



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA FREÁTICA PARA
SU USO EN RIEGO MEDIANTE LOS ÍNDICES RAS, SALINIDAD
Y DE RESTRICCIÓN DE USO EN LA ZONA DE SAN JOSÉ DE
POALÓ**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES:

KIARA MISHHELL BUÑAY ASTUDILLO

SANTIAGO ANDRÉS CALDERÓN MANZANILLAS

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA FREÁTICA PARA
SU USO EN RIEGO MEDIANTE LOS ÍNDICES RAS, SALINIDAD
Y DE RESTRICCIÓN DE USO EN LA ZONA DE SAN JOSÉ DE
POALÓ**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: KIARA MISHHELL BUÑAY ASTUDILLO

SANTIAGO ANDRÉS CALDERÓN MANZANILLAS

DIRECTOR: Ing. CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO, MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Kiara Mishell Buñay Astudillo; & Santiago Andrés Calderón Manzanillas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, KIARA MISHELL BUÑAY ASTUDILLO y SANTIAGO ANDRÉS CALDERÓN MANZANILLAS, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 05 de diciembre de 2022



Kiara Mishell Buñay Astudillo
Calderón Manzanilla
C.I. 230054495-0

Santiago

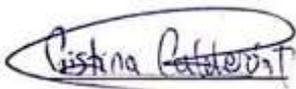


Andrés

C.I. 110562991-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA FREÁTICA PARA SU USO EN RIEGO MEDIANTE LOS ÍNDICES RAS, SALINIDAD Y DE RESTRICCIÓN DE USO EN LA ZONA DE SAN JOSÉ DE POALÓ**, realizado por los señores: **KIARA MISHELL BUÑAY ASTUDILLO** y **SANTIAGO ANDRÉS CALDERÓN MANZANILLAS** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia, MsC PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-05
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo, MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-12-05
Ing. Juan Carlos Gonzales García, PhD. MIEMBRO DE TRIBUNAL		2022-12-05

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación, así como todo triunfo que obtenga a lo largo de mi vida, se la dedico en especial a mi mami Flor, a quien amo y amare profundamente por todo lo que ha representado para mí; su amor, esfuerzo, sacrificio y legado estará en mi corazón para siempre. Gracias por ponerte en mis botas, y hacer de tu vida, mis logros y mis derrotas. Todo lo que haga, lo hare por ti.

A mis hermanas, Karina y Katty, quienes siempre me han inspirado con su ejemplo, siendo fuertes, valientes e inteligentes, espero algún día poder ser tan grande como ustedes, gracias por su amor incondicional. A mi papi, Wagner, quien con su apoyo y motivación me ha llevado alcanzar mi objetivo y a forjar mi camino. A mi cuñado, Holger, gracias por ser el hermano mayor que siempre quise y por toda la ayuda que siempre me has brindado. A mis tres pequeños sobrinitos: Alejandro, Camila y Juanito, sus sonrisas y travesuras han llenado mi corazón de alegría, espero poder ser para ustedes lo que sus madres fueron para mí. A Jason, gracias por tu gran amor, espero poder caminar siempre a tu lado.

Kiara

A mis padres Luisa y Omar, que han sido el pilar fundamental en mi vida siempre me han guiado durante este camino sembrando en mis grandes valores como la responsabilidad y la fortaleza para seguir adelante brindándome siempre su inmenso cariño y comprensión.

A mis hermanos unas grandes personas que siempre los llevo en mi corazón los recuerdo con alegría por dar esa calidez al hogar el cual amo.

A mi hija Renata, quien ha sido mi motivación para culminar lo que empecé, a mi querida Yannel quien ha mostrado su incondicional apoyo y comprensión.

A toda mi familia por siempre brindarme su gran cariño, afecto y felicidad.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la fortaleza y fe para seguir cuando parecía que era imposible continuar, a nuestros padres y familia por su apoyo incondicional durante nuestra vida estudiantil y por estar siempre con nosotros en las buenas y en las malas.

Nuestro agradecimiento para nuestro tutor y miembro de trabajo de titulación, el Ingeniero Carlos Rosero, por ser una gran guía durante este trabajo. También agradezco al Ing. Freddy Armijos por brindarnos sus constantes consejos y apoyo en el presente estudio, y nunca rendirse para buscar ayudarnos. Así mismo agradezco a la Ing. Nathaly Figueroa, por siempre estar presta a darnos su mano en el laboratorio e igualmente al grupo de investigación GIDAC por habernos permitido realizar nuestro proyecto de titulación en sus instalaciones así como también al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, por su apertura al Parque Nacional Llanganates.

Finalmente agradezco a cada uno de mis compañeros de clase y amigos, ya que su compañerismo y su amistad ayudaron a disminuir mucho la carga del inmenso y agotador estudio.

Kiara & Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas generales.....	5
1.2.1. <i>Parque Nacional Llanganates</i>	5
1.2.2. <i>Uso de agua en áreas protegidas</i>	6
1.2.3. <i>Sistema de riego en la sierra ecuatoriana</i>	6
1.2.4. <i>El uso de agua en la agricultura</i>	7
1.2.5. <i>Calidad del agua para uso agrícola</i>	7
1.2.6. <i>Efectos del agua de riego contaminada</i>	7
1.3. Bases conceptuales	10
1.3.1. <i>Sistema lacustre</i>	10
1.3.2. <i>Aguas Freática</i>	10
1.3.3. <i>Capacidad de Intercambio Catiónico</i>	11
1.3.4. <i>Salinidad</i>	12
1.3.5. <i>Índice de Relación de Adsorción de Sodio (RAS)</i>	13
1.3.6. <i>Parámetros físicos</i>	14
1.3.6.1. <i>pH</i>	14
1.3.6.2. <i>Conductividad eléctrica</i>	14
1.3.6.3. <i>Temperatura</i>	15
1.3.6.4. <i>Oxígeno Disuelto</i>	16
1.3.7. <i>Parámetros Químicos</i>	16
1.3.7.1. <i>Aniones</i>	16
1.3.7.2. <i>Cationes</i>	18
1.3.8. <i>Normativa Internacional para la Calidad del agua de riego</i>	21
1.3.8.1. <i>Normativa FAO</i>	21

1.3.8.2.	<i>Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua</i>	23
1.3.8.3.	<i>Normas de Riverside</i>	25
1.4.	Base Legal	27
1.4.1.	Constitución de la Republica del Ecuador	27
1.4.1.1.	<i>La sección sexta “Agua” del capítulo segundo “Biodiversidad y recursos naturales” del título VII “Régimen del Buen Vivir”</i>	28
1.4.2.	Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria	29
1.4.2.1.	<i>Título II: “Acceso a los factores de producción alimentaria”. Capítulo I: “Acceso al agua y a la tierra”</i>	29
1.4.3.	Ley de Aguas	29
1.4.3.1.	<i>Ley de Aguas Codificación 2004 - 016, expedida por la Comisión de legislación y codificación del H. Congreso Nacional</i>	30
1.4.4.	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente	30
1.4.4.1.	<i>El libro VI, Anexo 1 “De la Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes – Recurso Agua</i>	31
1.4.5.	Norma técnica ecuatoriana. NTE INEN 1 108:2011	31

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	32
2.1.	Descripción de los puntos de muestreo	32
2.2.	Muestreo	32
2.3.	Tipo de Investigación	32
2.4.	Diseño de la Investigación	33
2.4.1.	<i>Población de estudio</i>	33
2.4.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	33
2.4.3.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	33
2.4.4.	<i>Materiales, equipos y reactivos empleados</i>	34
2.4.5.	<i>Métodos utilizados para la medición de cationes y aniones</i>	35
2.4.6.	<i>Análisis Estadístico</i>	35
2.5.	Preparación del Terreno	35
2.6.	Recolección de Muestra	36
2.7.	Análisis de parámetros “in situ”	37
2.8.	Almacenamiento y transporte	38
2.9.	Tratamiento de la muestra	38
2.10.	Análisis de las muestras en laboratorio	38
2.10.1.	<i>Procedimientos de análisis de cationes y aniones</i>	39

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1.	Localización del Estudio	45
3.2.	Descripción de los puntos de muestreo	45
3.3.	Análisis e interpretación de resultados	46
3.3.1.	<i>Parámetros físicos In situ</i>	46
3.3.2.	<i>Resultados de aniones y cationes</i>	51
3.3.3.	<i>Resultados de índice RAS e índices Salinidad</i>	54
3.3.3.1.	<i>Normas de Riverside</i>	58
3.3.3.2.	<i>Diagrama de Richard</i>	59
3.3.4.	<i>Análisis estadístico</i>	60
3.3.4.1.	<i>Estadística descriptiva</i>	60
3.3.5.	<i>Análisis ANOVA</i>	70
3.3.5.1.	<i>Variabilidad espaciotemporal de Cationes</i>	70
3.3.5.2.	<i>Variabilidad espaciotemporal de Índice RAS</i>	72
3.3.5.3.	<i>Prueba de Kruskal - Wallis</i>	75
3.3.6.	<i>Correlaciones</i>	75
3.3.6.1.	<i>Interpretación de las correlaciones</i>	80
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Efectos de actividades agrícolas en la calidad del agua	8
Tabla 2-1:	Grados de restricción de uso para Sodicidad.....	13
Tabla 3-1:	Clasificación de conductividad para agua de riego	15
Tabla 4-1:	Parámetros de calidad para agua de riego	21
Tabla 5-1:	Grados de restricción de uso para aguas de riego según la FAO.....	23
Tabla 6-1:	Parámetros de calidad para agua de riego	23
Tabla 1-2:	Materiales, equipos y reactivos empleados	34
Tabla 2-2:	Métodos utilizados para la medición de cationes y aniones	35
Tabla 3-2:	Análisis de muestras	39
Tabla 1-3:	Codificación de los puntos de muestreo y sus coordenadas	45
Tabla 2-3:	Resultados del nivel freático	46
Tabla 3-3:	Resultados de temperatura.....	47
Tabla 4-3:	Resultados de pH.....	48
Tabla 5-3:	Resultados de Conductividad Eléctrica	49
Tabla 6-3:	Resultados de Oxígeno Disuelto	50
Tabla 7-3:	Resultados de aniones y cationes con suma total	52
Tabla 8-3:	Resultado del Índice RAS y salinidad	55
Tabla 9-3:	Comparación de la normativa con el índice RAS.....	57
Tabla 10-3:	Resultado de Normas Riverside	58
Tabla 11-3:	Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de cationes	70
Tabla 12-3:	Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de aniones	71
Tabla 13-3:	Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de Clase - RAS	73
Tabla 14-3:	Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de Fecha - RAS.....	74
Tabla 15-3:	Resultados de Prueba de Kruskal – Wallis de muestra RAS.....	75
Tabla 16-3:	Matriz de correlaciones entre la conductividad y los análisis de cationes.....	77
Tabla 17-3:	Matriz de correlaciones entre la conductividad y los análisis de aniones	78
Tabla 18-3:	Matriz de correlaciones entre la conductividad y los análisis del índice RAS	79
Tabla 19-3:	Interpretación del valor del coeficiente de correlación.....	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Nivel de la capa freática	11
Ilustración 2-1:	Relación entre la salinidad del agua de riego, la fracción de lavado y la salinidad resultante en el suelo en base a la conductividad eléctrica	12
Ilustración 3-1:	Diagrama de Richards	27
Ilustración 1-2:	Preparación del terreno.....	36
Ilustración 2-2:	Toma de la muestra	37
Ilustración 3-2:	Análisis “in situ”	38
Ilustración 4-2:	Equipos de análisis	44
Ilustración 5-2:	Análisis de las muestras en laboratorio	44
Ilustración 1-3:	Mapa de ubicación de los puntos del área de estudio.....	46
Ilustración 2-3:	Resultados de RAS en Diagrama de Richards	59
Ilustración 3-3:	Análisis de Nitratos	60
Ilustración 4-3:	Análisis de Sulfatos	62
Ilustración 5-3:	Análisis de Fosfatos	64
Ilustración 6-3:	Análisis de Calcio.....	65
Ilustración 7-3:	Análisis de Magnesio	66
Ilustración 8-3:	Análisis de Aluminio.....	67
Ilustración 9-3:	Análisis de Sodio.....	68
Ilustración 10-3:	Análisis de Potasio	69
Ilustración 11-3:	Resultados de prueba de efectos en cationes.....	71
Ilustración 12-3:	Resultados de prueba de efectos en aniones.....	72
Ilustración 13-3:	Correlaciones entre conductividad y cationes	80
Ilustración 14-3:	Correlaciones entre conductividad y aniones.....	81
Ilustración 15-3:	Correlaciones entre conductividad e índice RAS.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE LAS LAGUNAS DE PISAYAMBO

ANEXO B: FOTOGRAFÍAS DE LAS LAGUNAS DE TAMBOCOCHA

RESUMEN

El Parque Nacional Llanganates se presenta como un área que almacena cuerpos hídricos para su uso agrícola por parte de la comunidad de San José de Poaló. Por ello, la presente investigación analizó la calidad del agua para riego, mediante el Índice de Relación de Absorción de Sodio (RAS) como indicador principal y así determinar si es apta o no para el riego de cultivos tomando como referencia la normativa ambiental nacional y normativa internacional como: FAO, perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Normas de Riverside. Se realizó un muestreo tipo simple y compuesto para agua, en 7 puntos estratégicos, 4 a niveles freáticos dentro del Parque Nacional Llanganates y 3 a niveles superficiales, en el sector agrícola de la comunidad. Posteriormente, se determinaron análisis de parámetros físicos (pH, OD, T °, CE, Niveles Freáticos), cationes (K, Mg, Al, Na, Ca), aniones (SO₄, PO₄, NO₃), e índices de salinidad. Todos los parámetros del agua cumplieron con la normativa nacional y en gran parte con las recomendaciones por parte de la FAO, a excepción de los niveles aniónicos. Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, en el Anexo V de la normativa ambiental ecuatoriana, el agua tuvo restricciones moderadas - severas, ya que presentó riesgo de salinidad debido al bajo nivel de conductividad. En cuanto a la clasificación de la FAO, el agua presenta una restricción moderada ya que el agua es apta con precauciones para el riego, pues esta zona se presenta con variaciones de precipitación y cuenta con un caudal mayor, lo cual contribuye especialmente en la disminución de la conductividad y concentración de sodio. Se recomienda la difusión a los agricultores y autoridades competentes para realizar análisis semestrales previo al uso en el riego.

Palabras clave: <CALIDAD DEL AGUA> <ÍNDICE DE RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS)> <RIEGO DE CULTIVOS> <CATIONES> <ANIONES>.

2473-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The Llanganates National Park is presented as an area that stores water bodies for agricultural use by the community of Sam Jose de Poaló. For this reason, the present investigation analysed the quality of water for irrigation, using the Sodium Absorption Ratio (RAS) index as the leading indicator and thus determine whether or not it is suitable for crop irrigation, taking as a reference the national environmental regulations and international regulations such as FAO, belonging to the United Nations Organization for Food and Agriculture and Riverside Standards. A simple and compound-type sampling for water was carried out in 7 strategic points, four at groundwater levels within the Llanganates National Park and three at surface levels in the agricultural sector of the community. Subsequently, analyses of physical parameters (pH, OD, T°, Ce, groundwater levels), cations (K, Mg, Al, Na, Ca), anions (SO₃, P₀₄, N₀₃), and salinity indices. All the water parameters complied with the national regulations and, to a large extent, with the recommendations of the FAO, except for the anion levels. According to the Unified Text of Secondary Environmental Legislation, in Annex V of the Ecuadorian environmental regulations, the water had moderate-severe restrictions since it presented a salinity risk due to the low level of conductivity.

Regarding the classification of the FAO, the water presents a moderate restriction since the water is suitable with precautions for irrigation. This area presents variations in precipitation and has a higher flow, which contributes significantly to the reduction of conductivity and sodium concentration. Therefore, dissemination to farmers and competent authorities is recommended to carry out semi-annual analyses prior to use in irrigation.

Keywords: <WATER QUALITY> <DESODIUM ABSORPTION RELATION INDEX (RAS)>
<CROP IRRIGATION> <CATIONS> <ANIONS>.



Ing. Paúl Obregón, Mg.

C.I. 060192712-2

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

El Parque Nacional Llanganates está ubicado en las provincias de Tungurahua y Cotopaxi, con una extensión de 219.931,81 ha, tiene una gran importancia biológica gracias a sus numerosos ecosistemas altoandinos, de la misma forma tiene un gran valor puesto que es el abastecimiento de agua de regadío para las comunidades de San José de Poaló. Las zonas agrícolas en muchos casos están dentro de los límites del Parque Nacional, presentando una alta influencia humana directa sin apegamientos a los lineamientos de conservación de las áreas protegidas (Vargas et al, 2000, pp. 15-16)

Según el (INEC, 2010), el 65,78% de la población de San José de Poaló, las principales actividades de las comunidades son las de producción agraria, ganadera, silvicultura y pesca. La presencia de ganado en los sitios de captación de agua de zonas de amortiguamiento del sistema lacustre provoca la proliferación de plantas acuáticas invasoras y micrófitos resultando en la baja calidad del agua provocando también el ingreso de coliformes fecales y sedimentos en estos lugares, llevando a convertirlo en un foco de enfermedades gastrointestinales en los pobladores por el consumo del agua y su uso en riesgos.

Existen numerosos estudios sobre el Parque Nacional Llanganates con distintos enfoques, pero la mayoría se centra en áreas turísticas, ecológicas y de conservación, existiendo una carencia en información específica sobre los niveles freáticos y su uso en aguas de riego, planteando que el estudio de la calidad de agua se hace indispensable para promover la productividad asegurándose que la calidad de la misma sea la adecuada, evitando complicaciones a futuros difíciles de remediar, así como también el papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos. Además, los recursos que perciben los agricultores no son suficientes para permitir reinversiones amigables con el ambiente y menos aún para un estudio con referencia a la calidad de agua de riego por ello los anteriores efectos confluyen en la finalidad de la presente investigación, que consiste en: Evaluar de la calidad del agua freática para su uso en riego mediante los índices RAS, salinidad y de restricción de uso en la zona de San José de Poaló.

Formulación del problema

Planteamiento General

- ¿Cuál es el estado actual de la calidad del agua de riego del sector rural de la comunidad de San José de Poaló?

Planteamientos Específicos

- ¿Cuál son los valores de los índice RAS, salinidad y de restricción de uso para agua de riego de la comunidad San José de Poaló?
- ¿En qué medida las actividades realizadas en las zonas palustres influyen en la calidad del agua para riego de la zona agrícola de San José de Poaló?

