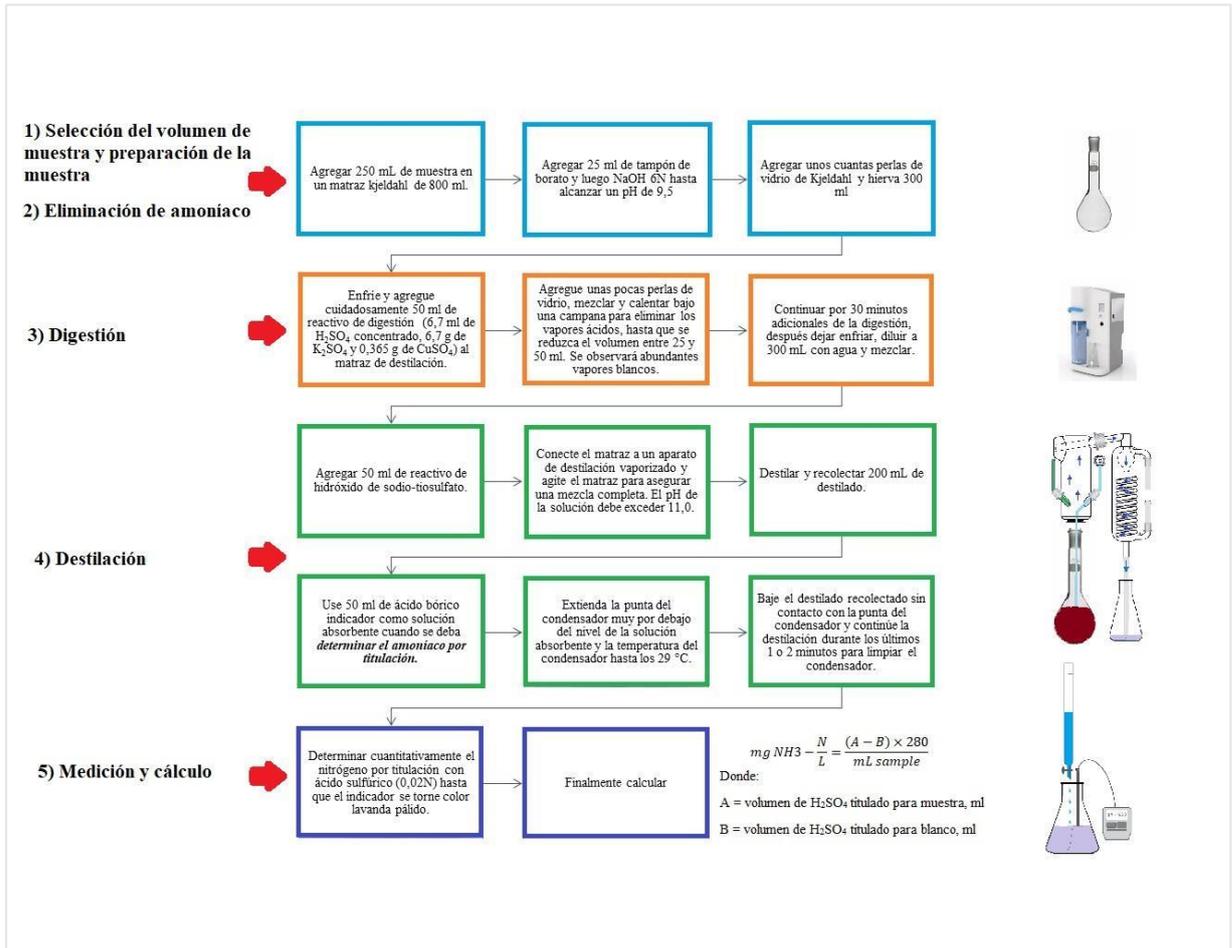
Apéndice 15

Muestras de agua en el laboratorio servicio analíticos generales



Apéndice 16

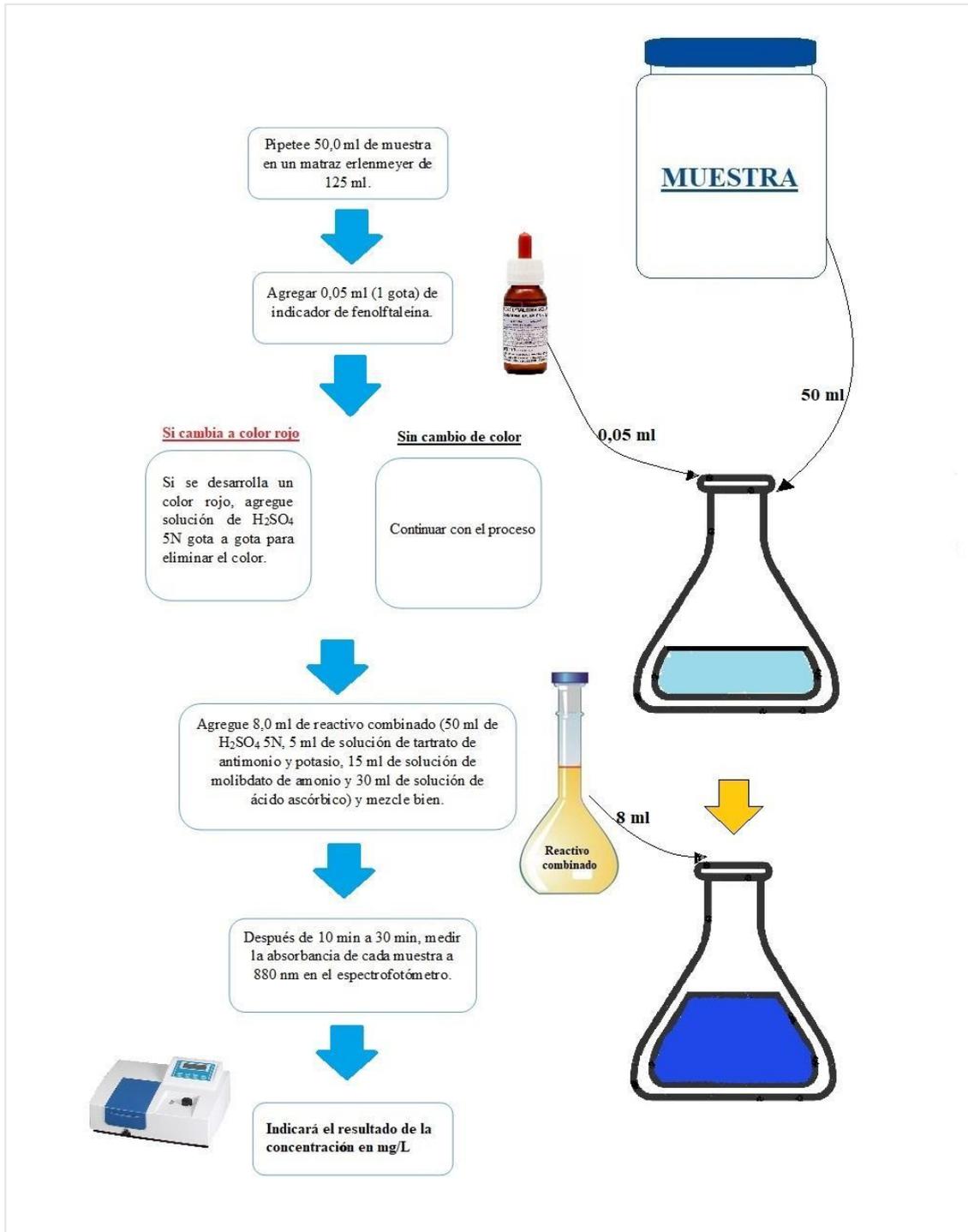
Procedimiento de nitrógeno total



Nota. Elaborado a partir del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Part 4500-Norg-B*, 23 Edition (APHA *et al.*, 2017)