Justificación

El sistema lacustre del Parque Nacional Llanganates se presenta con humedales altoandinos que son proveedores constantes de agua potable para poblaciones humanas, riego de cultivos y bebederos para animales. Las poblaciones andinas son mayoritariamente poseedoras de parcelas en estas áreas, causando grandes intervenciones sobre las principales fuentes de agua, perturbando los elementos del ciclo hidrológico a nivel local, con resultados como bajas de caudal en la fuentes y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, lo que agrava la disponibilidad y calidad del agua de riego para las actividades agropecuarias (Lloret, 2018, pp. 269)

Se evidencia que en estas áreas los recursos hídricos se encuentran amenazadas, ya que sus criterios de calidad son bajas, lo cual impide su aprovechamiento a largo plazo, aumentando a esta problemática, los bajos estándares económicos que maneja la comunidad. El aprovechamiento eficiente del agua de riego se presenta como factor de preocupación de varios sectores e incluso del organismo oficial del Estado que se formarían en torno a la producción de materia primaria. Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de San José de Poaló, (GAD Parroquial Rural San Jose de Poaló, 2020) ha visto importante cuidar el agua y su uso correcto, debido a que realizaran posteriormente un proyecto de tecnificación de sistema de riego para promover el manejo racional del agua y uso sustentable de los recursos hídricos, siendo importante la realización de esta investigación para facilitar la información sobre la calidad del agua en usos de riego para dicha zona.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Evaluar la calidad del agua freática para su uso en riegos mediante los índices RAS, salinidad y la restricción de uso en la zona de San José de Poaló

Objetivos Específicos

- Determinar los índices RAS y de salinidad por medio de parámetros físicos (pH, T, Conductividad) y Químicos (Ca, Mg, Na, K, Al) para el diagnóstico de la calidad de agua para su uso en riego.
- Analizar las variaciones del nivel freático y relaciones entre cationes, aniones y la conductividad eléctrica por medio del estudio de los parámetros fisicoquímicos
- Identificar según los parámetros analizados, la mayor relevancia en el aprovechamiento del agua de riego mediante pruebas estadísticas para su uso en la agricultura.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

En América Latina y el Caribe, el uso de agua de riego se constituye un 75% del total de extracciones de agua, siendo, por lejos, el principal sector usuario del recurso, trayendo una importante consideración en estrategias de desarrollo para la importancia del riego buscando aumentar la producción de alimentos y materias primas industriales, tanto para consumo interno como para exportación, posicionándose como un sector dominante en Ecuador y México, así como en algunas provincias de Argentina, en Perú y la República Dominicana. (Ballesteros, y otros, 2005 págs. 09-10). Garantizar la disponibilidad de agua representa un objetivo fundamental para todos los países, ya que la escasez de esta está vinculada a la seguridad alimentaria, por lo que el sistema de riego desempeña un papel importante en ella, así como para el ingreso sostenible en específicamente países en desarrollo (Ortiz et al., 2018, pp. 16).

La gestión de riego en el Ecuador implica una gran diversidad de actores ligados con el uso del recurso hídrico, volviéndose un factor importante para asegurar la soberanía alimentaria, ya que dentro de la producción agronómica el 40% de los alimentos que consume la humanidad se producen bajo riego (Ponce, 2019, p. 5). En la zona Interandina del Ecuador, la deficiencia en el manejo del agua de riego se observa en todos los componentes del sistema, desde su captación, manejo y calidad hasta la aplicación en las parcelas, volviéndose un proceso improvisado y sin planificación en la mayoría de las juntas de regantes (Nieto et al, 2018, pp. 52-53).

De acuerdo con la información proyectada por el (GAD Parroquial Rural San Jose de Poaló, 2020, pp. 81 - 82) en la parroquia San José de Poaló se identifica 32 fuentes de agua, en las cuales 15 fuentes son destinadas a riego con 652 l/s, siendo mayor incluso las usadas para el sector doméstico. El agua de las fuentes hídricas existentes en la parroquia tanto para consumo humano como para riego son destinadas a otras parroquias y cabecera cantonal, por ello el caudal de agua para riego no cubre la demanda de los productores en la parroquia, existiendo un déficit del 57,9%, además se prevé que podría darse un foco infeccioso debido a que las fuentes de agua y páramos son áreas sensibles por la contaminación e intervención provocada por el pisoteo del ganado bravo.

En cuanto a calidad del agua para su uso en riegos en el Ecuador, existen varias referencias e investigaciones que se han realizado. Los autores Gabr et al. (2021, pp. 10-11), estiman que el RAS (Relación de Absorción de Sodio), RAM (Relación de Adsorción de Magnesio), PI (Índice de Permeabilidad) y PSS (Porcentaje de Sodio Soluble) se consideran factores determinantes de la idoneidad del agua de riego, en su investigación, se muestra la evaluación de los índices de calidad del agua de riego con parámetros ya expuestos, para trece pozos. Similares estudios cerca de la

zona de San José de Poaló, son de los autores Rodríguez et al. (2021, pp. 55-56) en donde se evaluó la calidad del agua de la acequia Tilipulo Enríquez mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS) como el indicador para el riego de cultivos tomando como referencia las Normas Riverside. De igual manera, existe investigaciones en referencia a la salinidad existente en aguas de riego, estas realizadas por los autores (Carrera et al., 2013, pp. 94 - 95) en el cantón Milagro, en donde las aguas de irrigación del cantón tienen baja concentración de salinidad por ende no existe una infiltración en el suelo y no llevan los nutrientes esenciales para las plantas, debido principalmente a la alta pluviosidad del sector.

En cuanto a investigaciones realizadas en el Parque Nacional Llanganates, la mayoría se han centrado en los aspectos culturales, ecológicos y turísticos del área. Son pocos los estudios científicos realizados entorno a índices de calidad ambiental, entre ellos se encuentra uno en específico realizado por los autores (Freire et al., 2017, pp. 38-39) que se centra en los índices de la calidad de agua a partir de macro y micro invertebrados en la Laguna de Antejos, en donde dentro del artículo se identificó 813 individuos de macroinvertebrados acuáticos, y con base a los índices EPT y BMWP revelaron que la Laguna de Antejos exterioriza una contaminación tipo III (aguas moderadamente contaminadas). Igualmente existe otro estudio científico en referencia del mismo tópico realizado dentro del Parque Nacional, el autor (Bonilla et al., 2017, pp. 35-36) expone que se encontró 1.057 individuos de macroinvertebrados acuáticos, agrupados en 10 familias, constituyendo un sistema de aguas moderadamente contaminada con un índice de biodiversidad de 5,32 según los parámetros de Shannon, ubicado en el Humedal Amidas dentro del parque.

1.2. Bases teóricas generales

1.2.1. Parque Nacional Llanganates

El Parque Nacional Llanganates (PNL) es parte de las 26 áreas pertenecientes a los Sistema Nacionales de Áreas Protegidas, está ubicado en las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Napo y Pastaza, con una extensión de 219.931,81 ha. Cuenta con una gran importancia biológica en base a sus numerosos ecosistemas altoandinos e igualmente tiene gran rango altitudinal y aislamiento de la cordillera de los Andes, estos factores se reconocen a nivel nacional e internacional. Se conforma con una topografía irregular con pendientes pronunciadas, casi verticales. En las zonas de los altos Llanganates tiene lagunas, bosques de estribaciones y ríos nacientes e igualmente contiene páramos herbáceos, páramos de frailejones, páramos de almohadillas, herbazales lacustres montano alto, bosques siempre verdes de montano alto, bosques de neblina montano, bosques siempre verdes montano bajo y páramos pantanosos. Pese a tener una declaratoria como Parque Nacional no se ha eliminado las amenazas sobre sus recursos, tiene muestras de signos de deterioro ocasionado por las actividades antropológicas

locales, así como de visitantes en puntos concretos. La alteración de los ecosistemas muestra áreas disturbadas que residen faunas distintas a las nativas e igual contienen menos diversidad que las zonas sin intervención (Vargas et al., 2000, pp. 15 - 18).

1.2.2. Uso de agua en áreas protegidas

En Ecuador, las Áreas Protegidas representan alrededor del 20% del territorio conservado del país, enmarcándose como la máxima categoría de protección de acuerdo con la legislación ambiental nacional, por medio de la Constitución de la República se propician como parte los subsistemas del gran Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) acreditado como Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), por ello el Estado creó una serie de áreas protegidas con el objetivo de fomentar y conservar el recurso agua. Se estipula que 12 de las 38 áreas protegidas del Ecuador se encuentran en la Cordillera de los Andes, donde se establece que el ciclo del agua empieza con la captura, filtración, y almacenaje, siendo su uso principal para el uso agrícola y doméstico. El caso del agua en un Área Natural Protegida es que traza un dilema arduo, dadas las características sociales y ambientales que deben considerarse durante el proceso de planeación ambiental, dado que la mayoría de los habitantes que se beneficia de este recurso son pertenecientes a los estratos sociales y económicos más bajos del país. (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2013; Rodríguez et al, 2013, pp. 24-25).

1.2.3. Sistema de riego en la sierra ecuatoriana

El sistema de riego que se efectúa en Ecuador tiene una superficie actualmente regada de 853.332 has., en donde el sistema de riego que ha sido construido por el Estado cubre una superficie de 201.000 has, en tanto que los 653.332 has se encuentra cubierta por sistemas de riego empresariales, particulares y comunitarios. En el sector de la Sierra ecuatoriana se encuentran construidos 51 sistemas de riego por parte del Estado, no obstante, en esta región existe el 57% del total de la superficie regada en el país, dentro de las mismas, el 19.6% vienen siendo las unidades de producción agropecuaria regadas en el ámbito nacional (Zapatta et al., 2005, pp. 10-11).

En los sistemas de riego en la Sierra, algunas características favorables pueden contribuir en el riego, tales como:

- Sistemas que disponen de suficiente energía por gravedad para redes de agua presurizada.
- Existe una evolución en cuanto al incremento de la eficiencia para el uso creciente de la sostenible en la producción agrícola por parte de los Gobiernos Municipales y Rurales.
- Se presenta mayor interés para invertir en equipos parcelarios, ya sean sistemas de aspersión móvil, instalaciones de riego por goteo, tanto por pequeños agricultores como grandes empresas agrícolas.

- Mayor porcentaje de participación por parte de pequeños agricultores en cadenas de cultivos de alto valor, permitiéndoles realizar nuevas elecciones de inversión (Sosa et al., 2014, pp. 137-138)

1.2.4. El uso de agua en la agricultura

El uso eficiente del agua en el campo es uno de los principales factores fundamentales para poder garantizar la producción alimentaria y de igual manera tiene relevancia al implantarlo en sistemas de riego parcelario en el sector agrícola. El mejoramiento de la eficiencia de los sistemas de riego es un tema prioritario para la mayoría de los países del mundo, en Ecuador los caudales de regadíos son muy variables dado que van de 1 a 50 Litros por segundo, con frecuencias de algunos días a meses y a veces más, permitiendo el desarrollo para diferentes tipos de cultivos agrícolas. (Salazar-Moreno, et al., 2014, p. 177; Herrera Puebla et al., 2011, pp. 1-2)

1.2.5. Calidad del agua para uso agrícola

La calidad del agua destinada a uso agrario presenta una alta importancia a nivel mundial, dado que se destina 76.3% para su uso a nivel agrícola, en donde el 61.1% proviene de fuentes superficiales. Este tipo de agua contiene diversos índices e indicadores agronómicos para evaluar la calidad, los mismos que se evidencian en parámetros fisicoquímicos medidos y calculados, los cuales son:

- Conductividad Eléctrica (CE)
- pH
- Relación de Adsorción de Sodio (RAS)
- Índice de Salinidad
- Sólidos Disueltos Totales
- Índice de Permeabilidad
- Concentración de iones específicos: Ca, Mg, Na, Al y K.
- Concentraciones de cationes específicos tales como: NO₃, PO₄ y SO₄.

(Apablaza et al., 2018, pp. 182-183; CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), 2015).

Los autores Ayers y Westcot son los primordiales que han establecido estándares de la calidad del agua para uso agrícola, consintiendo la evaluación e interpretación de competitividad del agua de riego según: salinidad, sodicidad, toxicidad, lixiviación, tolerancia salina de los cultivos y su respuesta productiva.

1.2.6. Efectos del agua de riego contaminada

A nivel mundial, la aplicación de fertilizantes agrícolas y plaguicidas ha contribuido con la contaminación de acuíferos subterráneos y aguas superficiales. El agua que retorna a los cuerpos de agua se encuentra con daños severos a nivel de calidad, a menudo degrada por el exceso de nutrientes, salinidad, agentes patógenos y sedimentos, logrando que esta quede inutilizada para cualquier otro uso posterior, a menos que se realice un tratamiento de depuración.

En la contaminación agrícola, las aguas de riego presentan un exceso de nitritos y nitratos debido a la utilización de abonos inorgánicos y orgánicos, al utilizar cantidades excesivas de abonos, estos no son asimilados en su totalidad por los cultivos, siendo arrastrados a cuerpos de agua que son utilizados para riego. El gran uso de pesticidas aumenta la predisposición para contraer plagas y provoca una bioacumulación en las plantas.

(Pino et al., 2016, pp. 8).

Tabla 1-1: Efectos de actividades agrícolas en la calidad del agua

Actividad Agrícola	Efecto	
	Agua Subterránea	Agua Superficial
Aplicación de fertilizantes	Escorrentía de diferentes nutrientes, especialmente fósforo, dando lugar a la eutrofización, lo que produce mal gusto y olor en el agua, además se da el crecimiento excesivo de las algas causando la desoxigenación del agua y mortandad en las especies acuáticas.	Lixiviación del nitrato en las aguas subterráneas, presentando niveles excesivos que se convierte en una amenaza para la salud pública.
Granjas/parcelas de engorde	Contaminación del agua por agentes patógenos, tales como bacterias, virus o protozoos, produciendo problemas crónicos de salud Contaminación por metales contenidos en la orina y las heces.	Lixiviaciones de metales, nitrógenos, fosfatos, etc. Dirigido para aguas subterráneas

Riego	Escorrentía de sales, que da lugar a la salinización de las aguas superficiales; escorrentía de fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas superficiales, con efectos ecológicos negativos, bioacumulación en especies ícticas comestibles, etc. Pueden registrarse niveles elevados de oligoelementos, como el selenio, con graves daños ecológicos y posibles efectos en la salud humana.	Enriquecimiento del agua subterránea con sales, nutrientes (especialmente nitrato).
Aplicación de estiércol	Provoca que las aguas receptoras tengan un nivel de contaminación alto por agentes patógenos, fosforo, nitrógeno o metales, dando como resultado la eutrofización,	Contaminación de las aguas subterráneas, especialmente por el nitrógeno.
Plaguicidas	Contaminación tanto del agua como de la biota existente en ella. Disfunción del sistema ecológico en las aguas superficiales, teniendo bajas cantidades de depredadores superiores dado la inhibición del crecimiento y problemas reproductivos, así mismo ocasiona consecuencias negativas en la salud debido al consumo de pescado contaminado, ya que produce una bioacumulación en las especies.	Los plaguicidas tienden a lixivarse provocando daños a la salud humana por el consumo de pozos contaminados.

Fuente: FAO, 2018.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

1.3. Bases conceptuales

1.3.1. Sistema lacustre

Los sistemas lacustres son aquellos cuerpos acuáticos que se hallan alejados del mar, manteniendo como principal aporte el agua que viene de ríos o afloramientos de agua freática, este tipo de sistema se caracteriza por ser dinámico ya que se desarrollan gradualmente a lo largo del tiempo y clima, esto se debe a que el agua de los lagos o lagunas puede evaporarse en climas áridos y con niveles de evaporación intensos, o por otro lado se puede incrementar el nivel limnimétrico del cuerpo hídrico con las lluvias intensas (Guerra et al., 2019, p. 22). Los sedimentos lacustres se acumulan en el fondo de los lagos de manera ordenada a una tasa que varía entre 0.5 y 2.0 mm a-1 y que depende del clima, de la geomorfología de la cuenca de drenaje y la batimetría del cuerpo de agua. A él corresponden los lagos y lagunas de carácter temporal o permanente e incluso toda el área de influencia que ellos pueden alcanzar durante los períodos de inundaciones. (Brenner et al., 2002, p. 4; Castellanos, 2006, pp. 2-3).

Estos sistemas tienden a tener únicamente la función de un estanque, especialmente para la acumulación continua de sedimentos que se depositan en el fondo de lagos y lagunas. (Arízala, 2018). Estos sistemas pueden desarrollarse en cualquier altitud, teniendo gran presencia en zonas de montañas relacionadas con la presencia de glaciares. La relación que existe con el aumento de la profundidad de los sistemas lacustres es en parte a la cuenta de la inercia térmica y química de la masa del cuerpo hídrico, por otro lado, los cuerpos acuáticos superficiales tanto de mayor y menor profundidad se caracterizan por una sensibilidad elevada a diferentes cambios ambientales que pueda existir a su alrededor (Guerra et al., 2019, pp. 35).

1.3.2. Aguas Freática

Este tipo de agua se manifiesta en base al escurrimiento que existe en el suelo con partes de infiltraciones por acción de la gravedad hasta estratos impermeables más profundos, conociendo a estos niveles como freáticos. Posteriormente el agua que pasa por los poros a través del suelo, por debajo del nivel freático se conoce como agua freática (Villalaz, 2005, pp. 143). El estudio que se da en torno a la fluctuación de los niveles freáticos subterráneos es muy relevante debido al movimiento que existe en los mantos freáticos, siendo la causa principal de los problemas que existen de salinidad en los cultivos, así como también problemas de drenaje (Coras Merino et al., 2014, pp. 538).

La composición química del agua freática se debe principalmente al aporte de materia disuelta, tanto orgánica como inorgánica que viene del suelo sobre yacente al acuífero freático, conocido también como agua subterránea. Así mismo, la composición permite reflejar el tipo de suelo

drenado y el uso que se le da al mismo, que usualmente se ve sometido a efectos modificadores locales en base a la recarga vertical que se da a partir de infiltraciones de lluvias locales y del sistema de regadío e igualmente el lixiviado producido por suelos salinos por el desarrollo agrícola. (González et al., 2003, p. 20; Álvarez et al, 2008, pp. 65).

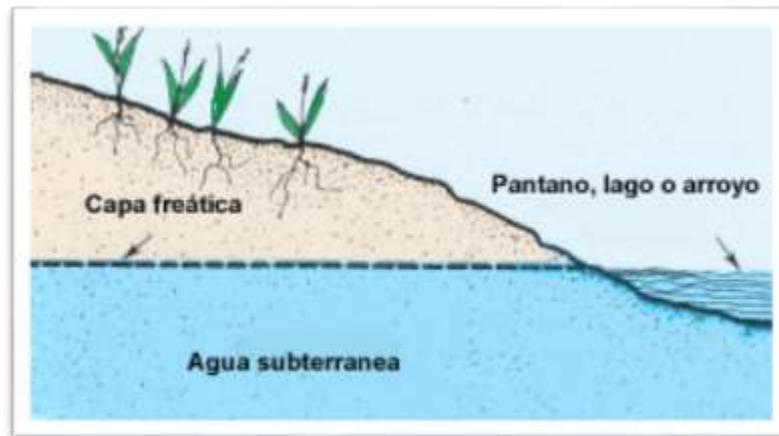


Ilustración 1-1: Nivel de la capa freática

Fuente: FAO, 2021.

1.3.3. Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) estima los sitios de carga de las arcillas, tanto las cargas permanentes, como las cargas dependientes de pH, además que es una propiedad química responsable en gran medida de la fertilidad de los suelos, e igualmente hace referencia al número de sitios de intercambio, teniendo una mayor capacidad de almacenaje de cationes y más disponibilidad para las plantas. Estos sitios de intercambio retienen por fuerzas electrostáticas a los cationes. La CIC es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos y que es función de la cantidad y tipo de arcilla (Bueno et al, 2019, p. 9; Pérez et al, 2017, p. 172).

Los métodos empleados para estimar la CIC se clasifican en:

- CIC por suma de cationes intercambiables
- CIC a pH del suelo
- CIC a pH amortiguado
- CIC a punto cero de carga

Dentro del intercambio de cationes, los coloides son partículas muy pequeñas con grandes áreas superficiales que poseen una carga neta negativa lo que origina que los iones cargados positivamente como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y H^+ siendo atraídas por la superficie de las partículas, además estos coloides se hallan por unidad de volumen o peso de alrededor de 40-800 m² de área superficial por gramo. La capacidad de intercambio catiónico se mantiene igual a una carga total negativa en las partículas del suelo (Pérez et al. , 2017, pp. 173-174).

1.3.4. Salinidad

La salinidad se define como la concentración de sales minerales disueltas, presentes en el agua o en el suelo, referidas a una unidad de volumen o de peso. Todas las aguas de riego contienen sales disueltas, cuyo tipo y cantidad depende de su origen y del curso que hayan seguido antes de su utilización. Los principales solutos son los cationes Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , y los aniones Cl^- , SO_4 , HCO_3 , CO_3 y NO_3 . También pueden encontrarse otros componentes como B, Sr, Li, SiO_2 , F, Mo, Mn, Ba y Al. En estudios de campo, la salinidad del agua se suele expresar como conductividad eléctrica (CE). (Tanji, 2012, p. 35)

Dentro del agua de riego, la salinidad es un fuerte determinante para la salinidad de los suelos, afectando los cultivos, ya que la concentración de estas sales afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo, puesto que la alta concentración de estas ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico, donde al causar el fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones. (Gray et al., 1996, pp. 54). La salinidad se incrementa al avanzar la temporada de sequía, disminuyendo rápidamente con la llegada de las lluvias, esto debido a que los niveles altos de salinidad limitan la producción agrícola (Santos et al., 2017, p. 650). El agua subterránea se encuentra directamente relacionada con la salinidad que pueda haber en el suelo, esto debido a que la misma se eleva a través del perfil de suelo por capilaridad, de esta manera aporta las sales que permanecen en el suelo cuando el agua se evapora, así mismo este tipo de agua contribuye a problemas de salinidad dado que se usa a manera de irrigación (Omuto et al, 2021).

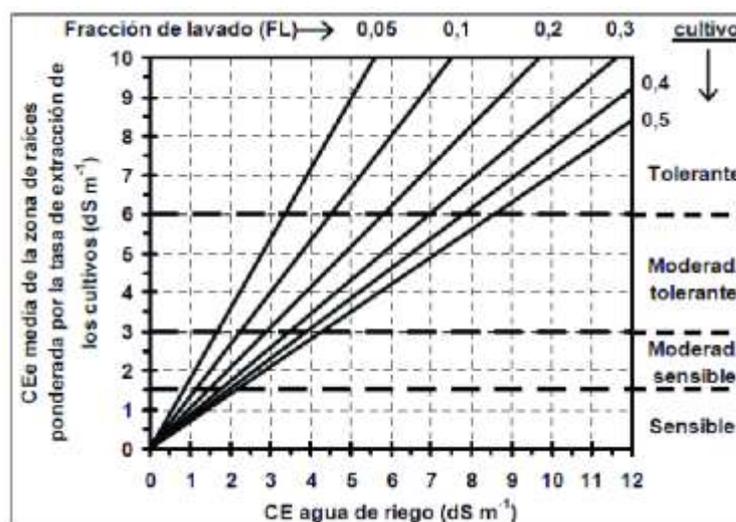


Ilustración 2-1: Relación entre la salinidad (CE) del agua de riego, la fracción de lavado (FL) y la salinidad resultante en el suelo en base a la conductividad eléctrica

Fuente: Puñales et al., 2016.

1.3.5. Índice de Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

La relación de adsorción de sodio (RAS) es un indicador del contenido de sodio en el agua, generalmente usado en las aguas de riego, estos altos contenidos de iones de sodio afectan la permeabilidad del suelo y causan problemas de infiltración, debido a que el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones, por ello el exceso de iones de Na desplaza el K, el Ca y el Mg provocando la dispersión y desagregación del suelo (Bojacá et al., 2012, p. 84). Es este uno de los índices más usados para evaluar el peligro de modificaciones que representa el agua de riego, e igualmente muchos investigadores que desarrollan este índice argumentan que esta correlacionado con el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo que se encuentra en equilibrio con el agua de riego. De acuerdo con lo anterior, conforme mayor sea el valor del RAS, es de esperarse un mayor valor de porcentaje de sodio intercambiable y por lo tanto produce un mayor peligro de sodificación (Lara et al., 1997, p. 5).

La sodificación es un peligro inminente para el cultivo, ya que depende de la concentración relativa y absoluta de los cationes, si la proporción de sodios es alta equivale a que el problema sea mayor por otro lado si predomina el calcio y magnesio el porcentaje del problema es bajo, la importancia también radica en que el índice de RAS original no toma en cuenta los procesos de dilución y precipitación que se producen en el suelo por dilución de la solución del suelo o presencia de CO₂, o la presencia de abundantes cantidades de calcio, carbonatos bicarbonatos o sulfatos (Perez, 2019, p. 5).

Tabla 2-1: Grados de restricción de uso para Sodicidad

Clase	Peligro de sodificación	RAS	Restricción de uso
S1	Baja peligrosidad sódica	0-10	Apta
S2	Mediana peligrosidad sódica	10-18	Apta con precauciones
S3	Alta peligrosidad sódica	18-26	Apta con precauciones
S4	Muy alta peligrosidad sódica	>26	No Apta

Fuente: Cortés, 2008.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Por ello con los datos de Na⁺, Ca⁺² y Mg⁺² solubles se calcula la relación de adsorción de sodio (RAS) de cada muestra que se realice, como se describe en la ecuación:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}\right)}}$$

En donde:

Na⁺: Ion Sodio

Ca⁺²: Ion Calcio

Mg⁺²: Ion Magnesio

(Salazar, 2018, pp. 75).

1.3.6. Parámetros físicos

En el presente trabajo de titulación realizado en el Parque Nacional Llanganates, se analizó los siguientes parámetros físicos:

1.3.6.1. pH

El indicador para la concentración de iones de hidrogeno es el pH, más específicamente es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno, con este parámetro se puede datar la acidez o alcalinidad que proyecte un medio (Chacón, 2017, p. 52). La escala del pH oscila desde el 0 hasta el 14, donde el 7 es un valor neutro, de esta forma los cuerpos de agua pueden definirse como acido cuando tiene valores inferiores a 7 y alcalina cuando alcanzan valores de pH mayores al neutro (Amado et al., 2016, p. 111). Gran parte de las aguas naturales presentan un valor de pH que va desde los 6 hasta los 8, en lagos y embalses, el pH experimenta una evolución espacial y temporal ligada a la dinámica térmica y fisicoquímica del lago, de forma que esta variable disminuye a lo largo de la columna de agua (Marin, 2000, p. 15).

Este parámetro es de utilidad para determinar la calidad en el uso del agua para la agricultura, debido a ello, para tener una buena calidad esta debe estar ubicada en un rango de 5,5 a 7,0 ya que de esta manera permite la absorción de nutrientes (Gómez et al., 2015, pp. 41).

Aun así, por lo general el pH en aguas de riego suelen tener disparidad existente en su capacidad de tampón entre el agua y el suelo (Colasurdo et al., 2011, p. 23). Principalmente lo que condiciona el pH son los aspectos químicos de contenido de carbonatos y bicarbonatos, esto debido a que el uso de agua en casos de agricultura protegida se relaciona con el concepto de fertiirrigación (Castellón et al., 2015, p. 41).

1.3.6.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución para trasladar una corriente eléctrica, siendo expresada en números. Esta capacidad se relaciona con la presencia de iones y la concentración total de los mismos, así como también en la movilidad, valencia y concentración

relativa e igualmente con la temperatura de la medición hecha. (Chacon Chaquea, 2016, p. 22). Para los cuerpos hídricos, este tipo de transmisión se da por medio de la presencia de las sales que se encuentran en el medio siendo una medición indirecta de la presencia de iones como cloruros, nitratos, sodio, magnesio, etc. (Coritoma et al., 2018, p. 125). A los embalses y lagos, en el periodo de mezcla de aguas tiende a llevar a la conductividad a ser más baja en comparación al periodo de estratificación térmica, y con esta situación, las aguas anóxicas del fondo presentan valores elevados de conductividad que las de la superficie (Marin, 2000, p. 13).

El agua de riego se relaciona directamente con la conductividad eléctrica debido a las concentraciones y tipos de sales disueltas que puede haber, siendo un problema constante para el rendimiento de los cultivos. Para que se encuentre en niveles aceptables, se debe encontrar por debajo de 0,2 dS/m, ya que así puede indicar que el aporte de sales al suelo es casi nulo, permitiendo de esta manera utilizar el agua en forma de irrigación (Bojacá et al., 2012, p. 84). En el Sistema Internacional de Unidades este parámetro se mide como $\mu\text{S}/\text{cm}$, micro Siemens por centímetro, a la temperatura promedio de 25°C , estas sales dentro de los medios acuáticos se disocian y posterior forman iones positivos y negativos (Solís-Castro et al., 2017, pp. 36-37; Flores et al., 2018, p. 47).

Tabla 3-1: Clasificación de conductividad para agua de riego

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Restricciones	Riesgos de Salinidad
<250	Excelente	Bajo
250 – 750	Buena	Medio
750 – 2250	Restrictivo	Alto
>2250	No aceptable	Muy Alto

Fuente: Betancourt et al., 2018.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

1.3.6.3. Temperatura

La temperatura es un parámetro físico de gran importancia para el desarrollo de fenómenos que se efectúan en el agua, e igualmente en sustancia con rangos de solubilidad debido a que influyen

con las tasas de la actividad microbiana y química, así mismo condiciona los parámetros físicos del agua (Puyol et al., 2016, p. 13).

A niveles subterráneos, la temperatura depende de las características del terreno que drenan, ya que se presenta la influencia de la naturaleza de las rocas. Existe también la variación que se encuentra en relación con la capacidad de la capa acuífera y con aportes extraños que ya existan, tanto por infiltración directa o por aportes subterráneos (Zamora, 2009, p. 127).

1.3.6.4. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los más significativos agentes oxidantes en las aguas naturales, siendo preciso como un factor que proporciona las condiciones aerobias o anaerobias e igualmente determina el grado de contaminación que hay en las aguas muestreadas, la importancia del oxígeno disuelto en el agua es primordial para la vida acuática, por esto mismo la falta de este es perjudicial. Este parámetro se relaciona inversamente con la temperatura, representando así que a mayor temperatura existirá una disminución del oxígeno, acercándolo a un punto de saturación que fomenta la dilución y escapatoria al aire (Huanca-Arohuanca et al., 2020, p. 93).

Según Álvarez et al. (2008, p. 28) plantea los rangos entre 7 a 8 mg/L de oxígeno disuelto como un valor para aguas libres de contaminación. A nivel de variables físico-químicas, estas se manejan para la intensidad de procesos fotosintéticos, liberación de nutrientes y Re-mineralización de la materia orgánica. La carencia de oxígeno disuelto condiciona al agua, puesto que este parámetro es el que determina la transformación del fierro y compuestos como el nitrógeno y fósforo, debido a ello es necesario conocer la concentración del OD en las columnas de agua, siendo una herramienta para sustentar el uso de ambientes acuáticos (Beltrán et al., 2012, p. 94).

1.3.7. Parámetros Químicos

En el presente trabajo de titulación realizado en el Parque Nacional Llanganates, se analizó los siguientes parámetros químicos:

1.3.7.1. Aniones

Los aniones son iones químicos con una carga neta negativa, se encuentran en forma libre en disoluciones acuosas o de otros disolventes polares. Para los análisis de calidad de agua en riego, los más importantes son: (NO_3^-); (PO_4^{3-}); (SO_4^{2-}).

- Nitratos

Los nitratos es un compuesto iónico estable que forma parte de las estructuras oxigenadas del nitrógeno. Dentro de la naturaleza, forma parte del ciclo del nitrógeno, contando con una baja reactividad química pudiendo ser reducido por acción microbológica (Lizaso, 2001 págs. 26-27). Estos aniones tienden a ser la forma del N más invariable termodinámicamente en presencia del oxígeno siendo así que principalmente en sistemas acuáticos más que en terrestres, los materiales nitrogenados permiten transformarse en nitratos, y posterior a juntarse con el agua, se vuelve muy móvil debido a su solubilidad y su forma aniónica (Blarasin, 2014, p. 379).

Las primordiales rutas de entrada del nitrato en las masas de aguas superficiales se centran en procesos antropogénicos o bien el resultado de procesos naturales, siendo la contaminación humana la que postula la existencia de una relación directa entre la cantidad de nitrógeno aplicado al suelo como fertilizante, principalmente estiércol así también como tanques sépticos, aguas residuales de industria y la concentración de nitrato en agua subterránea, por otra parte sus fuentes de nitrato pueden dividirse en: naturales, residuos orgánicos, agricultura e irrigación (Muñoz et al., 2004, p. 92). Principalmente, en aguas superficiales, los valores normales van entre 0 a 5 mg/L por otra parte para las aguas subterráneas varían entre 0 a 9 mg/L, aunque a medida que la contaminación antropológica aumenta, los niveles alcanzan varios centenares de nitratos sobre litro (Alvarado, 2009, p. 92).

- Sulfatos

Los sulfatos son aniones que abundan en la naturaleza, teniendo una variabilidad de contenido neto, dado que puede ir de algunas centenas de miligramos por litro, hasta cientos de miligramos por litro (Rodríguez et al., 2010, p. 39). Su existencia en niveles de agua de lluvia o agua superficial se correlacionan principalmente con las emisiones de dióxido de azufre provenientes de motores que utilizan como combustible diésel (Bolaños Alfaro et al., 2017, pp. 17-18). La determinación de este ion proporciona meritoria información respecto a la contaminación y a los fenómenos ambientales e igualmente se encuentra presencia de sulfatos de fertilizantes como la mayor fuente de sulfato al medio ambiente agua; así mismo, puede aportar datos acerca de la investigación de ácido sulfúrico derivado del dióxido de azufre presente en la atmósfera (Severiche et al., 2012, p. 7)

En caso de presencia de sulfatos en aguas subterráneas, se presentan como oxidación de sulfuros en las rocas como la pirita, calcopirita, galena, blenda, etc. Las concentraciones más importantes de sulfatos en las aguas subterráneas también se correlacionan con diferentes procesos de disolución de los materiales por donde circula, por ello, en el caso de las aguas de riego, estos parámetros suelen llamar la atención con respecto al material con el que está construido el mismo.

(TELUR Geotermia y Agua, S.A., 2018, p. 11). Para el uso de riego, el sulfato contribuye a la salinidad en conjunto con los elementos Na, Ca, Mg, Cl y HCO_3 , e igualmente contribuye con la conductividad y sólidos disueltos del agua, todos estos parámetros se ven presentes en la calidad del agua que se regula con normativa internacional.

- Fosfatos

El Fosfato se deriva del elemento Fosforo, comúnmente encontrado al ambiente, sus especies más comunes están dentro de aguas naturales en forma de compuestos inorgánicos y orgánicos, ya sea en estado disueltos o suspendidos. Los fosfatos, constituyentes naturales de rocas y minerales, forman parte de fertilizantes y estiércoles, de la materia orgánica proveniente de desechos urbanos, industriales y residuos agrícolas como así también de los detergentes de uso industrial y doméstico (Lavie et al., 2010, p. 170). La contaminación fosfatada es consecuencia directa por las actividades antropológicas, teniendo un eje principal por la agricultura intensiva, no respetuosa del medio ambiente (Rodríguez et al., 2015, p. 31).

Los sistemas acuáticos tienen una capacidad natural de asimilarlos, así como de soportar hasta cierto grado la carga de estos, sin embargo, cuando una corriente de agua excede su capacidad asimilativa, presenta problemas de eutrofización. Sus residuos pueden promover el crecimiento de algas, así como la disminución del OD producto de la descomposición microbiana de las mismas algas e igualmente un desbalance en su pH natural, volviéndose tóxico para la vida acuática (González et al., 2014, p. 20).

La composición de la carga de fosfatos totales se compone de ortofosfatos, los cuales son los más elevados, además de polifosfatos y compuestos de fósforo orgánico. En cuanto a la concentración crítica incipiente es de 0,1 a 0,2 mg/L en aguas con corriente en cambio a las aguas tranquilas que tienen alrededor de 0,005 a 0,01 mg/L (Maza, 2017, p. 41). De acuerdo con el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) del Ecuador, el fósforo total no debe ser superior a 10 mg L⁻¹, otros autores indican que para exista un proceso de eutrofización, las concentraciones críticas de fósforo disuelto deben tener un límite de fosfato es de 0.05 mg L⁻¹ (Carrera et al., 2013 p. 93).

1.3.7.2. *Cationes*

Los cationes son iones de carga positiva, teniendo un estado de oxidación positivo. Usualmente las sales se conforman con cationes, los cuales son: Ca, Na, Mg, Al, K.

- Calcio

El ion calcio es parte del ciclo del agua debido al lavado de las aguas lluvias que hacen de los minerales que disponen de la corteza terrestre en su proceso natural de infiltración. En aguas naturales como lo son los humedales, lagos y ríos, el ion calcio compone los alcalinotérreos más habituales y cuantiosos (Cárdenas, 2022, p. 160). En aguas subterráneas que no se encuentran contaminadas se obtiene concentraciones que van desde 1 a 100 mg/l, por otra parte, las aguas dulces contienen un rango que es de 10 a 250 mg/l (Tostado, 2010, p. 43).

Por parte de aguas de riego, el valor de Ca es el contenido de calcio corregido por la salinidad del agua, así como también por el contenido de iones bicarbonato en correlación al propio contenido de calcio, e igualmente en conjunto con el ion magnesio y en determinadas ocasiones el ion hierro (II) desarrollan el parámetro de dureza del agua. Para la determinar el resultado del ion Ca al aplicar el agua de riego, es bajo a las derivaciones de salinidad y contenido relacionado bicarbonatos calcio (Can-Chulim et al., 2011, p. 193).

- Sodio

El sodio es un parámetro que se rige principalmente para las aguas de riego, presentándose en tres combinaciones de aniones diferentes, tales como: Na (HCO₃), NaCl y Na₂(SO₄), siendo estas sales muy solubles y contribuyen a características salinas. Basado en ello, su análisis permite definir su posición y relevancia ya que se correlaciona con la modificación de la estructura del suelo, sobre todo si se encuentran en concentraciones altas, con valencias de di y tri, presentando efectos visibles en corto tiempo, causando dificultades en la permeabilidad y ocasionando problemas de infiltración (Roblez et al., 2002, p. 43).

Las concentraciones que hay de sodio en los recursos hídricos se plantean en una clasificación que usa la Relación de Adsorción de Sodio correlacionada con las concentraciones iónicas, basándose en los efectos que posee el ion para ser absorbido por el suelo sobre sus ambientes físicos y la interferencia que produce su efecto sobre el agua de riego que formara parte del suelo (Mancilla-Villa et al., 2021, p. 5).

- Magnesio

El magnesio es un elemento que se relaciona con el parámetro de la dureza en los análisis de calidad del agua, en conjunto con el calcio, siendo menos abundante en su fuente de origen. La concentración de magnesio en cuerpos hídricos es menor a su contraparte cálcica, indicando valores menores a 50 mg/L, aunque en climas fríos, se calcula valores iguales o superiores a 100 mg/L (Evens et al., 2013, p. 36). Al no encontrarse en un estado libre sino en combinación como carbonato de magnesio, se puede encontrar en el agua en pequeñas o grandes concentraciones junto con el calcio (Guaras, 2016, p. 8).