Apéndice 17

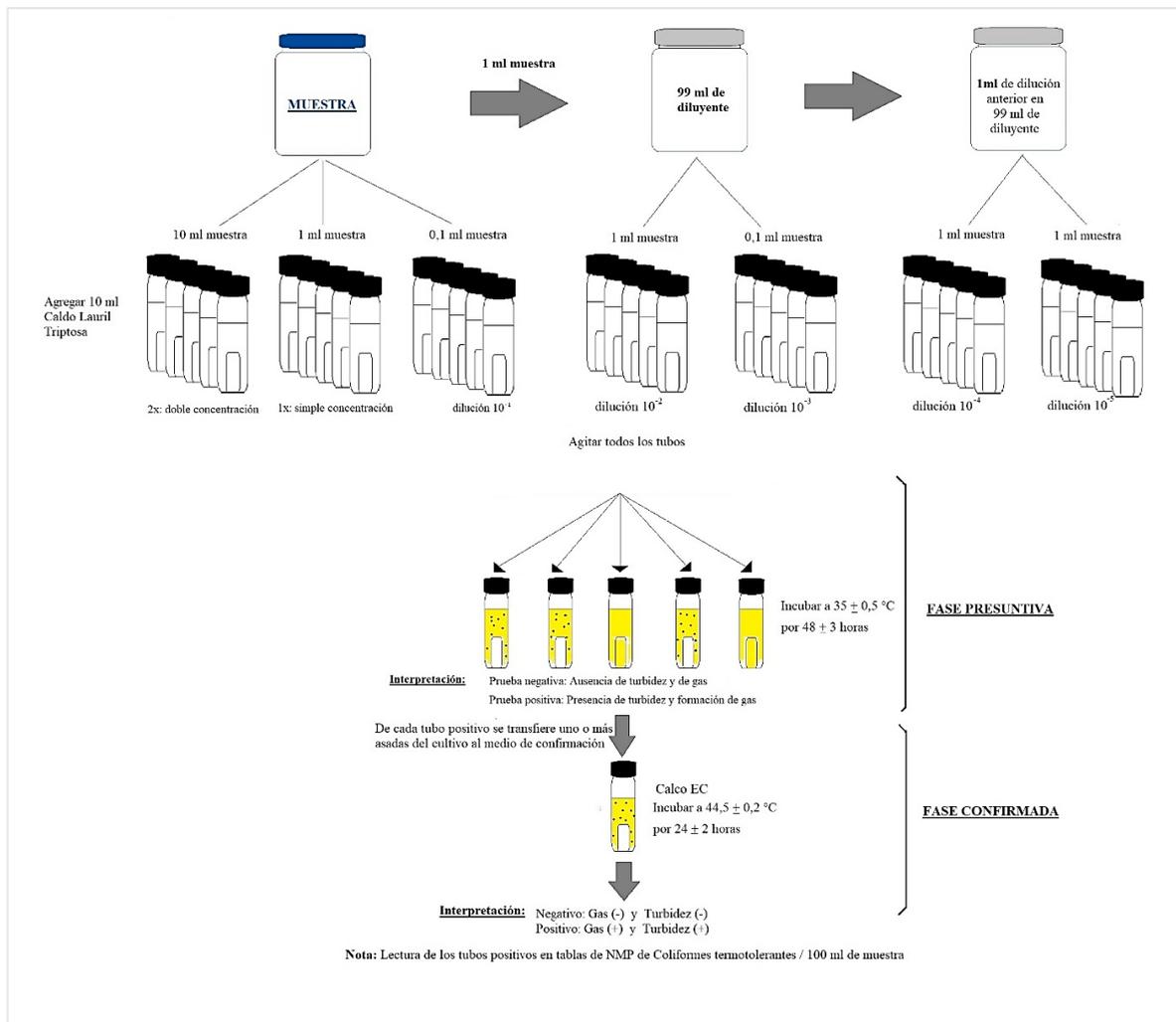
Procedimiento de fósforo total



Nota. Elaborado a partir del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* Part 4500-P E, 23 Edition (APHA *et al.*, 2017)