En aguas de riego, la agrupación que se tiene del Mg y Ca, no se señala la concentración verdadera del Mg, ya que se encuentra superado de dos a cinco veces más por el Ca. El Mg tiene un gran efecto sobre la conductividad hidráulica saturada, puesto que al tener una concentración de electrolitos baja, el Mg pueden tener efectos nocivos efectos sobre las propiedades hidráulicas del suelo causando daños generalmente relacionados con la dispersión de partículas de arcilla, lo que expone una reducción de la permeabilidad del suelo (Smitha et al., 2015, p. 60).

- Aluminio

El aluminio es un elemento metálico, estando presente de forma natural en el medio ambiente, tanto en aguas superficiales y subterráneas. Se encuentra en forma de silicatos, óxidos e hidróxidos e igual combina con otros elementos como el sodio, flúor y en complejos con la materia orgánica. Forma parte de la estructura de arcillas y está presente solublemente en sistemas coloidales comprometidos con la turbiedad; se encuentra considerablemente distribuido en el ambiente, siendo tóxicos para el desarrollo de las plantas en suelos ácidos, estando presente en aguas de lluvia contaminadas que tienen contacto con algún contaminante atmosférico, teniendo concentraciones altas en fuentes hídricas, ya sea superficiales o subterráneas poniendo en riesgo la salud humana (Ospina et al., 2021, p. 32).

Dado que el aluminio es abundante y considerablemente distribuido, la totalidad de las aguas cuentan con la posibilidad de fungir como disolventes, pese a ello la concentración de aluminio disuelto en aguas naturales es normalmente menor 1 mg/L. Las aguas superficiales naturalmente acidificadas que mantienen un pH menor 4 suelen ser por lo general los lagos pantanosos, drenajes volcánicos, vertientes termales y salina, teniendo cientos e incluso miles de mg/L de aluminio, e igualmente altas concentraciones de aluminio también ocurren en aguas subterráneas ácidas. En aguas relacionadas al riego, el aluminio resulta en un grado alto de toxicidad ya que su principal causa es la no productividad en suelos ácidos, así mismo suelen hallarse en cultivos donde se utiliza fertilizantes de nitrógeno (SAG; Universidad de Chile, 2005, p. 4).

- Potasio

El ion potasio pertenece a las sales de solubilidad muy elevada, por ello en aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm causando que sea un catión mucho menos característico que el sodio (Lapeña, 1989, p. 35). Las aguas subterráneas suelen tener mayores concentraciones de potasio, principalmente por las lixiviaciones por parte de fertilizantes que cuentan con el elemento, debido a que se tiene la afirmación que el uso de potasio tiene solo un efecto adverso leve o nulo sobre las propiedades físicas de los suelos (Smitha et al., 2015, p. 59). En aguas de riego sus concentraciones

son bajas, totalmente por debajo del 0,1 ppm y en casos en donde la concentración aumenta es principalmente por contaminación industrial.

1.3.8. Normativa Internacional para la Calidad del agua de riego

La calidad del agua para el riego es sumamente importancia por razones de seguridad, principalmente por su potencial efecto en la salud humana y en los ecosistemas en genera. La gestión de calidad ambiental y sostenible de los recursos hídricos fomenta un manejo participativo de diferentes actores y sectores, aplicándolo de manera equivalente para todo el mundo, teniendo indicadores identificados por las Naciones Unidas para definir el desarrollo sostenible (Garcia, 2015, pp. 10). La apertura global a la posibilidad de adhesión por parte de todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas fomenta el compromiso de la aplicabilidad de los criterios de calidad del agua existentes, en particular a los relacionados con el riego, el uso de lodos en la agricultura y el mantenimiento de la vida acuática, formándose a partir de las normas y recomendaciones nacionales e internacionales (Organización de Naciones Unidas , 2015, p. 60).

1.3.8.1. Normativa FAO

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) creo una guía para evaluar la calidad del agua para uso agrícola, en base a recopilaciones de los autores Ayers y Westcot, que se centra en los parámetros de salinidad, sodicidad, así también avances sobre la fitotoxicidad, lixiviación, tolerancia de los cultivos a las sales y sus respuestas productivas, divulgando las directrices para interpretar la calidad de aguas de riego, siendo equivalentes a las del Comité de Consultores de la Universidad de California. En 1985, la FAO actualiza su guía incorporando resultados obtenidos de diversas partes del mundo. Las directrices propuestas por los autores Ayers y Westcot resultan altamente exitosas para diagnosticar los componentes del agua del riego, permitiendo evaluar y analizar los efectos negativos que tendrán sobre las condiciones del suelo y la productividad, con ello consiguiendo sugerir rangos de concentraciones para los oligoelementos presentes en aguas de riego (Delgado, 2021, pp. 18-19).

Tabla 4-1: Parámetros de calidad para agua de riego

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego	
SALINIDAD				
Contenido en sales				
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	0 – 3	
Sólidos disueltos totales	TSD	mg/L	0 – 2000	
Cationes y aniones				
Calcio	Ca ²⁺	meq/L	0 – 20	
Magnesio	Mg ²⁺	meq/L	0 – 5	
Sodio	Na ⁺	meq/L	0 – 40	
Carbonatos	CO ₃ ²⁺	meq/L	0 - 0'1	
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/L	0 -10	
Cloro	Cl ⁻	meq/L	0 – 30	
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq/L	0 – 20	
NUTRIENTES				
Nitrato – nitrógeno	NO ₃ -N	mg/L	0 – 10	
Amonio – nitrógeno	NO ₄ -N	mg/L	0 – 5	
Fosfato – fosforo	PO ₄ -P	mg/L	0 – 2	
Potasio	K ⁺	mg/L	0 – 2	
VARIOS				
Boro	B	mg/L	0 – 2	
Acidez o basicidad	pH	1 al 14	6 - 8'5	
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/L	0 – 15	
TOXICIDAD DE IONES ESPECIFICOS				
	Unidad	Grado de Restricción		
	RAS	Ninguno	Ligero	Alto
Afecta a cultivos sensibles				
Sodio, Na+				
Riego por superficie	RAS	<3	3 - 9	>9
Riego por aspersión	meq/L	<3	>3	
Cloro, Cl-				
Riego por superficie	meq/L	<4	4 -10	>10
Riego por aspersión	meq/L	<3	>3	
Boro, B				

Riego	mg/L	<0,7	0,7 -3	>3
VARIOS				
Afecta a cultivos sensibles				
Nitratos, NO ₃ – N	mg/L	<5	5 -30	>30
Bicarbonatos	me/L	<1,5	1,5 -8,5	>8,5
pH	pH	Amplitud normal 6,5 - 8,4		

Fuente: Ayers, y otros, 1994.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Tabla 5-1: Grados de restricción de uso para aguas de riego según la FAO

Sodicidad (RAS): afecta a la estabilidad estructural del suelo	Grado de Restricción de Uso		
	Ninguna	Ligera o moderada	Severa
	CE (dS/m)		
0 – 3	>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
3 – 6	>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
6 – 12	>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
12 – 20	>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
20 – 40	>5,0	5,0 – 2,9	<2,9

Fuente: Ayers et al., 1994.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

1.3.8.2. Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua del Perú, tienen por objetivo establecer los niveles de concentración para elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, presentes tanto en su condición de cuerpo receptor o a su vez como un componente básico de los ecosistemas acuáticos, velando por que no represente un riesgo característico para la salud humana ni para el ambiente, tornándose un instrumento de control, así como también siendo parte de la gestión ambiental constituyéndose como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental peruana. En el sector de calidad para aguas de riego, el riego de los cultivos vegetales rige bajo factores como el tipo de riego empleado en los cultivos (Ministerio del Ambiente del Perú, 2017, pp. 10 - 11).

Tabla 6-1: Parámetros de calidad para agua de riego

	D1: Riego de Vegetales
--	-------------------------------

Parámetros	Unidad	Agua riego no restringido ©	Agua riego restringido
Físicos - Químicos			
Aceites y Grasas	mg/L	5	
Bicarbonatos	mg/L	518	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cloruros	mg/L	**	
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	
Conductividad	(μ S/cm)	2500	
DBO ₅	mg/L	15	
DQO)	mg/L	40	
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	
Fenoles	mg/L	0,002	
Fluoruros	mg/L	1	
Nitratos	mg/L	100	
Nitritos	mg/L	10	
O. D.	mg/L	≥ 4	
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	
Sulfatos	mg/L	1000	
Temperatura	°C	3	
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Bario	mg/L	0,7	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	1	
Cadmio	mg/L	0,001	
Cobre	mg/L	0,2	
Cobalto	mg/L	0,05	
Cromo total	mg/L	0,1	
Hierro	mg/L	5	
Litio	mg/L	2,5	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Níquel	mg/L	0,2	

Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,02
Zinc	mg/L	2
PLAGUICIDAS		
Paration	µg/L	35
Organoclorados		
Aldrin	µg/L	0,004
Clordano	µg/L	0,006
Dicloro Difenil Tricloroetano	µg/L	0,001
Dieldrin	µg/L	0,5
Edosulfan	µg/L	0,01
Endrin	µg/L	0,004
Heptacoloro y Heptacoloro	µg/L	0,01
MICROBIOLOGICOS		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ML	2000
Escherichia coli	NMP/100 ML	0
Huevos de Helmintos	NMP/100 ML	1

Fuente: Ministerio del Ambiente del Peru , 2017.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

1.3.8.3. Normas de Riverside

Las normas de Riverside se basan en lo propuesto por Richards en el año 1954 para el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Riverside, California). Este sistema se fundamenta en que la medida de la conductividad eléctrica del agua sirve para poder determinar el riesgo de salinización del suelo y agua, en base al cálculo de la Relación de Adsorción de Sodio, permitiendo el registro del riesgo de sodificación o alcalinización (Oliás et al., 2005, p. 111). Idealmente es una de las más usadas a nivel general para determinar la calidad para aguas de riego, teniendo como resultado los 16 subgrupos que se reflejan tanto en el diagrama de Richards donde se establecen sus respectivos grados de restricciones de uso.

- **Clasificación de grados para las restricciones de uso**

Con el fin de establecer valores para la clasificación de restricción de uso, se propone las siguientes directrices, con una combinación de 4 categorías de agua que se fundamentan tanto en

la salinidad como la Relación de Adsorción de Sodio. La clasificación del agua de riego en torno al contenido de sodio son las siguientes, (Secretaria de Educacion Publica Mexicana , 1985, p. 218):

- S₁: Poco sodio, existe poco riesgo de acumulación en el suelo.
- S₂: Presencia media de sodio; hay peligro en suelos muy arcillosos y poca materia orgánica.
- S₃: Agua con mucho sodio; se acumula peligrosamente y el suelo requiere buen drenaje.
- S₄: Agua con cantidad muy elevada de sodio; para que los suelos puedan sostener una agricultura sostenible, requieren de lavados y muy buen drenaje.

Se pondera igualmente el valor de la conductividad eléctrica y la clasificación recae en cuatro grupos, tales como (Cárdenas, 2022, p. 336):

- Grupo C₁: Agua con conductividad eléctrica entre 100 y 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerada de baja salinidad, útil para el riego de cualquier cultivo.
- Grupo C₂: Agua con conductividad eléctrica entre 250 y 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerada salinidad media, útil para el riego de cualquier cultivo que conste de al menos un lavado moderado de los suelos por lluvia.
- Grupo C₃: Agua con conductividad eléctrica entre 750 y 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considera altamente salino y solamente útil para riego de buen drenaje o en cultivos para resistencia a sales.
- Grupo C₄: Agua con conductividad eléctrica mayor a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considera con salinidad extrema y no se recomienda para riego de ningún cultivo.

- **Diagrama de Richards**

El diagrama de Richards fue creado para la clasificación de aguas de riego en base al nivel de peligrosidad por sodio y salinidad presentes en aguas de riego, por ello se fundamenta con entradas del índice RAS y la conductividad eléctrica en muestras realizadas. Según las directrices del Laboratorio de Salinidad de EEUU que formaron parte de las normas Riverside, se basa en criterios tradicionales se da a la relación de la relación de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica teniendo como resultado una clasificación de C₁, C₂ y C₃, dentro de la misma, la clasificación que se le da a C₁, es la de suelos y aguas satisfactorias para riego con respecto a la concentración de sales; por otro lado, las aguas que se encuentran en C₂ pueden impactar de manera adversa a cultivos sensibles, en el caso de los C₃ se tiene un rendimiento adecuado de los cultivos, esto si cumplen un manejo adecuado de los suelos y que el drenaje sea eficaz, caso contrario podrían presentar condiciones de alta salinidad. En el caso de peligrosidad por salinidad, se encuentra representado por la letra S y con respecto al nivel de peligrosidad se le asigna un

número, si presenta un nivel de peligro bajo se tiene la categoría S1 y para un nivel de categoría muy alto se tiene S4 (Carabalí et al., 2019, p. 53).

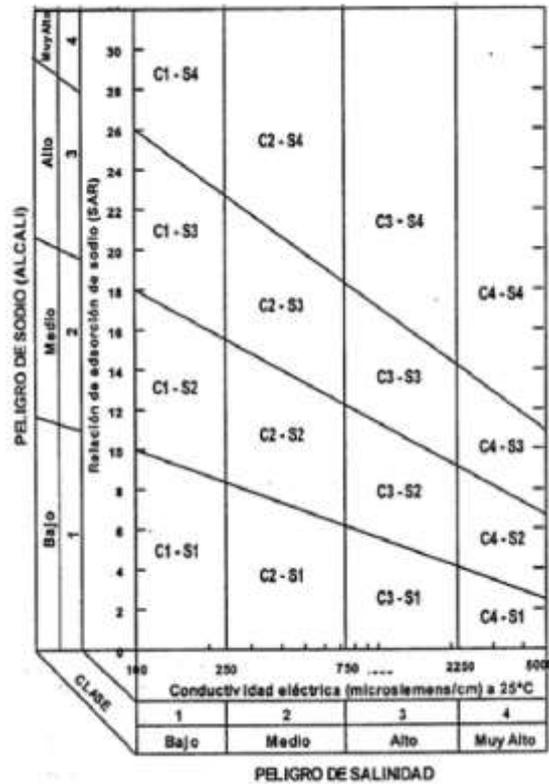


Ilustración 3-1: Diagrama de Richards

Fuente: Carabalí et al., 2019.

1.4. Base Legal

En Ecuador están presente leyes, reglamentos y normas de forma general que garantizan la calidad de agua, por esto mismo, es sumamente importante establecer referencia a todo el órgano legal que se vea amparado y que proteje al recurso hídrico buscando la finalidad de certificar la utilización y el bienestar social de la comunidad (Chamba et al., 2013, pp. 33-35).

1.4.1. Constitución de la Republica del Ecuador

La Constitución es la norma jurídica fundamental del Estado y es el sustento del ordenamiento jurídico, se encuentra dirigida a garantizar y consagrar los derechos de los ciudadanos de manera general, los que a su vez son desarrollados a través de la legislación secundaria como leyes

orgánicas y ordinarias, reglamentos, ordenanzas, decretos, entre los más principales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En la parte introductoria de la constitución manifiesta que el buen vivir se logra con la convivencia armónica de toda la ciudadanía con la naturaleza. Es una disposición del Estado Ecuatoriano mantener la conservación del medio ambiente y la convivencia en equilibrio y en armonía y al estar presente denota, los mecanismos necesarios para que las leyes amparen y regulen la protección del medio ambiente. Cabe destacar que lo estipulado en el mismo, hace referencia al manejo y uso de los recursos naturales, estableciendo que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público.

- **Art. 13.** El derecho al agua es un derecho humano fundamental e irrenunciable. Es patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (Constitución de la República del Ecuador, 2008).
- **Art. 14.** “La población tiene derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”(Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En este sentido se denota que el Estado ampara los derechos de toda la población, para que posea una vida mejor dentro de un ambiente sano y limpio, en desarrollar formas en que las personas y la naturaleza puedan convivir en un ambiente armónico en miras de cumplir con el buen vivir declarado en la Carta Magna.

1.4.1.1. La sección sexta “Agua” del capítulo segundo “Biodiversidad y recursos naturales” del título VII “Régimen del Buen Vivir”:

La constitución especifica que el recurso hídrico es un bien público y que está prohibida su privatización, garantizando que se dará el apoyo a las comunidades que en sus territorios y que estas cuenten con fuentes naturales de agua para su adecuado aprovechamiento y gestión, tanto para su consumo como para sus fines de servicio alimenticios.

- **Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de

los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

1.4.2. Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria

Esta Ley s/n, publicada en Registro Oficial. Suplemento 583 de 5 de mayo del 2009, tiene como obligación establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente (Asamblea Nacional, 2009).

1.4.2.1. Título II: “Acceso a los factores de producción alimentaria”. Capítulo I: “Acceso al agua y a la tierra”

- **Art. 5.** Acceso al Agua. - el Acceso y uso del agua como factor de productividad se regirá por lo dispuesto en la Ley que trate los recursos hídricos, su uso y aprovechamiento, y en los respectivos reglamentos y normas técnicas. El uso del agua para riego, abrevadero de animales, acuacultura u otras actividades de la producción de alimentos, se asignará de acuerdo con la prioridad prevista en la norma constitucional, en las condiciones y con las responsabilidades que se establezcan en la referida ley (Asamblea Nacional, 2009).

1.4.3. Ley de Aguas

La ley de Aguas es la norma jurídica estratégica del Estado ecuatoriano para asegurar el derecho humano del agua, estableciendo garantías de calidad, disponibilidad del recurso hídrico, la ley reconoce el papel transcendental de la gestión social del recurso mediante el reconocimiento de los sistemas comunitarios de agua como: las Juntas de Agua Potable y Riego, Comités, Directorios, comunas y comunidades; así también el reconocimiento de la Gestión Ancestral y Tradicional del Agua. Se citan los principales artículos. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria. (Ley Organica de Recursos Hidricos Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

- **Artículo 4.-** Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios: La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
 - a) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;

- b) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
- c) El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de las y los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; en consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua;
- d) El acceso al agua es un derecho humano;
- e) El Estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- f) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua;
- g) La gestión del agua es pública o comunitaria

(Ley Organica de Recursos Hidricos Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

- **Art. 12.-** Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley (Ley Organica de Recursos Hidricos Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

1.4.3.1. Ley de Aguas Codificación 2004 - 016, expedita por la Comisión de legislación y codificación del H. Congreso Nacional

Esta Codificación fue elaborada por la Comisión de Legislación y Codificación, de acuerdo con lo dispuesto en el número 2 del Art. 139 de la Constitución Política de la República

- **Art. 22.** Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición. Se concede acción popular para denunciar los hechos que se relacionan con contaminación de agua. La denuncia se presentará en la Defensoría del Pueblo.
- **Art. 41.** Las aguas destinadas al riego podrán extraerse del subsuelo, glaciares, manantiales, cauces naturales y artificiales cuando exista tal necesidad y en la medida determinada técnicamente por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos.
- **Art. 52.** El Consejo Nacional de Recursos Hídricos determinará la disponibilidad de las aguas de los ríos, lagos, lagunas, aguas corrientes o estancadas, aguas lluvias, superficiales o subterráneas y todas las demás que contemplan esta Ley, como aptas para los fines de riego.

1.4.4. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) es la norma técnica ambiental dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional (Ministerio del Ambiente 2012).

1.4.4.1. El libro VI, Anexo 1 “De la Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes – Recurso Agua

Se establece principales criterios:

- Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico
- Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:
 - Bebida y preparación de alimentos para consumo,
 - Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
 - Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

Así mismo establece los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y las normas generales de descarga de efluentes, para nuestro estudio al ser agua de riego, la normativa mencionada se encuentra presente en las tablas 1 y 2 los criterios de calidad que se deberán cumplir para que este recurso sea apto tanto para riego como para consumo humano. (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2012).

(Ver Anexo 1. TULSMA).

1.4.5. Norma técnica ecuatoriana. NTE INEN 1 108:2011

La presente norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano, y su aplicación en los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros (Norma Técnica Ecuatoriana 2014). A continuación, se muestran las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) que se realizaron durante el proceso de muestreo:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo manejo y conservación de muestras (Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108, 2011).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestre y técnicas de muestreo (Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108, 2011).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron identificados por medio del programa ArcGIS, en base a las áreas que contienen mayor importancia hídrica para la zona de estudio, con el fin de establecer puntos estratégicos en donde se verifique el uso de agua para riego del sector agrícola. Posterior se realizó una salida de campo para una exploración de la zona más definida, en donde los puntos seleccionados se encuentran a una distancia de 2 metros desde el perfil del cuerpo hídrico. En los 5 puntos que se localizan dentro del Parque Nacional Llanganates se utilizó un tubo PVC de 1,5 m de largo y de 4 pulgadas de diámetro enterrado con una perforación de 1,30 cm de profundidad para acceder al agua freática.

La georreferenciación de los puntos se usó un GPS Garmin Dakota, tomando las coordenadas geográficas según el datum WG84, zona 17 Sur.

2.2. Muestreo

Las salidas de campo se las realizó durante los meses de: enero, febrero y marzo del 2022, con el objeto de establecer diferencias significativas entre las temporadas climáticas (en referencia al aumento de pluviosidad de la zona), así como consolidar los datos y resultados conseguidos.

2.3. Tipo de Investigación

El método de investigación es cuantitativo, debido a que cuantifica la recopilación de muestras y el análisis de datos para la determinación de la calidad de agua freática en el Parque Nacional Llanganates y el sector agrícola aledaño perteneciente a la parroquia rural San José de Poaló.

Según el objetivo es teórica, pues se recolectará información sobre el tema, para acrecentar la comprensión, siendo descriptiva ya que puntualiza las características de este. Como manipulación de variables es no experimental, debido a que se examinarán variables mediante diferentes metodologías sin manipularlas con el fin de obtener una recolección de datos de forma mensual, siendo un estudio de carácter inductivo.

2.4. Diseño de la Investigación

La presente investigación es de tipo no experimental longitudinal debido a que no existe una manipulación de variables de investigación, centrándose en un análisis de parámetros, mediante recursos tecnológicos (ArcGIS Pro), teóricos y prácticos, tomando varios puntos de muestreo en consideración a las diversas actividades que estas presentan de forma mensual.

2.4.1. Población de estudio

La población de estudio comprende la zona del Páramo Herbáceo perteneciente al Parque Nacional Llanganates y la zona agrícola del sector de San José de Poaló.

2.4.2. Tamaño de la muestra

Corresponde a 7 puntos de muestreo seleccionados acorde a su ubicación dentro de la subcuenca del río Yanayacu, uno correspondiente a las microcuencas de: L. Tambococha, L. Pisayambo, al canal de riego y la central Hidroeléctrica de CNEL, por medio de un análisis inferencial con 3 muestreos realizados 1 vez por mes durante 3 meses.

2.4.3. Técnica de recolección de datos

Para la realización de este estudio se utilizarán dos técnicas de recolección de datos:

- Análisis documental: Técnica comprendida en la recolección de datos por medio de fuentes primarias o secundarias, comprendiendo la revisión de libros, artículos científicos, informes técnicos, tesis, etc. Por medio de ello, se busca la recuperación e identificación de cualquier medio informativo para el desarrollo de la investigación.
- Técnica de observación no experimental: Con esta técnica se procede a realizar la recolección y descripción de la información de campo e igualmente para la interpretación de los parámetros observados se utilizarán los siguientes instrumentos:
 - Manual de Standard Methods.
 - Equipo para la medición de los parámetros ex situ (Espectrofotómetro HANNA - Espectrofotómetro de Absorción Atómica).
 - Materiales y reactivos para el análisis de muestras.

- Equipo para análisis: Mediante Espectrofotómetro HANNA se realiza el análisis de los aniones (SO_4^{-2} , NO^3 , PO_4^{-3}) y mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Llama, cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Al^{+3}).

2.4.4. *Materiales, equipos y reactivos empleados*

Tabla 1-2: Materiales, equipos y reactivos empleados

Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Tubo PVC de 1,50 m. • Envase recolector de muestras de 1 L. • Matraz Büchner de Pyrex con capacidad de 250 ml. • Embudo Büchner de porcelana • Probeta de 50 ml. • Vasos de precipitación de 50 ml • Pipeta de 5 y 10 ml. • Pera de succión. • Papel Filtro de microfibra • Equipo de protección personal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparámetro HACH • GPS Garmin Dakota 20. • Cámara. • Flexómetro. • Cooler. • Bomba de vacío. • Espectrofotómetro HANNA - c200 • Multiparameter Ion Specific Meter • Bomba de Absorción Atómica de Llama. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada. • Hielo. • Alcohol • Solución Estándar de Aluminio Al (NIST) • Solución Estándar de Potasio HACH • Solución Estándar de Calcio HACH • Solución Estándar de Sodio HACH • Solución Estándar de Magnesio • Ácido Nítrico al 69%. • Reactivo de Fosfato HI38061 • Reactivo de Sulfato HI38000 • Reactivo de Nitrato HI3874

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

2.4.5. Métodos utilizados para la medición de cationes y aniones

Tabla 2-2: Métodos utilizados para la medición de cationes y aniones

Aniones	Método
Nitrato	Método 8039 - Método de reducción de cadmio
Fosfato	Método 8178 - Método de aminoácido
Sulfato	Método 8051 - Método SulfaVer4
Cationes	Método
Sodio	STANDARD METHODS 3111 B.
Potasio	Método de llama Aire - Acetileno directo
Calcio	
Magnesio	
Aluminio	STANDARD METHODS 3111 D. Método de llama directa de Óxido Nitroso – Acetileno

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

2.4.6. Análisis Estadístico

Para la realización del análisis estadístico de las muestras, se realizará un análisis descriptivo donde se evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles del factor temporal (enero, febrero, marzo), el factor de ubicación (7 puntos) y el factor del nivel freático (superficial o subterráneo) en total 98 unidades experimentales con la finalidad de organizar y clasificar los datos obtenidos. Seguido de un análisis inferencial, por medio del cual se obtendrán inferencias para determinar entre los parámetros de estudio a través de ANOVA, finalizando con un análisis de correlación entre la conductividad versus los cationes, aniones y RAS, para el establecimiento de los limitantes

2.5. Preparación del Terreno

Con un tubo PVC de 1,5 m de largo y de 4 pulgadas de diámetro en donde se realiza cortes horizontales hasta una altura de 20 cm desde el inicio del tubo, y posterior de 25 cm alrededor del mismo. En los puntos ya establecidos se realiza perforación de 1,30 cm de profundidad y diámetro de 4 pulgadas que son medidas con un flexómetro y realizados con una hoyadora. Se inserta el

tubo en la perforación, dejando fuera la medida de 20 cm, se procede a compactar y tapar el orificio exterior, etiquetándolo bajo los siguientes datos: MAE – ESPOCH – FECHA DEL MUESTREO



Ilustración 1-2: Preparación del terreno

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

2.6. Recolección de Muestra

Para realizar la recolección de muestras se etiquetó botellas ámbar de 500 ml y de 1 L, las cuales fueron previamente lavadas y secadas para las salidas de campo en donde se almacena el agua. Se tomaron 14 de estas muestras, las cuales 7 cuentan con Ácido Nítrico (HNO_3) como conservante para el análisis de Metales, mientras que el resto está conservado únicamente por refrigeración, se preparó un Cooler que contiene hielo para mantener las muestras a 4 °C.

Al pasar un mes desde la colocación del tubo, se procedió a tomar las muestras de agua del nivel freático de los 4 puntos internos en el Parque Nacional Llanganates, mientras que los 3 restantes fueron tomados de los puntos del canal de riego, hidroeléctrica y Río Yanayacu. Antes de recolectar la muestra, se mide el nivel de agua recolectada en el tubo, con un recipiente cilíndrico (cuchareta) se insertó en el tubo y se desechó la primera toma de agua, posteriormente se colocó 250 ml de agua en cada frasco ámbar para su posterior sellado y traslado.



Ilustración 2-2: Toma de la muestra

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

2.7. Análisis de parámetros “in situ”

La lectura de los parámetros in situ fue tomada con ayuda de un multiparámetro portátil modelo HACH, al cual se calibró previo a la jornada de muestreo. Las sondas correspondientes a temperatura, pH, conductividad eléctrica, SALT y TDS son sumergidas en la muestra de la cuchareta previo a la toma de la muestra.



Ilustración 3-2: Análisis “in situ”

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

2.8. Almacenamiento y transporte

Los envases de muestreo fueron etiquetados y puestos dentro de un cooler que contenía geles refrigerantes con el propósito de mantener las condiciones propias de la muestra, buscando siempre que estén alrededor de los 5°C. Luego de las jornadas de muestreo las botellas se almacenaron en el refrigerador del Laboratorio de Investigación configurado a 4° C hasta que se realizan los análisis, en caso de las muestras que serían analizadas para aniones fueron hechas un día posterior a la recolección por otra parte las muestras para cationes pudieron aguantar alrededor de 15 días.

2.9. Tratamiento de la muestra

Las muestras reposan para luego someterse a un proceso de filtración por medio de una bomba de vacío previo a los análisis de Cationes y Aniones, debido a la interferencia que se da por presencia de sólidos suspendidos en los equipos que se basan en metodología colorimétrica.

2.10. Análisis de las muestras en laboratorio

Las muestras de agua provenientes del páramo herbazal húmedo del Parque Nacional Llanganates fueron analizadas en el Laboratorio de GIDAC - Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, Laboratorio de Química Analítica, Laboratorio de Análisis

Instrumental y Laboratorio de Investigación pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, bajo la dirección de técnicos docentes encargados de cada área.

2.10.1. Procedimientos de análisis de cationes y aniones

Tabla 3-2: Análisis de muestras

<i>Parámetros EX SITU</i>			
Parámetro	Tipo de análisis	Equipo	Descripción
Nitrato (NO ₃)	Anión	HANNA c200 Multiparameter Ion Specific Meter - Espectrofotómetro	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparación de la muestra <ul style="list-style-type: none"> • Partiendo de los frascos ámbar de 500 ml, se debe filtrar el agua recolectada en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. • Mediante la pipeta, se llena la cubeta con 6 ml de muestra, hasta la mitad de la altura, y se coloca la tapa. 2. Operación del Espectrofotómetro: <ul style="list-style-type: none"> • Se coloca la cubeta en el porta-cubetas y se asegura que la muesca de la tapa coincida perfectamente en la ranura. • Se pulsa ZERO y "SIP" parpadeará en el display. • Se espera unos pocos segundos y el display muestra "-0.0-". De allí, el medidor está en cero y se puede realizar la medición. 3. Reactivo <ul style="list-style-type: none"> • Se coloca el reactivo HI 93728-01 Hach NitraVer en 6 ml de la muestra. • Se coloca la tapa e inmediatamente se agita vigorosamente durante exactamente 10 segundos moviendo la cubeta arriba y abajo, de allí invirtiendo la cubeta suave y lentamente durante 50 segundos. 4. Medición <ul style="list-style-type: none"> • Se reinserta la cubeta en el instrumento, teniendo cuidado de no agitarla. • Se Pulsa TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición que son 4 minutos y 30 segundos y se pulsa READ DIRECT. • El instrumento muestra directamente la concentración en mg/l de nitrógeno en forma de nitrato en el Display en mg/L.
Fosfato (PO ₄ ⁻³)	Anión	HANNA c200 Multiparameter Ion Specific	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparación de la muestra

		Meter - Espectrofotómetro	<ul style="list-style-type: none"> Partiendo de los frascos ámbar de 500 ml, se debe filtrar el agua recolectada en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Enjuague, tape y agite la cubeta varias veces con muestra filtrada. Llene la cubeta con 10 ml de muestra hasta la marca y coloque <p>2. Operación del Espectrofotómetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se coloca la cubeta en el porta-cubetas y se asegura que la muesca de la tapa coincida perfectamente en la ranura. Se pulsa ZERO y "SIP" parpadeará en el display. Se espera unos pocos segundos y el display muestra "-0.0-". De allí, el medidor está en cero y se puede realizar la medición. <p>3. Reactivo</p> <ul style="list-style-type: none"> Se coloca el reactivo HI 93728-01 Hach SulfVer en 6 ml de la muestra. Se coloca la tapa e inmediatamente se agita vigorosamente durante exactamente 10 segundos moviendo la cubeta arriba y abajo, de allí invirtiendo la cubeta suave y lentamente durante 50 segundos. <p>4. Medición</p> <ul style="list-style-type: none"> Se reinserta la cubeta en el instrumento, teniendo cuidado de no agitarla. Se Pulsa TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición que son 4 minutos y 30 segundos y se pulsa READ DIRECT. <p>El instrumento muestra directamente la concentración en mg/l de fosfato e en el Display</p>
Sulfato (SO ²⁻⁴)	Anión	HANNA c200 Multiparameter Ion Specific Meter - Espectrofotómetro	<p>1. Preparación de la muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> Partiendo de los frascos ámbar de 500 ml, se debe filtrar el agua recolectada en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Enjuague, tape y agite la celda <p>2. Reactivo</p> <ul style="list-style-type: none"> Se coloca el reactivo Hach de Vario Sulfa 4F en los 10 ml de la muestra. Se agita por 1 min y se deja reposar por 5 min. <p>3. Operación del Espectrofotómetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se calibra el espectrofotómetro al 466 nm con agua destilada. <p>4. Análisis:</p>

			<ul style="list-style-type: none"> Se coloca los tubos de ensayo en el espectrofotómetro y se analiza la muestra.
Sodio (Na)	Catión	Bomba de Absorción Atómica de llama - Thermo Scientific iCE 3500	<p>1. Preparación de Estándares</p> <ul style="list-style-type: none"> Se selecciona 5 concentraciones de cada solución estándar del metal para precisar la concentración de metal esperada de una muestra. Los estándares se realizan acorde a los metales que se iban a realizar, mediante un balón de aforo de 100 ml, donde se coloca la concentración del estándar Na^+ por medio de una micropipeta en ml del estándar y el resto de solución madre. Para la concentración de estándares, se realizó un cálculo en base a la concentración por el volumen. <p>2. Medición</p> <ul style="list-style-type: none"> Se mide empezando con la concentración más baja del estándar. Se enjuaga el nebulizador aspirando agua que contenga 1,5 ml de concentrado HNO_3/L. Se aspira el blanco y pone a cero el instrumento, posterior de ello, se coloca la muestra y determina la absorbancia. Aspira el blanco y se pone a cero el instrumento. Se prepara las curvas de calibración por un trazado en gráfico linear de absorbancia estándar versus las concentraciones. <p>Nota: Fue necesario diluir ciertas muestras, a un nivel de 1:50</p>
Potasio (K)	Catión	Bomba de Absorción Atómica de llama - Thermo Scientific iCE 3500	<p>3. Preparación de Estándares</p> <ul style="list-style-type: none"> Se selecciona 5 concentraciones de cada solución estándar del metal para precisar la concentración de metal esperada de una muestra. Los estándares se realizan acorde a los metales que se iban a realizar, mediante un balón de aforo de 100 ml, donde se coloca la concentración del estándar K^+ por medio de una micropipeta en ml del estándar y el resto de solución madre. Para la concentración de estándares, se realizó un cálculo en base a la concentración por el volumen. <p>4. Medición</p> <ul style="list-style-type: none"> Se mide empezando con la concentración más baja del estándar.

			<ul style="list-style-type: none"> • Se enjuaga el nebulizador aspirando agua que contenga 1,5 ml de concentrado HNO₃/L. • Se aspira el blanco y pone a cero el instrumento, posterior de ello, se coloca la muestra y determina la absorbancia. • Aspira el blanco y se pone a cero el instrumento. • Se prepara las curvas de calibración por un trazado en gráfico linear de absorbancia estándar versus las concentraciones. <p>Nota: Fue necesario diluir ciertas muestras, a un nivel de 1:50</p>
Magnesio (Mg)	Catión	Bomba de Absorción Atómica de llama - Thermo Scientific ICE 3500	<p>5. Preparación de Estándares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se selecciona 5 concentraciones de cada solución estándar del metal para precisar la concentración de metal esperada de una muestra. • Los estándares se realizan acorde a los metales que se iban a realizar, mediante un balón de aforo de 100 ml, donde se coloca la concentración del estándar Mg⁺ por medio de una micropipeta en ml del estándar y el resto de solución madre. • Para la concentración de estándares, se realizó un cálculo en base a la concentración por el volumen. <p>6. Medición</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se mide empezando con la concentración más baja del estándar. • Se enjuaga el nebulizador aspirando agua que contenga 1,5 ml de concentrado HNO₃/L. • Se aspira el blanco y pone a cero el instrumento, posterior de ello, se coloca la muestra y determina la absorbancia. • Aspira el blanco y se pone a cero el instrumento. • Se prepara las curvas de calibración por un trazado en gráfico linear de absorbancia estándar versus las concentraciones. <p>Nota: Fue necesario diluir ciertas muestras, a un nivel de 1:50</p>
Calcio (Ca)	Catión	Bomba de Absorción Atómica de llama - Thermo Scientific ICE 3500	<p>1. Preparación de Estándares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se selecciona 5 concentraciones de cada solución estándar del metal para precisar la concentración de metal esperada de una muestra.

			<ul style="list-style-type: none"> • Los estándares se realizan acorde a los metales que se iban a realizar, mediante un balón de aforo de 100 ml, donde se coloca la concentración del estándar Ca^+ por medio de una micropipeta en ml del estándar y el resto de solución madre. • Para la concentración de estándares, se realizó un cálculo en base a la concentración por el volumen. <p>2. Medición</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se mide empezando con la concentración más baja del estándar. • Se enjuaga el nebulizador aspirando agua que contenga 1,5 ml de concentrado HNO_3/L. • Se aspira el blanco y pone a cero el instrumento, posterior de ello, se coloca la muestra y determina la absorbancia. • Aspira el blanco y se pone a cero el instrumento. • Se prepara las curvas de calibración por un trazado en gráfico linear de absorbancia estándar versus las concentraciones. <p>Nota: Fue necesario diluir ciertas muestras, a un nivel de 1:50</p>
Aluminio (Al)	Catión	Bomba de Absorción Atómica de llama - Thermo Scientific iCE 3500	<p>1. Preparación de Estándares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se selecciona 5 concentraciones de cada solución estándar del metal para precisar la concentración de metal esperada de una muestra. • Los estándares se realizan acorde a los metales que se iban a realizar, mediante un balón de aforo de 100 ml, donde se coloca la concentración del estándar Al^+ por medio de una micropipeta en ml del estándar y el resto de solución madre. • Para la concentración de estándares, se realizó un cálculo en base a la concentración por el volumen. <p>2. Medición</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se mide empezando con la concentración más baja del estándar. • Se enjuaga el nebulizador aspirando agua que contenga 1,5 ml de concentrado HNO_3/L. • Se aspira el blanco y pone a cero el instrumento, posterior de ello, se coloca la muestra y determina la absorbancia. • Aspira el blanco y se pone a cero el instrumento.