Apéndice 18

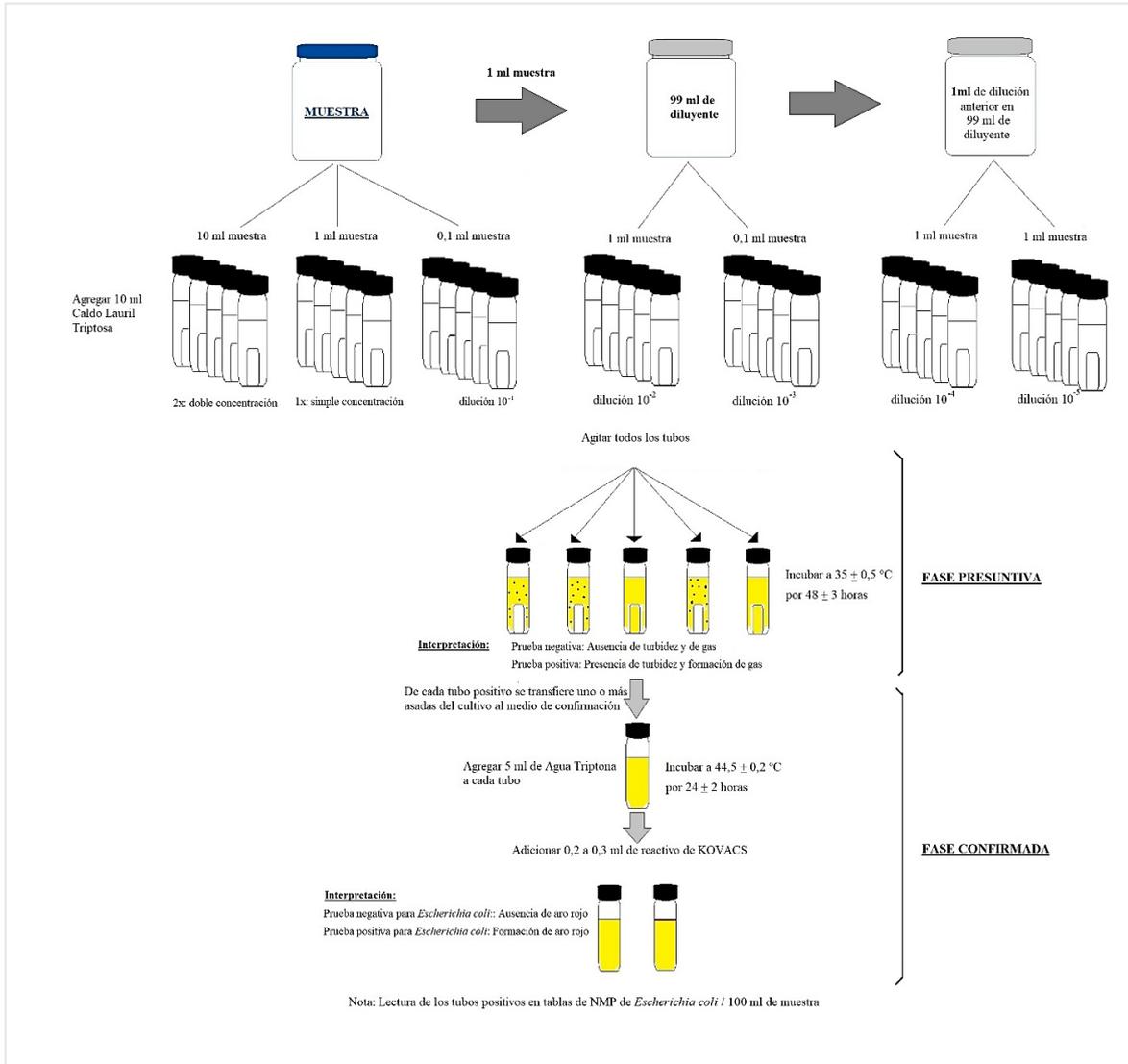
Procedimiento de coliformes termotolerantes



Nota. Elaborado a partir del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* Part 9221 E-1, 23 Edition (APHA *et al.*, 2017)

Apéndice 19

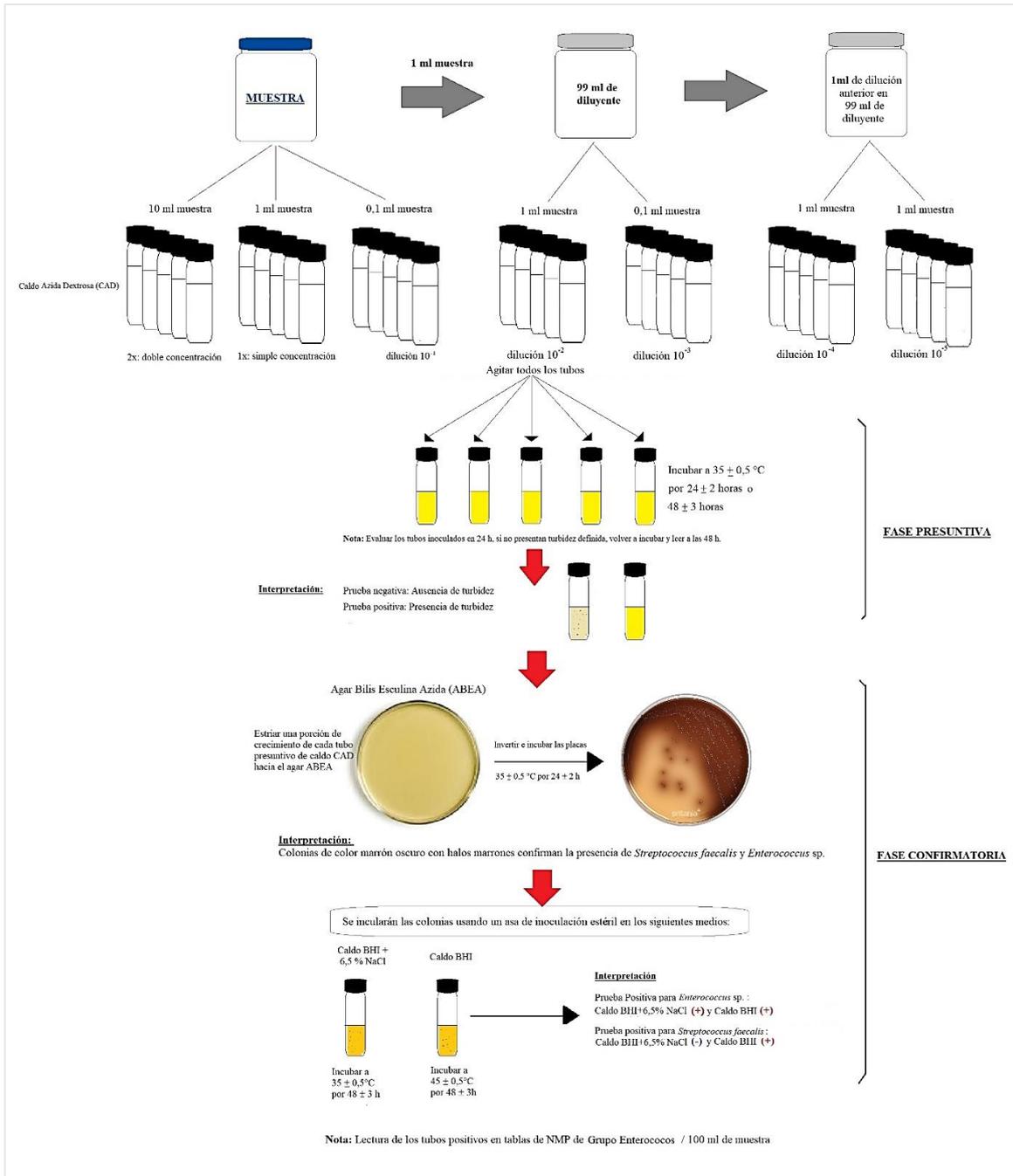
Procedimiento de *Escherichia coli*



Nota. Elaborado a partir del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* Part 9221 G (Ítem 2), 23 Edition (APHA *et al.*, 2017)