			<ul style="list-style-type: none"> • Se prepara las curvas de calibración por un trazado en gráfico linear de absorbancia estándar versus las concentraciones.
--	--	--	---

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.



Ilustración 4-2: Equipos de análisis

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.



Ilustración 5-2: Análisis de las muestras en laboratorio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Localización del Estudio

Se desarrolló en la provincia de Tungurahua en la parte nororiental del cantón Píllaro, parroquia de San José de Poaló así mismo dentro del Parque Nacional Llanganates – Sistema Lacustre Pisayambo, comprendida a una altitud de 3576 msnm, lo que determina su clima frío, con una temperatura media de 5° hasta 12° C.

3.2. Descripción de los puntos de muestreo

En la siguiente tabla se detalla la codificación de los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas realizadas:

Tabla 1-3: Codificación de los puntos de muestreo y sus coordenadas

Puntos	Coordenadas		Código	Ubicación
	X	Y		
Punto 1	-1,103882	-78,449126	NF	Laguna de Pisayambo
Punto 2	-1,089107	-78,477837	NF	Represa de CNEL, Junto al río
Punto 3	-1,079305	-78,456319	NF	Punto medio en L. Pisayambo
Punto 4	-1,057222	-78,398408	NF	Laguna de Tambococha
Punto 5	-1,109183	-78,371674	C	Canal de Riego
Punto 6	-1,102456	-78,377476	S	Río Yanayacu
Punto 7	-1,099827	-78,378607	S	Represa Hidroeléctrica CELEC

Nota: La terminología de los códigos corresponde a los siguientes términos: NF es nivel freático, C es canal de riego y S es superficial.

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

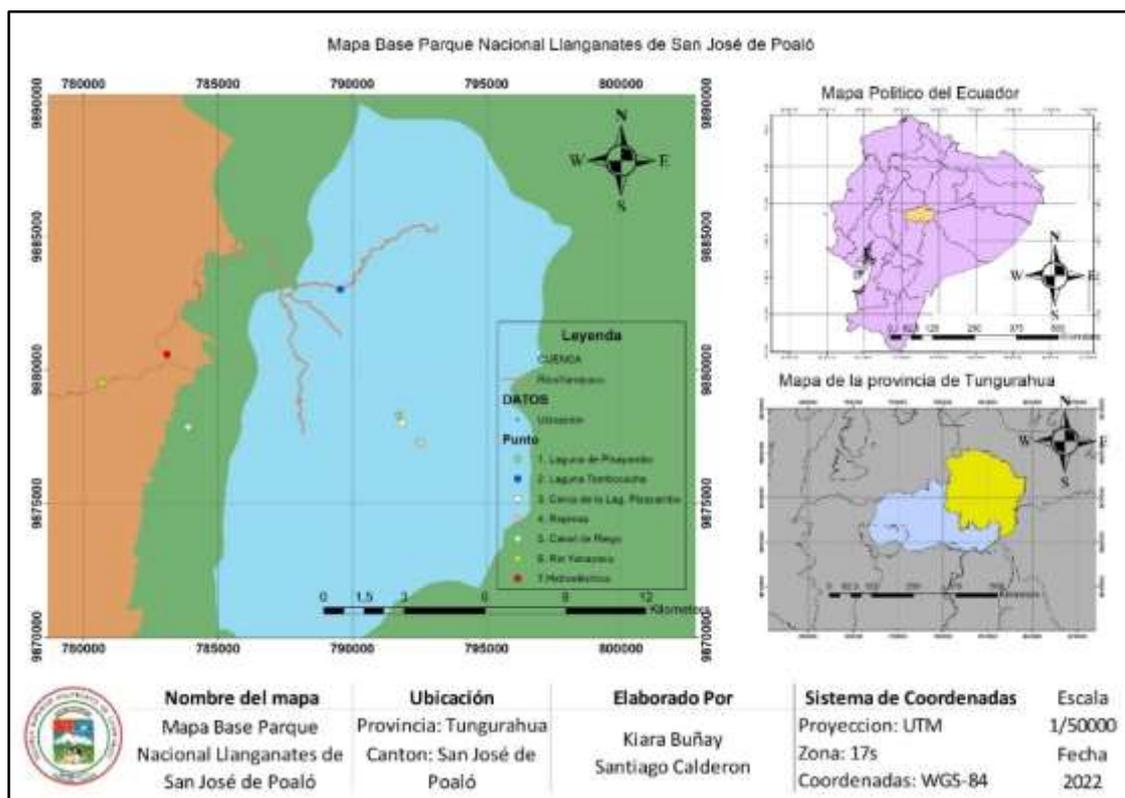


Ilustración 1-3. Mapa de ubicación de los puntos del área de estudio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

3.3. Análisis e interpretación de resultados

3.3.1. *Parámetros físicos In situ*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los parámetros físicos de cada una de las muestras de agua provenientes del área de estudio y sus fechas correspondientes

Tabla 2-3: Resultados del nivel freático

Parámetros físicos In situ					
Niveles freáticos					
Altura de agua en tubos (m)					
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo			Promedio Final
		Enero	Febrero	Marzo	
		16/1/2022	12/2/2022	10/3/2022	
punto 1	NF	1,10	1,27	1,37	1,25
punto 2	NF	0,92	0,80	0,90	0,87
punto 3	NF	1,3	0,98	1,10	1,13

punto 4	NF	0,86	0,88	0,97	0,90
---------	----	------	------	------	------

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 2–3 se detallan los resultados de los parámetros físicos in situ de los niveles freáticos de los puntos establecidos: 1,2,3 y 4 dentro del Parque Nacional Llanganates. Observándose a lo largo de los tres meses muestreados, se establece que en el mes de enero los puntos 1 y 3 son los puntos con mayor volumen de recepción de agua dentro de los tubos, debido a que fueron los que se encontraban cerca de cuerpos de agua con caudales correntosos. Por otra parte, el punto 2 y punto 4, encontrados en zonas con coberturas vegetales tales como Herbazal Pantanosa hacen que sus niveles freáticos sean bajos, según los autores (Tarbuck, y otros, 2005 pág. 481) mencionan que, dado que los lagos y corrientes de agua ocupan generalmente áreas lo bastante bajas en sus niveles freáticas hacen que estas estén por encima de la superficie del terreno, siendo el caso contemplado. Para los meses de febrero y marzo, cambia ligeramente los niveles teniendo repunte en el punto 1 y bajas en los puntos restantes, debido principalmente a la característica de los niveles freáticos que se configura según la estación de año, dado que la adición de agua a un sistema de aguas subterráneas se relaciona directamente con la cantidad, la distribución y la frecuencia de las precipitaciones, indicado por los autores (Tarbuck et al., 2005, p. 482).

Tabla 3-3: Resultados de temperatura

Parámetros físicos In situ					
Temperatura					
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo			Promedio Final
		Enero	Febrero	Marzo	
		16/1/2022	12/2/2022	10/3/2022	
punto 1	NF	12,2	10,8	10,9	11,30
punto 2	NF	10,4	10,9	11,4	10,90
punto 3	NF	12,4	11,8	11,3	11,83
punto 4	NF	12,5	12,8	11,5	12,27
punto 5	C	15,3	13,6	11,7	13,87
punto 6	S	15,7	14,8	12,8	14,77
punto 7	S	15,1	14,5	12,8	14,47

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 3-3, los valores de temperatura no pueden ser evaluadas en su totalidad con normas nacionales e internacionales puesto que no existe un límite máximo permisible de dicho parámetro en su efecto dentro de aguas de riego, sin embargo, se toma en cuenta lo expuesto en normativas

como ECA y FAO, presentando a todos los puntos como óptimos, dado que se centran en una significativa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. En los meses muestreados se indica un leve cambio entorno a los resultados obtenidos, dando como pautas que los puntos que se encuentra en niveles freáticos contienen temperaturas más bajas a diferencia de los puntos que se encuentran en niveles superficiales, los autores (Using heat to characterize streambed water flux variability in four stream reaches, 2006 págs. 1010-1012) indican que debido a que existe una proximidad a los cauces de las lagunas ocasiona una característica cualitativa en la direccionalidad e intensidad del flujo a través del lecho del cuerpo hídrico. A lo largo del periodo muestreado, se observa que la temperatura varía anualmente en efecto de la meteorología y clima, por ello en los meses de febrero y marzo, su resultado disminuyo, en consecuencia, a la variación de precipitaciones en las áreas de muestreo.

Tabla 4-3: Resultados de pH

Parámetros físicos In situ					
pH					
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo			Promedio Final
		Enero	Febrero	Marzo	
		16/1/2022	12/2/2022	10/3/2022	
punto 1	NF	5,46	5,65	5,51	5,54
punto 2	NF	5,47	5,52	5,66	5,55
punto 3	NF	5,40	5,52	5,50	5,47
punto 4	NF	5,15	5,32	5,27	5,25
punto 5	C	7,8	6,44	6,31	6,85
punto 6	S	8,07	6,49	6,45	7,00
punto 7	S	7,74	6,40	6,38	6,84

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 4-3 se detallan los resultados de pH obtenidos durante los 3 meses de estudio; observándose que el valor del pH en a niveles freáticos pertenecientes a los puntos: 1,2,3 y 4, varían en rangos de 5,15 a 5,66 presentándose menores a los de niveles superficiales que van desde rangos de 7,74 a 8,07. Dentro de las normativas FAO, ECA y TULSMA, el rango permisible del parámetro se asemeja entre sí, dando como pauta que el rango debe ser de 6,5 a 8,5; constatando que los puntos que se encuentran fueran del Parque Nacional Llanganates entran en rangos normales. Por otra parte, aquellos puntos que están a niveles freáticos y permanecen dentro del Parque están fuera del rango normal, siendo mayormente ácidos lo cual se debe a que un gran número de aguas naturales, entre ellas lagos y lagunas, tienen valores de pH que oscilan

entre 6-8, ya que los cuerpos hídricos eutrofizados ostentan valores bajos de pH por la presencia excesiva de materia orgánica, citado por los autores (Flores, y otros, 2018 pág. 41). Así mismo, el autor (Martinez, y otros, 2017 pág. 7) establece que la acidez del agua en estas zonas se da por la poca presencia de los cationes principalmente de elementos como: calcio, magnesio, sodio y potasio, en cambio para los puntos registrados a lo largo del Río Yanayacu se tornan ligeramente alcalinas, teniendo presencia de aniones sulfatos, carbonatos y bicarbonatos.

A las comparaciones de los valores de pH entre los meses de enero, febrero y marzo, se observa un leve incremento, debiéndose al aumento de precipitaciones. Los autores (Zamora et al, 2014, p. 26) menciona que el agua de lluvia presenta una leve mineralización debido a que los gases que se encuentran en la atmosfera reaccionan con esta y por ende adquiere una ligera capacidad de acidificar el medio con el que entra en contacto, generando así ligeras acidificaciones en el pH del agua subterránea una vez que esta se percola en el suelo.

Tabla 5-3: Resultados de Conductividad Eléctrica

Parámetros Físicos In situ					
Conductividad Eléctrica					
µm/cm					
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo			Promedio Final
		Enero	Febrero	Marzo	
		16/1/2022	12/2/2022	10/3/2022	
punto 1	NF	193	219	127	179,7
punto 2	NF	218	172	115	168,3
punto 3	NF	220	183	212	205,0
punto 4	NF	90	62	61	71,0
punto 5	C	233	192	158	194,3
punto 6	S	76	87	73	78,7
punto 7	S	68	65	31	54,7
Conductividad Eléctrica					
Milimhos/cm - dS/m (Decisiemens por metro)					
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo			Promedio Final
		Enero	Febrero	Marzo	
		16/1/2022	12/2/2022	10/3/2022	
punto 1	NF	0,2	0,2	0,1	0,2
punto 2	NF	0,2	0,2	0,1	0,2
punto 3	NF	0,2	0,2	0,2	0,2

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

punto 4	NF	0,1	0,1	0,1	0,1
punto 5	C	0,2	0,2	0,2	0,2
punto 6	S	0,1	0,1	0,1	0,1
punto 7	S	0,1	0,1	0,0	0,1

En la tabla 5-3, se muestran los valores obtenidos in situ de los 3 meses de muestreo, observando que presentan variaciones. Las unidades de conductividad de las normativas expuestas como FAO, ECA y TULSMA, varían entre sí, lo que conlleva a una diferenciación entre los límites permisibles expuestos, a excepción de las normativas FAO y TULSMA, donde sus unidades de conductividad son similares. Los puntos resaltantes son el 1,2,3 y 5 que tienen mayor conductividad, tanto para FAO como para TULSMA entran en restricción de uso ligero, mientras que para la normativa ECA, su nivel está sin restricción de uso debido a que el límite permisible es de mayor proporcionalidad; estos resultados tienen tendencias similares entorno a la concentración de conductividad debido a que en estos puntos se presenta mayor cantidad de sales minerales, por otro lado, en los puntos: 4, 6 y 7, con valores más bajos, registran una restricción de uso moderada. El autor (Pérez-López, 2016, pp. 8-9) muestra que estos bajos niveles se deben a que en estas zonas se puede decir que la presencia de las materias coloidales influye para una conductividad baja.

En términos de meses muestreados, se puede identificar una representación en donde la época lluviosa influye a la filtración de sales minerales y de esta manera aumenta la conductividad eléctrica, por ello se observa una tendencia en la disminución de la conductividad en comparación al mes de enero con respecto a marzo.

Tabla 6-3: Resultados de Oxígeno Disuelto

Parámetros físicos In situ					
Oxígeno Disuelto					
mg/L					
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo			Promedio Final
		Enero	Febrero	Marzo	
		16/1/2022	12/2/2022	10/3/2022	
punto 1	NF	2,1	0,6	1,35	1,35
punto 2	NF	3	0,6	0,5	1,37
punto 3	NF	2,1	0,9	1,4	1,47
punto 4	NF	2,5	1,5	2,0	2,00
punto 5	C	6,1	6,0	6,2	6,20

punto 6	S	6,7	3,7	5,2	5,20
punto 7	S	6,9	4,6	5,75	5,75

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 6-3 se detallan los resultados obtenidos durante los muestreos realizados en 3 meses de estudio; observándose que en los puntos pertenecientes a los niveles freáticos y que están dentro del Parque Nacional Llanganates los cuales son: punto 1,2,3 y 4, son los de menor cantidad de oxígeno disuelto en contra parte de los puntos a superficie y el punto del canal de riego. En las normativas expuestas como ECA y TULSMA, el límite permisible de oxígeno disuelto es similar siendo un valor mínimo de ≥ 4 , mg/L lo cual incumplen los puntos a niveles freáticos, esto es debido a que un agua que se encuentran en constante movimiento tendrá mayor absorción al oxígeno proveniente de la atmosfera, en contraparte los puntos en aguas subterráneas retienen y absorben menos oxígeno.

A nivel de meses, la disminución del oxígeno disuelto se ve presente en el mes de febrero, esto debido a que en este mes las precipitaciones se ven con mayor variabilidad en comparación con los otros meses muestreados, este resultado mostró que las precipitaciones pluviales afectaron de manera negativa las concentraciones de oxígeno disuelto principalmente dentro del Parque Nacional ya que menciona (Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México, 2015 pág. 71) que los escurrimientos de las lluvias aumentan la turbiedad y disminuyen el OD debido a los sedimentos y materia orgánica que transportan.

3.3.2. *Resultados de aniones y cationes*

Tabla 7-3: Resultados de aniones y cationes con suma total

PUNTO	UBICACIÓN	FECHAS DE MUESTREO	Aniones (meq/L)			Cationes (meq/L)				
			NO ₃	PO ₄	SO ₄	NA	K	CA	MG	AL
1	NF	Enero	0,00	0,01	0,04	0,59	0,14	0,72	1,35	0,14
2	NF	Enero	0,06	0,03	0,00	0,44	0,18	1,03	1,50	0,23
3	NF	Enero	0,15	0,04	0,00	0,55	0,02	1,16	1,55	0,23
4	NF	Enero	0,00	0,00	0,00	0,20	0,08	0,36	0,10	0,21
5	C	Enero	0,00	0,02	0,11	0,37	0,15	1,29	1,05	0,04
6	S	Enero	0,00	0,02	0,03	0,30	0,05	0,35	0,30	0,04
7	S	Enero	0,00	0,01	0,00	0,25	0,05	0,47	0,47	0,06
1	NF	Febrero	0,00	0,09	0,00	0,69	0,03	0,18	1,15	0,00
2	NF	Febrero	0,00	0,01	0,01	0,25	0,08	0,04	0,69	0,06
3	NF	Febrero	0,00	0,01	0,00	0,36	0,07	0,13	1,05	0,14
4	NF	Febrero	0,00	0,01	0,02	0,08	0,04	-0,02	0,09	0,26
5	C	Febrero	0,00	0,01	0,01	0,19	0,03	0,68	0,87	0,00
6	S	Febrero	0,00	0,02	0,01	0,55	0,03	0,04	0,77	0,00
7	S	Febrero	0,00	0,01	0,01	0,16	0,02	0,02	0,30	0,00
1	NF	Marzo	0,02	0,02	0,02	0,51	0,06	0,02	0,70	0,04
2	NF	Marzo	0,03	0,01	0,02	0,24	0,05	0,02	0,53	0,00

3	NF	Marzo	0,03	0,01	0,00	0,41	0,08	0,06	1,13	0,00
4	NF	Marzo	0,03	0,00	0,00	0,09	0,04	0,04	0,07	0,00
5	C	Marzo	0,00	0,03	0,12	0,20	0,04	0,61	0,76	0,00
6	S	Marzo	0,00	0,00	0,01	0,19	0,02	0,01	0,37	0,00
7	S	Marzo	0,01	0,00	0,00	0,18	0,02	0,02	0,28	0,00
Suma Total de Aniones y Cationes			1,12			31,8				

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 7-3 se presentan los resultados obtenidos de la suma total de aniones y cationes proporcionados en los 3 meses de estudio. Los aniones tomados para el análisis son: nitratos, sulfatos y fosfatos, parte del grupo que se asocia a los parámetros de salinidad del agua, mientras que los cationes correspondientes son: sodio, potasio, calcio, magnesio y aluminio, asociados a los índices de relación de adsorción de sodio. Se realizó la relación entre aniones y cationes en meq/L, en donde la suma total debe ser aproximadamente igual para mantener la electroneutralidad del sistema (Simes, 2012, p. 64). Por tanto, los resultados expuestos a niveles de meses como de ubicaciones no se encuentran eléctricamente neutros, debido principalmente a la interferencia de cationes o aniones sin determinar, los cuales pueden presentarse en grandes cantidades afectando el resultado final.

La proporción de cationes se expone en orden de la abundancia encontrada los cuales fueron: $Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+} > Ca^{2+} > Al^{3+}$ con promedios de 60, 22, 9, 6 y 3% respectivamente del total. Mientras que los aniones en orden de abundancia fueron $SO_4 > NO_3 > PO_4$ contribuyendo en promedio al 75, 15, y 10 % respectivamente del total, en donde se observa de manera general que, en el mes de enero, los niveles para cationes presentan mayor relevancia en el ion magnesio y ion potasio que sobrepasa el límite permisible impuestos por la FAO, mientras que el resto de los cationes que son sodio, calcio y aluminio entran en la categoría de sin restricciones. En cuanto a los aniones se presenta que el de mayor proporción es el nitrato, estableciéndose en una restricción de uso ligero, seguido del ion fosfato que se encuentra fuera del límite establecido mientras que el ion sulfato no sobrepasa los límites permitidos. En los meses posteriores, todos los cationes entran en los límites permisibles a excepción del ion potasio, dado que en la normativa FAO el límite permisible es hasta 2 mg/L, mientras que los aniones como el nitrato y sulfato se encuentra sin restricción de uso, contrario al ion fosfatos que esta fuera del rango establecido, la conducta de los cationes se mantiene igual en cambio para los aniones, el ion sulfato está dentro de los límites mientras que el nitrato y fosfato se encuentran con un uso de restricción ligera.

Los puntos que se encuentran en niveles freáticos son los de mayor proporción de cationes y aniones en contraste a los niveles superficiales, con respecto al autor (Ortíz, 2006. pp. 138-139) no existe un escurrimiento adecuado para el agua subterránea, así mismo la evapotranspiración intensiva del agua cíclica presenta acumulación de sales fácilmente solubles depositadas en el agua subterránea y el suelo, junto con sales introducidas generalmente por los fertilizantes.

3.3.3. Resultados de índice RAS e índices Salinidad

Para el cálculo del índice RAS, se toma en cuenta a los cationes de sodio, calcio y magnesio, siendo la siguiente:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$$

Donde:

- Na⁺: Concentración de sodio en el agua (mg/L)
- Ca²⁺: Concentración de calcio en el agua (mg/L)
- Mg²⁺: = Concentración de magnesio en el agua (mg/L)

Tabla 8-3: Resultado del Índice RAS y salinidad

PUNTO	ÁREA	FECHAS DE MUESTREO	NA (mg/L)	CA (mg/L)	MG (mg/L)	RAS (mg/L)	RAS (meq/L)
1	NF	Enero	13,6	14,5	16,5	3,5	0,6
2	NF	Enero	10,0	20,7	18,2	2,3	0,4
3	NF	Enero	12,8	23,3	18,8	2,8	0,5
4	NF	Enero	4,5	7,3	1,2	2,2	0,4
Total del RAS						2,7	0,5
5	C	Enero	8,5	25,8	12,8	1,9	0,3
6	S	Enero	7,0	7,0	3,7	3,0	0,5
7	S	Enero	5,7	9,3	5,7	2,1	0,4
Total del RAS						2,3	0,4
1	NF	Febrero	15,9	3,6	14,0	5,4	0,8
2	NF	Febrero	5,8	0,8	8,4	2,7	0,4
3	NF	Febrero	8,2	2,5	12,7	3,0	0,5
4	NF	Febrero	1,9	-0,5	1,1	3,4	0,5
Total del RAS						3,6	0,5
5	C	Febrero	4,4	13,7	10,6	1,3	0,2
6	S	Febrero	12,6	0,7	9,4	5,6	0,9
7	S	Febrero	3,6	0,4	3,6	2,6	0,4
Total del RAS						3,3	0,5
1	NF	Marzo	11,7	0,4	8,5	5,6	0,8
2	NF	Marzo	5,4	0,5	6,4	2,9	0,4
3	NF	Marzo	9,3	1,3	13,7	3,4	0,5
4	NF	Marzo	2,0	0,8	0,8	2,2	0,4
Total del RAS						3,5	0,5
5	C	Marzo	4,6	12,2	9,2	1,4	0,2
6	S	Marzo	4,4	0,3	4,4	2,9	0,4

7	S	Marzo	4,2	0,3	3,5	3,1	0,5
Total del RAS						2,7	0,4

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Tabla 9-3: Comparación de la normativa con el índice RAS

		Promedio realizado por estaciones				Restricción de Uso por TULSMA				Restricción de Uso por FAO			
Puntos	Ubicación	RAS (mg/L)	CE (µm/cm)	CE (Milimhos/cm)	RAS (meq/L)	Apta	Apta con precauciones	Apta con Precauciones II	No Apta	Apta	Apta con precauciones	Apta con Precauciones II	No Apta
1	Laguna de Pisayambo	4,8	179,67	0,2	1				x		x		
2	Represa de CNEL	2,6	168,33	0,2	0,4			X			x		
3	Punto medio - L. Pisayambo	3,0	205,00	0,2	0,5			X			x		
4	Laguna de Tambococha	2,6	71,00	0,1	0,4				x		x		
5	Canal de Riego	1,5	194,33	0,2	0,3			X		x			
6	Rio Yanayacu	3,8	78,67	0,1	1				x		x		
7	Represa Hidroeléctrica	2,6	54,67	0,1	0,4				x		x		
NORMATIVA													
Restricciones de Uso	TULSMA						FAO						
	NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA						AYERS Y WESTCOT (1985)						
	RAS	CE	Grado de Restricción	RAS	CE	Grado de Restricción	Grados de Restricción de Uso		Grados de Restricción de Uso				
	0 hasta 3	0,7	Ninguno	3 hasta 6	1,2	Ninguno	RAS (Superficie) (meq/L)	Grado de Restricción	RAS de Infiltración (meq/L)	Ninguna	Ligera o modera	Severa	
		0,7	Ligero		1,2	Ligero	<3,0	Ninguno					CE (dS/m)
		0,2	Moderado		0,3	Moderado	3,0 - 9,0	Leve	0 - 3	>0,7	0,7 - 0,2	<0,2	
		<0,2	Severo		<0,3	Severo	> 9,0	Moderado	3 - 6	>1,2	1,2 - 0,3	<0,3	
	6 hasta 12	1,9	Ninguno	12 hasta 20	2,9	Ninguno	> 9,0	Severo	6 - 12	>1,9	1,9 - 0,5	<0,5	
		1,9	Ligero		2,9	Ligero	RAS (Aspersión) (meq/L)	Grado de Restricción	12 - 20	>2,9	2,9 - 1,3	<1,3	
		0,5	Moderado		1,3	Moderado	< 3	Ninguno	20 - 40	>5,0	5,0 - 2,9	<2,9	
<0,5		Severo	<1,3		Severo	> 3	Leve						

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 8-3 se evaluaron los niveles de salinidad mediante la relación de adsorción de sodio (RAS) y se consideraron los criterios para la interpretación de la calidad del agua para su uso agrícola de la FAO presentados por los autores Ayers y Westcot (1985) así como también los impuestos por la normativa ecuatoriana TULSMA. En las aguas analizadas por sodio, el cual es la base para el índice de salinidad, se presenta una concentración mayor al límite permisible que es de 0 a 2.0 me.L-1 lo que las ubica en un rango de restricciones con límites para su uso en la agricultura.

En la tabla 9-3 se presenta las comparaciones de los resultados obtenidos del índice RAS con la normativa internacional y nacional, en ellos los resultados son los siguientes:

- Para la normativa TULSMA, los puntos 1,4,6 y 7 no son aptas para uso de riego, debido a que se encuentran con conductividades bajas que varían desde el 0,2 al 0,1 milihoms mientras que el RAS se encuentra con un rango de 3 a 6, siendo un término medio, lo que lleva a que su restricción sea severa. Por otra parte, los puntos 2,3 y 5, corresponden a un uso apto con precauciones de segunda clase, dado que se encuentran con conductividades altas tanto en microsiems como en milihoms que se sitúan en 0,2, y con índices RAS de rango moderado que van desde el 1 al 3.
- Para la normativa FAO, los puntos 1,2,3,4,6 y 7, todos pertenecientes a niveles freáticos como superficiales, presentan un uso de riego apto con precauciones de rango ligero, dado que estos tienen una variación baja del índice RAS, e igualmente su nivel de conductividad es de medio a bajo. El punto 5, que se encuentra en el canal de riego, es apta para su uso en agricultura sin rango de restricción.

3.3.3.1. Normas de Riverside

Tabla 10-3: Resultado de Normas Riverside

Puntos de muestreo	Ubicación	Normas Riverside			
		Valores ($\mu\text{m}/\text{cm}$)	Conductividad	Valores (RAS)	Salinidad
punto 1	NF	179,7	C1	4,8	S1
punto 2	NF	168,3	C1	2,6	S1
punto 3	NF	205,0	C2	3,0	S1
punto 4	NF	71,0	C1	2,6	S1
punto 5	C	194,3	C1	1,5	S1
punto 6	S	78,7	C1	3,8	S1

punto 7	S	54,7	C1	2,6	S1
---------	---	------	----	-----	----

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

3.3.3.2. Diagrama de Richard

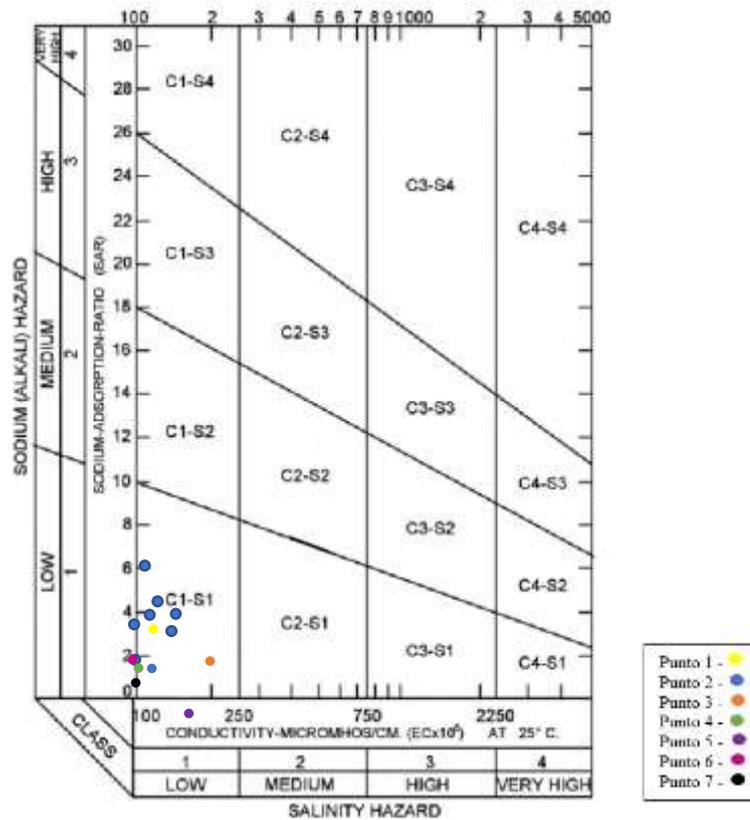


Ilustración 2-3: Resultados de RAS en Diagrama de Richards

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 10-3 se indica la distribución espacial de la salinidad con base en la conductividad eléctrica y la clasificación de acuerdo con los límites propuestos por el autor Richards (1962) en conjunto con las normas de Riverside, para analizar la aptitud del agua para riego, se ha agrupado las muestras en los tipos: C1-S1: los puntos N°: 1,2,4,5,6 y 7, mostrando conductas de agua de baja salinidad y de bajo contenido de sodio presentado un uso posible para el riego de la mayor parte de los cultivos en cualquier tipo de suelo, con poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. El C2-S1: el punto N°:3 que son aguas de salinidad media y contenido bajo de sodio, mostrándose aptas para riego, sin embargo, se hacen presente en cultivos tolerantes a la salinidad, desarrollado por los autores (Correlación entre cationes y aniones presentes en aguas de perforación del departamento de Saladas-Corrientes, 2020 pág. 102).

3.3.4. Análisis estadístico

3.3.4.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva permite obtener la media aritmética y la desviación estándar de las variables mencionadas para cada sitio y momento de muestreo, así como también de los puntos con límites máximos superiores. Se elaboraron en conjunto con diagramas de caja y se realizaron las siguientes comparaciones: Punto de muestreo, área del muestreo, meses de muestreo.

- Aniones

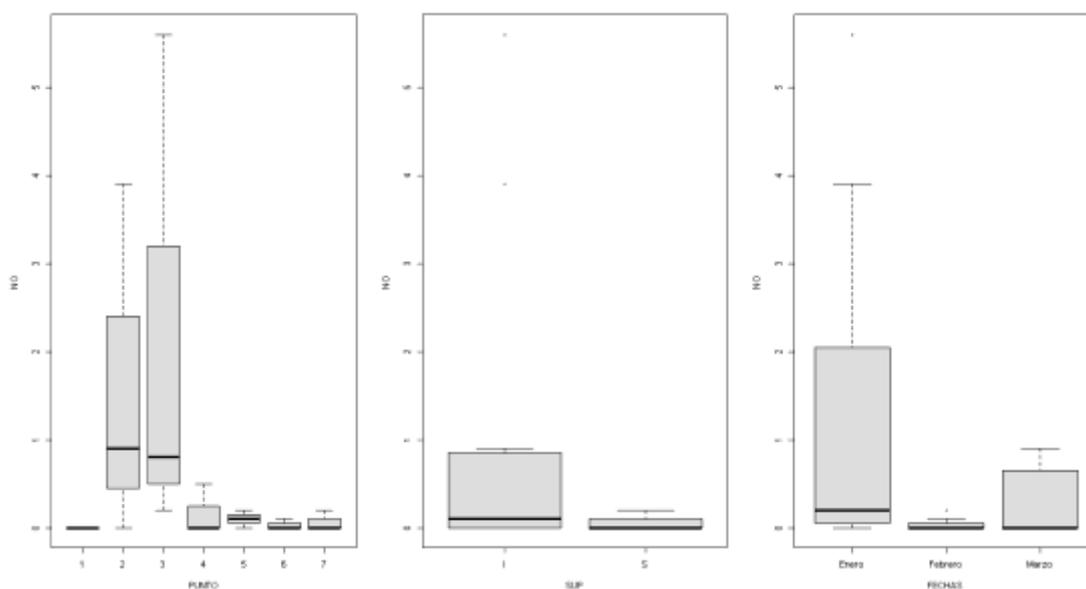


Ilustración 3-3: Análisis de Nitratos

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Como se logra visualizar en la figura 3-3 (a) no existe diferencia significativa en la dispersión de valores, sin embargo en el punto 2 y 3 que son puntos cercanos a la laguna de Pisayambo hay mayor concentración con un promedio de 1,6 mg/L y 2,2 mg/L respectivamente, con respecto a ello, el autor (Bolaños Alfaro, y otros, 2017 pág. 19) expone que este compuesto forma parte del ciclo natural del nitrógeno por ello las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes. Aunque los nitratos son añadidos por medio de fertilizantes que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten, en cambio en los puntos siguientes como 5, 6 y 7 que son puntos cercanos al río Yanayacu no se presentan mayores concentraciones de nitrato con promedios de

0,1; 0,033 y 0,066 en este caso no se observó actividades agrícolas que puedan aumentar la concentración de este compuesto, debido a que son aguas en constante movimiento.

En la Ilustración 3-3 (b) en las zonas a niveles freáticos es la que contiene mayor concentración de nitratos con una mediana de 0,05, debido a que en el agua subterránea los nitratos producto de la fertilización o de la inadecuada disposición de las aguas residuales domésticas constituye a un aumento de este compuesto. Por otro lado, en las aguas superficiales la mediana presenta un valor de 0,03, a causa de que los puntos ubicados cerca de los ríos se mantienen en constante movimiento razón por la cual no se da una acumulación de este compuesto, por último, en el gráfico de fechas se tiene un mayor promedio en enero con 1,43 mg/L, debido a que los procesos de filtración llegan hacia el lecho profundo donde se ubica el agua subterránea.

Por ello, en la observación de los puntos en 2 y 3 que son puntos a niveles freáticos, presentan a nivel de gráfica una mayor concentración de nitratos, contando con una media de 1,9 mg/L, entrando según el rango del Anexo 1 del TULSMA, en uso sin restricciones, esto considerando que los puntos mencionados son en la laguna de Pisayambo, y de acuerdo a los autores (Bolaños Alfaro, y otros, 2017 págs. 25-26), el cual determina la presencia de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua, como indicadores de contaminación, donde según los resultados las concentraciones del ion nitrato elevadas propician el hecho de hablar de una contaminación de origen humano en estas zonas, lo cual se evidencia con la sobrepoblación cerca de las nacientes, y por ello se considera tal situación puntual como un factor de vulnerabilidad para la comunidad debido a la filtración de nitratos al agua subterránea, que se complica con la presencia de actividades, principalmente el cultivo. También los autores (Sigler, y otros, 2012 pág. 2) menciona que el nitrato y nitrito son compuestos solubles que contienen nitrógeno y oxígeno y en el ambiente nitrito (NO_2^-) generalmente se convierte a nitrato (NO_3^-), lo que significa que nitrito ocurre raramente en aguas subterráneas.

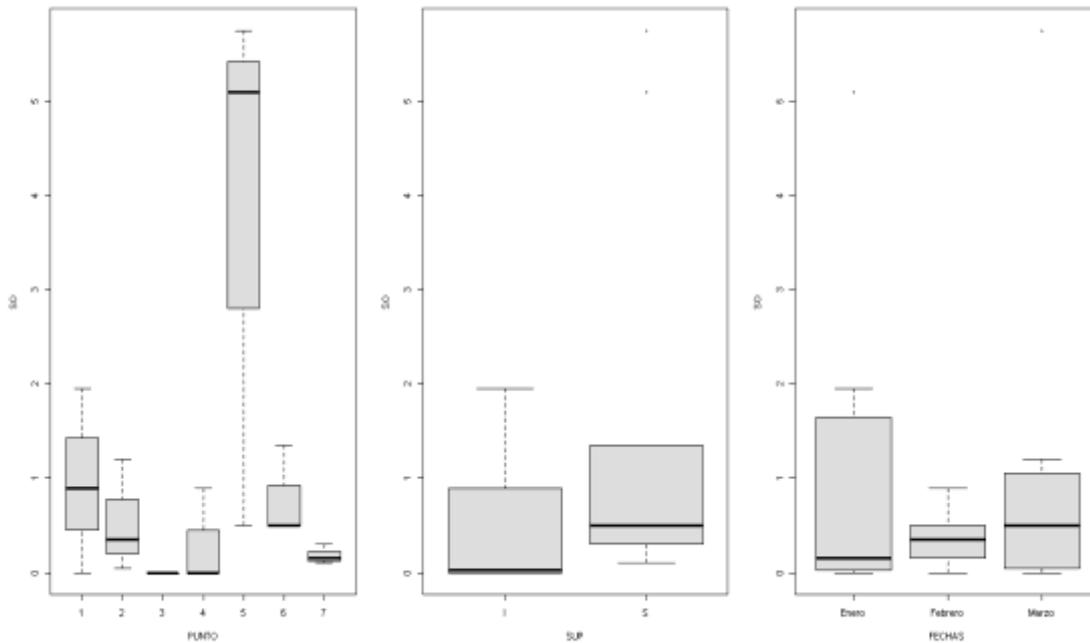


Ilustración 4-3: Análisis de Sulfatos

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Respecto a la Ilustración 4-3 (a), sobre el contenido de anión de sulfato, existe una zona en específico con mayor dispersión de concentración, siendo localizada en el punto 5 perteneciente al canal de riego, la cual está por encima de los puntos restantes. Esto puede ser referente a que, dentro de aguas naturales, las concentraciones de sulfatos altas pueden constituirse debido a la descomposición del material orgánico, así como también a derivados de las actividades agrícolas tradicionales. En el caso específico del punto 5, es atribuible a la influencia de los materiales por los que circula el agua, que son concreto y yeso. Siguiéndole en nivel de concentración el punto 1, 2, 4 y 6 tienen una tendencia a una media de dispersión, esto podría deberse al incremento en el contenido salino o también a la reutilización de aguas de riego, con sales añadidas por las actividades agrícolas en niveles superiores. En contra parte, el punto 7 y 3, que cuentan con ubicaciones diferentes entre ambas, describen un bajo nivel de dispersión pudiendo ser debido a que los lugares con mayor presencia de caudales presentan niveles de sulfato menores a aquellos que consideramos como aguas subterráneas.