Apéndice 20

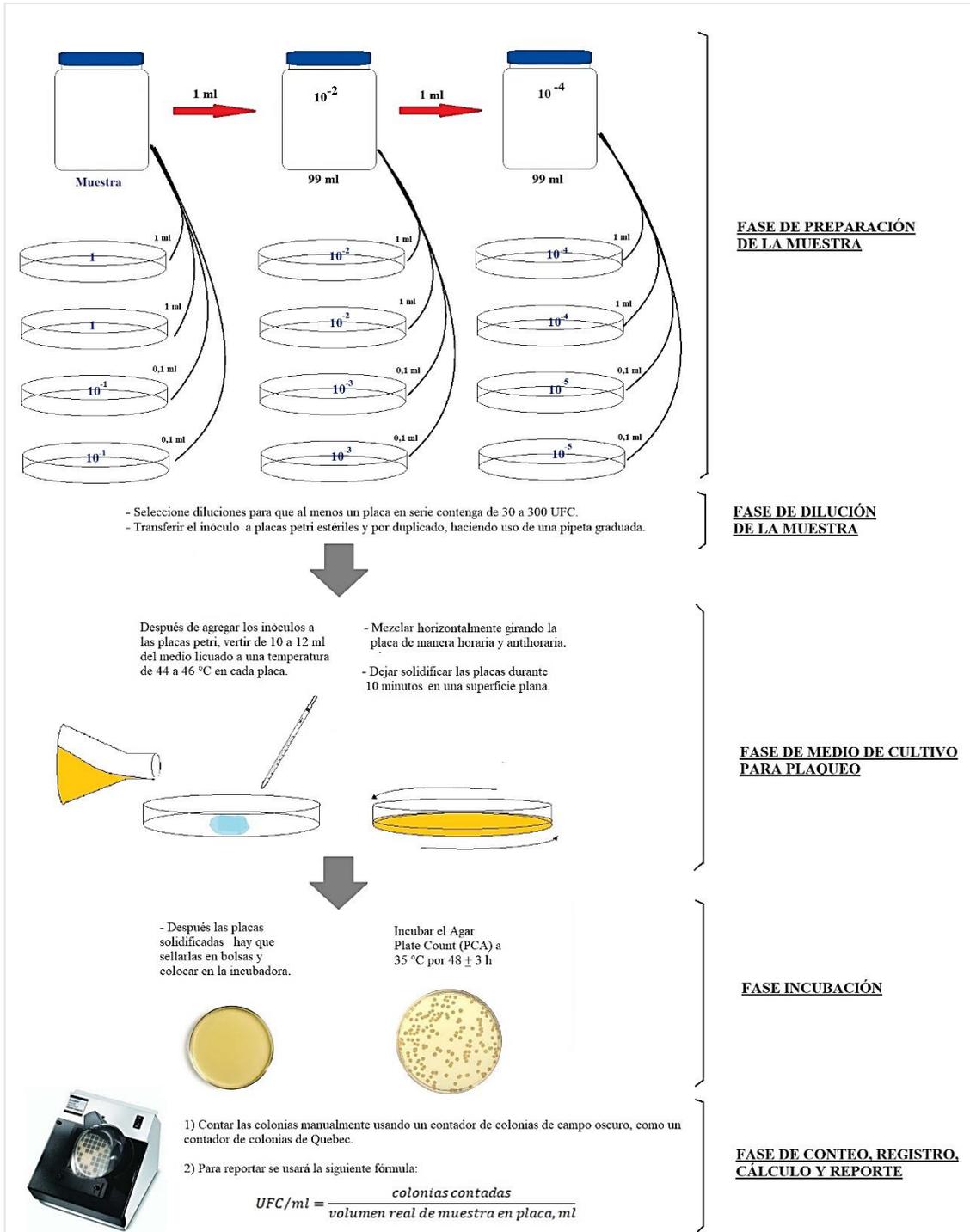
Procedimiento de *Enterococcus* sp.



Nota. Elaborado a partir del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* Part 9230 B, 23 Edition (APHA *et al.*, 2017)

Apéndice 21

Procedimiento de bacterias heterótrofas



Nota. Elaborado a partir del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* Part 9215 B, 23 Edition (APHA et al., 2017)

Apéndice 22

Informe de laboratorio de julio 2021



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INACAL
DA - Perú
Acreditado
Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 153776- 2021
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2021-07-14	2021-07-14	2021-07-14	2021-07-14	
Hora de inicio de muestreo (h)	03:30	03:00	02:00	12:30	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	M4	M5	M6	M7	
Código del Laboratorio	21071550	21071551	21071552	21071553	
Ensayos	Unidades		Resultados		
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.031	0.033	0.055	0.169
Nitrógeno total (NTK)	NH ₄ ⁺ -N mg/L	<1.00	<1.00	<1.00	2.26
Numeración de Coliformes Fecales (2)	NMP/100mL	33 x 10 ¹	49	130	49 x 10 ¹
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	23 x 10 ¹	33	79	33 x 10 ¹
Numeración de Enterococos fecales	NMP/100mL	13	2	7,8	4,5
Recuento de Bacterias Heterotróficas por filtración (2)	ufc/mL	600	890	810	610

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.
 (2) Medio de cultivo utilizado R2A, incubación 20-28°C/5-7 días.

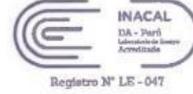
17023

Cod. FI 002 / Versión 09/ F.E.: 09/2020

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
 Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacarita Rio Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Maito de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3



INFORME DE ENSAYO N° 153776- 2021 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada		Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo		2021-07-14	2021-07-14	2021-07-15	2021-07-15
Hora de inicio de muestreo (h)		05:00	04:10	12:15	12:45
Condiciones de la muestra		Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente		M9	M10	M1	M2
Código del Laboratorio		21071554	21071555	21071630	21071631
Ensayos	Unidades	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.109	0.347	0.109	0.032
Nitrógeno total (NTK)	NH ₄ ⁺ -N mg/L	<1.00	<1.00	1.18	<1.00
Numeración de Coliformes Fecales (1)	NMP/100mL	33 x 10 ¹	<1.8	70	7.8
Numeración de Escherichia coli	NMP/100mL	23 x 10 ¹	<1.8	49	4.5
Numeración de Enterococos fecales	-NMP/100mL	17	<1.8	<1.8	<1.8
Recuento de Bacterias Heterotróficas por filtración (2)	ufc/mL	4900	110	550	670

Producto declarado		Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada		Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo		2021-07-15	2021-07-15
Hora de inicio de muestreo (h)		13:30	14:15
Condiciones de la muestra		Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente		M3	M8
Código del Laboratorio		21071632	21071633
Ensayos	Unidades	Resultados	
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.043	0.051
Nitrógeno total (NTK)	NH ₄ ⁺ -N mg/L	<1.00	<1.00
Numeración de Coliformes Fecales (1)	NMP/100mL	33 x 10 ¹	33
Numeración de Escherichia coli	NMP/100mL	23 x 10 ¹	23
Numeración de Enterococos fecales	NMP/100mL	33	<1.8
Recuento de Bacterias Heterotróficas por filtración (2)	ufc/mL	72000000	460

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

(2) Medio de cultivo utilizado R2A, incubación 20-28°C/5-7 días

Lima, 04 de Agosto del 2021.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier notificación no autorizada, fraudo o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-5855 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 3

Apéndice 23

Informe de laboratorio de diciembre 2021



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 157240 - 2021
CON VALOR OFICIAL**

RAZÓN SOCIAL	: BLGA. NARDA FAJARDO VIDAL
DOMICILIO LEGAL	: MZA. H LOTE 23 A.V. ROSARIO DEL NORTE - SAN MARTÍN DE PORRES - LIMA - LIMA
SOLICITADO POR	: BLGA. NARDA FAJARDO VIDAL
REFERENCIA	: ACR HUMEDALES DE VENTANILLA (INDICADORES MICROBIOLÓGICOS)
PROCEDENCIA	: ACR HUMEDALES DE VENTANILLA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	: 2021-12-15/ 16
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2021-12-15 AL 2021-12-23
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2021-12-15/ 16
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Fósforo Total o fósforo (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total (NTK)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N, -B, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Organic). Macro-Kjeldahl Method.	1.00	NH ₃ ⁺ -N mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 ^(a)	NMP/100mL
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 G. (item 2), 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Other <i>Escherichia coli</i> Procedures (PROPOSED).	1.8 ^(a)	NMP/100mL
Numeración de Enterococos fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9230 B, 23rd Ed. 2017. Fecal Enterococcus / Streptococcus Groups. Multiple-Tube Technique.	1.8 ^(a)	NMP/100mL
Recuento de Bacterias Heterotróficas por incorporación	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215B, 23rd Ed. 2017. Heterotrophic Plate Count. Pour Plate Method.	1	ufc/mL

L.C.: límite de cuantificación.
(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

Quim. Belbeth Fajardo León
Quim. Belbeth Fajardo León
 C.O.P. N° 648
 JEFE DE EMISIÓN DE INFORMES
 SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
 Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 3

Cod. FI.002 / Versión 09/ F.E.: 09/2020



**INFORME DE ENSAYO N° 157240 - 2021
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2021-12-15	2021-12-15	2021-12-15	2021-12-15	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:36	12:05	12:51	14:15	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	M1	M2	M3	M4	
Código del Laboratorio	21121894	21121895	21121896	21121897	
Ensayos	Unidades	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.073	0.024	0.031	0.157
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ -N mg/L	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Numeración de Coliformes Fecales ⁽¹⁾	NMP/100mL	79	130	79 x 10 ¹	33 x 10 ¹
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	49	79	33 x 10 ¹	130
Numeración de Enterococos fecales	NMP/100mL	49 x 10 ⁰	<1.8	<1.8	33
Recuento de Bacterias Heterotróficas por incorporación ⁽²⁾	ufc/mL	19000	46000	1800	9700
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2021-12-15	2021-12-15	2021-12-16	2021-12-16	
Hora de inicio de muestreo (h)	14:47	15:12	11:13	12:49	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	M5	M6	M7	M8	
Código del Laboratorio	21121898	21121899	21121985	21121986	
Ensayos	Unidades	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.022	0.072	0.245	0.028
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ -N mg/L	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Numeración de Coliformes Fecales ⁽¹⁾	NMP/100mL	23 x 10 ¹	79 x 10 ¹	79	33 x 10 ¹
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	130	33 x 10 ¹	49	23 x 10 ¹
Numeración de Enterococos fecales	NMP/100mL	33 x 10 ¹	130	79	23
Recuento de Bacterias Heterotróficas por incorporación ⁽²⁾	ufc/mL	6000	3300	780	2500
Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial			
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural			
Fecha de muestreo	2021-12-16	2021-12-16			
Hora de inicio de muestreo (h)	02:36	13:45			
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada			
Código del Cliente	M9	M10			
Código del Laboratorio	21121987	21121988			
Ensayos	Unidades	Resultados			
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.045	0.459		
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ -N mg/L	<1.00	<1.00		
Numeración de Coliformes Fecales ⁽¹⁾	NMP/100mL	23 x 10 ¹	<1.8		
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	130	<1.8		
Numeración de Enterococos fecales	NMP/100mL	170	<1.8		
Recuento de Bacterias Heterotróficas por incorporación ⁽²⁾	ufc/mL	7000	580		

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.
(2) Medio de cultivo utilizado PCA, incubación 35°C/48 ± 3 h

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI.002 / Versión 09 / F.E.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-8885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3.

Apéndice 24

ECA para agua en la categoría 4-E1 del D.S. N° 004-2017-MINAM

18

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptadeno Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000038
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 - (b) Después de la filtración simple.
 - (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7.0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7.2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,80	4,10	2,80	2,00
7.4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7.6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7.8	6,80	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8.0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8.2	2,70	1,90	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8.4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8.6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8.8	0,89	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9.0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7.0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7.2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7.4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7.6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7.8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8.0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8.2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8.4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8.6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,29	0,20	0,15	0,12
8.8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9.0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7.0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7.2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,80	4,70	3,10	2,20
7.4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00	1,40
7.6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7.8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8.0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8.2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8.4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8.6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8.8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9.0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Apéndice 25

Ecuación lineal entre las variables $\text{Log}(EC)$ y $\text{Log}(CF)$ en ambas épocas