Centrándonos en la Ilustración 4-3 (b), con respecto a los niveles freáticos, la tendencia de dispersión difiere con respecto al límite máximo de la gráfica, ya que es de mayor alcance mientras que para los niveles superficiales se mantiene en una dispersión media, esto puede centrarse en que las aguas a niveles superficiales se encuentran en contacto con lechos rocosos de ríos así como también se pueden correlacionar con las emisiones de dióxido de azufre ocasionadas por la actividad humana, por otro parte los niveles freáticos, que se presentan como agua subterránea, se dan frecuentemente por la disolución de yeso y anhidrita, así como también de

otros tipos de sulfatos dispersos en el terreno, los mismos que suelen estar relacionados a fertilizantes ocupados en las zonas altas del parque logrando representar con frecuencia el aporte cuantitativamente con un indicador más presente de sulfatos a las aguas subterráneas.

La Ilustración 4-3 (c), implica los niveles de concentración de sulfato en base a los meses muestreados, donde se implica que el mes de enero obtuvo un nivel de dispersión de concentración superior a los otros dos meses, esto principalmente a que en ese mes se presentaron fluctuaciones altas de precipitaciones debido que presentan características estacionales de invierno, además de que se enfatiza el tipo de clima que se correlaciona con el área de estudio, ya que por pertenecer a la zona interandina ecuatorial: mesotérmico húmedo, se presentan zonas de húmeda lluviosa. Según la autora, (Simbaña, 2011 pág. 44), expresa que existen valores frecuentes de la composición química del agua de lluvia, teniendo en cuenta que en la concentración de sulfatos es de 0-10 mg/L, se puede relacionar al aumento de este en el mes mencionado.

En base a los límites máximos permisibles dentro del Anexo 1 del TULSMA del libro VI, menciona que las concentraciones de sulfatos para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren solo de desinfección (suposición ya que no hay para riego) es de 200 mg/L, teniendo en comparación que el punto 5 que cuenta con una media de 3.78 mg/L (ojo en la unidad) estaría en rangos óptimos. En cuanto a los límites establecidos por la FAO (1987), expone que el nivel de concentración es 0 – 960,6 mg/l, así como también en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA), que establece un rango de limite de 1000 mg/L, en ambas el punto 5 se encuentran dentro del rango. En cuanto a los puntos faltantes, 1,2,3,4,6 y 7 al contar con una media menor al punto más alto, entran igualmente a los rangos óptimos.

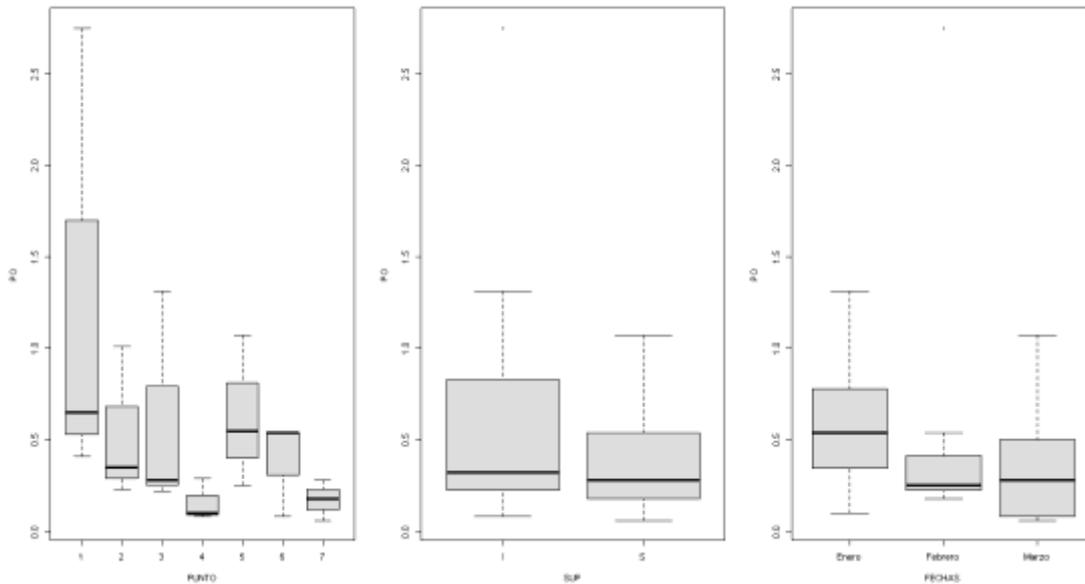


Ilustración 5-3: Análisis de Fosfatos

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

El Ilustración 5-3 (a) indica mayor nivel de dispersión de concentración en el punto 1, con un promedio total de 1,27 mg/L, en tanto los puntos 2,3 y 5 comparten una tendencia media similar, teniendo valores de 0,53; 0,60; 0,62. Según los autores Sharpley and Withers (1994) indican que las concentraciones críticas de fósforo disuelto deben de entrar en un límite de fosfato es de 0.05 mg/l, y si existe un aumento puede deberse a un crecimiento e igualmente a este respecto, Ayers y Westcot (1987) indican que el agua de riego con calidad aceptable cuenta con menos de 2 mg L⁻¹ de fosfato (0.652 mg L⁻¹ de P). (Pérez-Díaz, y otros, 2019 pág. 179). En cuanto a parámetros nacionales, el TULSMA no existe un parámetro referente a los fosfatos en determinación de aguas de riego, lo más cercano a este punto es el parámetro de fosforo total para cuerpos de agua dulce, los cuales se rigen en un límite permitido de 10 mg/L.

En el caso tanto de la Ilustración 5-3 (b) como de la Ilustración 5-3 (c), podemos ver un aumento en la dispersión de concentración en los puntos a niveles freáticos así como en los meses de enero y marzo, esto se puede comparar con las investigaciones realizadas por (Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas, 2016 pág. 33), donde plantea el comportamiento de las concentraciones de este analito varia en distintas fuentes, presentándose en aguas subterráneas con valores más altos en el invierno y primavera, con ello se fortalece la idea detonada en los resultados en donde los puntos 1,2,3 y 4 que se encuentran a niveles subterráneos presentan niveles altos de fosfatos debido a materiales erosionados o posibles pérdidas directas de fertilizantes cuando existe una precipitación tras la aplicación de este. Varios autores esbozan que las altas concentraciones de nitrato y fosfato se atribuye principalmente a las aplicaciones excesivas de fertilizantes logrando la lixiviación y

contaminación de aguas subterráneas, e igualmente se induce a la eutrofización de los cuerpos del agua (Pérez-Díaz et al., 2019, p. 176).

- Cationes

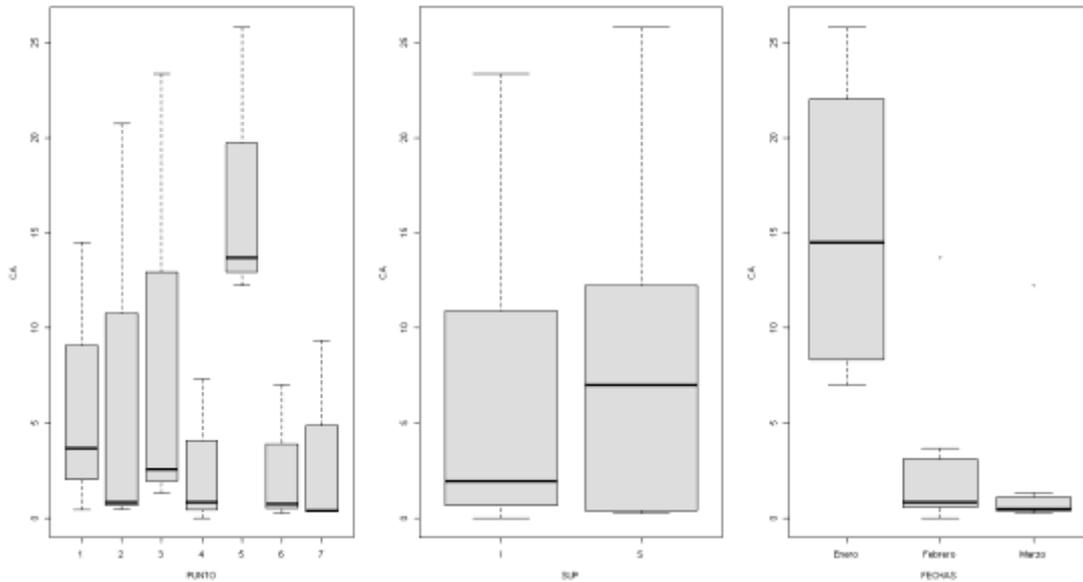


Ilustración 6-3: Análisis de Calcio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la Ilustración 6-3 (a) plantea que los puntos se puede identificar que no existe una amplia dispersión de los valores, debido a que la mayoría se encuentra dentro rango intercuartílico es decir quedan hacia el centro, esto se debe a que las aguas no son duras, por ello no se presenta en gran concentración el Ca ni el Mg, en los puntos 6 y 7 que son parte del rio Yanayacu se presenta un valor promedio de 2,66 mg/L y 3,34 mg/L, sin embargo, en el punto 5 ubicado en el canal de riego se presenta una diferencia con un valor de 17,23 mg/L. Y según la autora (Solís-Castro et al., 2017, p. 45), que realizo un estudio sobre el calcio y la dureza en pozos y nacientes, donde concluyo que para el caso de los pozos, la proporción de dureza de calcio y dureza de magnesio se mantiene prácticamente constante a lo largo de los ámbitos de conductividad, y en cuanto al agua de las nacientes, se da un aumento en la dureza de calcio conforme aumenta la conductividad de la misma, es decir la concentración de calcio es menor en los puntos a niveles freáticos, por ello en la Ilustración 6-3 (b) se puede visualizar en los puntos 1,2,3,4 que son niveles freáticos tienen una menor concentración de calcio, sin embargo en el punto 5 ubicado en el canal de riego se presenta una diferencia con un valor de 17,23 mg/L, en este caso se puede inferir que existe una acumulación de minerales en el tanque que se encuentra antes del canal de riego, proporcionado por la descarga de las vertientes naturales que existen en la zona. Según la normativa FAO, en

donde se encuentra este elemento su límite permisible es de 0-20 meq/L, el promedio de puntos que se indica en 0,3, dentro del rango.

En la Ilustración 6-3(c) no se establece una diferencia significativa en la dispersión de valores, sin embargo se puede observar que en aguas superficiales la mediana es mayor con 14,78 mg/L, en cambio en las de niveles freaticos se presenta un valor de 7,02 mg/L, esto se debe a que existió dos meses de época con baja precipitación: febrero y marzo por ello los minerales, en especial el calcio no se filtraron con facilidad, por el contrario en el mes de enero, las precipitaciones influyeron efectuando que el lixiviado de los iones calcio del suelo, que es fácilmente disuelto de las rocas ricas en minerales que lo contienen como calcita y dolomita, por el agua de escorrentía o de lluvia, indicado por los autores (Beita-Sandí et al., 2011, p. 168). Por consiguiente, el valor en enero es más alto con un valor de 15,42 mg/L, respecto a febrero y marzo que son más bajos con un valor de 3,11 mg/L y 2,25 mg/L respectivamente.

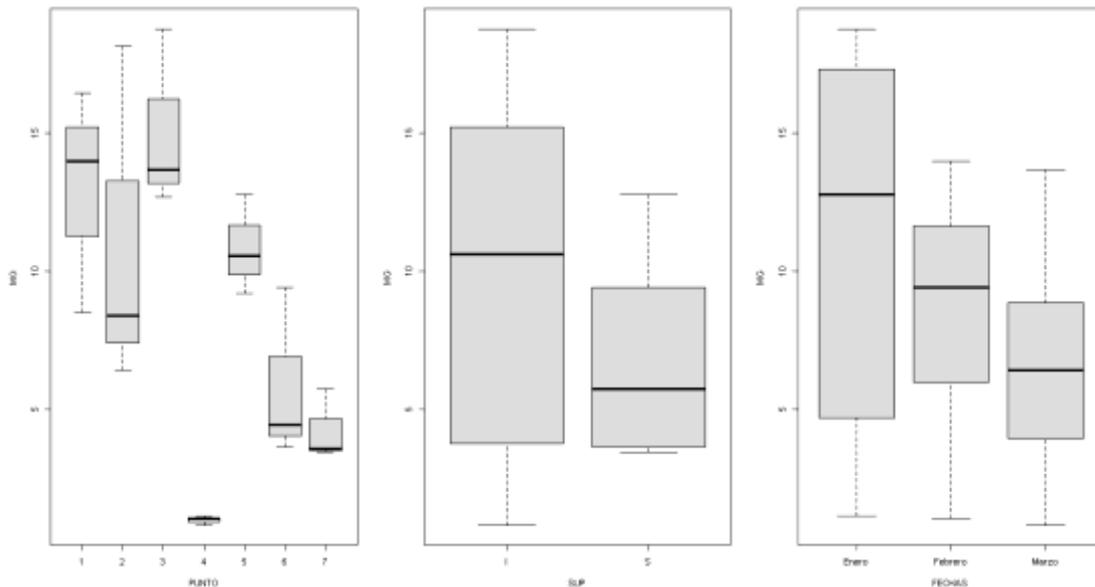


Ilustración 7-3: Análisis de Magnesio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la Ilustración 7-3 (a) se puede observar que el catión Mg presentó tendencias muy similares en el punto 1 y 3 con valores promedios de 12,99 mg/L y 15,06 mg/L respectivamente, estos valores son superiores a los demás puntos, debido a que se encuentran cerca de la laguna de Pisayambo, estos valores elevados de la laguna están asociados al tipo de suelo en la zona, en donde predomina la arcilla, que se conforma de silicatos, magnesio, carbonatos y bicarbonatos. Mientras que el punto 7 presenta el valor de 4,27 mg/L siendo el más bajo, debido a que se encuentra en el río, donde el pH 6,8 señala que no es un agua dura ni alcalina, por ello el contenido de Mg es mínimo.

Por ello, la Ilustración 7-3 (b) de los puntos en 1 y 3 que son los puntos a niveles freáticos, presentan en la gráfica una mayor dispersión de los datos, contando con una media de 14,03 mg/L ingresando según el rango del Anexo 1 del TULSMA, en uso sin restricciones, esto considerando que los puntos son en la laguna de Pisayambo, debido a que esta zona cuenta con suelos donde predomina la arcilla, razón por la que el magnesio se encuentra en mayor proporción, además se puede visualizar que en los puntos 5, 6 y 7 que son superficiales, y ubicados en el río Yanayacu presentan menores concentraciones, según el autor (Timbe et al., 2012pp. 91 - 92) evaluó cuatro ríos que pertenecen a subcuencas frágiles, de alta pendiente, con períodos de retención cortos. La naturaleza química del agua demuestra poca capacidad de amortiguamiento, con alcalinidades inferiores, en condiciones naturales; en general son aguas blandas, es decir tenemos una relación directa con las concentraciones de calcio y magnesio; En la Ilustración 7-3(b) y 7-3 (c) continuos se puede interpretar una relación directamente proporcional de los puntos a niveles freáticos con el periodo de lluvia, debido a que en enero existió un valor promedio de 10, 96, con alta presencia de lluvias, por lo que beneficio a que se filtren mayor cantidad de cationes al área subterránea, posteriormente con la época de sequía tendió a disminuir hasta 6,65 en marzo (Vásquez et al., 2012, p. 58).

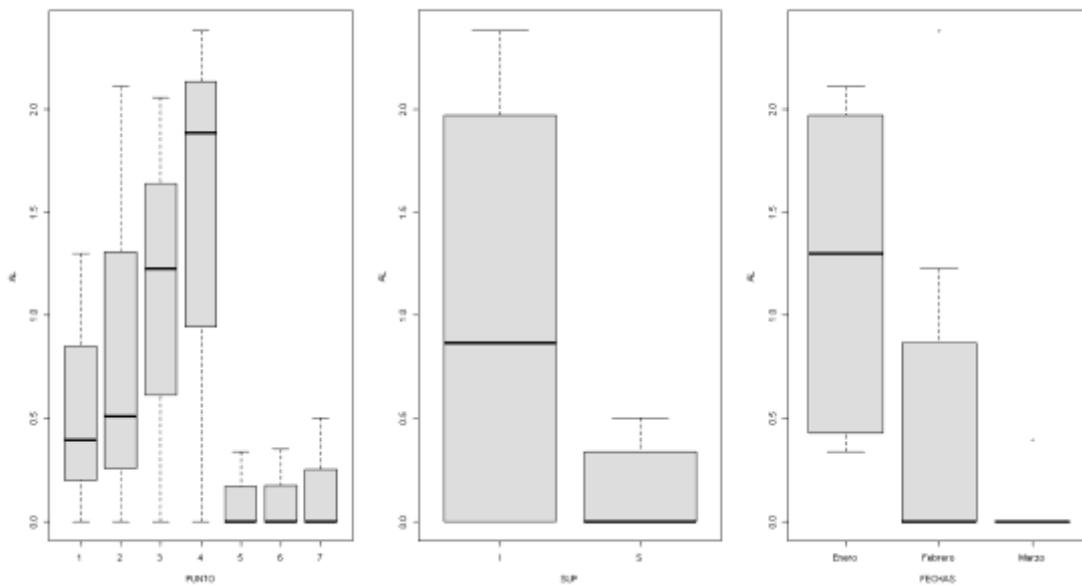


Ilustración 8-3: Análisis de Aluminio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Como se logra identificar en la Ilustración 8-3 (a), existe un incremento en la presencia de aluminio desde el punto 1 ubicado en la laguna de Pisayambo, con un valor promedio de 0,57 mg/L hasta el punto 4 en la laguna de Tambococha con 1,42 mg/L esto se debe principalmente a que la concentración del aluminio aumenta con la altitud según la autora (Márquez et al., 2020, pp.

530-531), por esta razón en los sectores de Pisayambo y Tambococha en donde existen altitudes de 3548 msnm y 3587 msnm, también, su aumento es notable. Así mismo, la autora muestra que a mayor altitud se encontró mayores niveles de acidez, es decir en Tambococha presenta el punto más ácido con un pH promedio de 5,23, lo cual también influye a la concentración del aluminio. Por otro lado, en los puntos: 5, 6 y 7, la concentración de aluminio fue de 0,12 mg/L, 0,12 mg/L y 0,17 mg/L respectivamente, es decir fue baja, debido a que se presenta una altura mínima 2710 msnm en el río Yanayacu como punto 6, además el pH fue neutro con un valor promedio de 6,78 mg/L, razón por la cual la acidez no fue un factor que influyo al aumento del Al.

En la Ilustración 8-3 (b) e Ilustración 8-3 (c) siguientes se puede observar una relación directa entre los puntos de niveles freáticos con el periodo de lluvia, debido a que en enero existió un valor mayor en la concentración de aluminio de 1,22 mg/L, con alta presencia de lluvias. Según la autora (Hidalgo, 2012, pp. 7-8) la solubilidad del aluminio en agua es muy baja, la acidificación del suelo, por efecto de las lluvias, incrementa la migración del aluminio presente en los sedimentos a los cuerpos de agua. Por lo cual promueve un beneficio la filtración de mayor cantidad de cationes al área subterránea, posteriormente con la época de sequía tendió a disminuir hasta 0,056 mg/L en marzo.

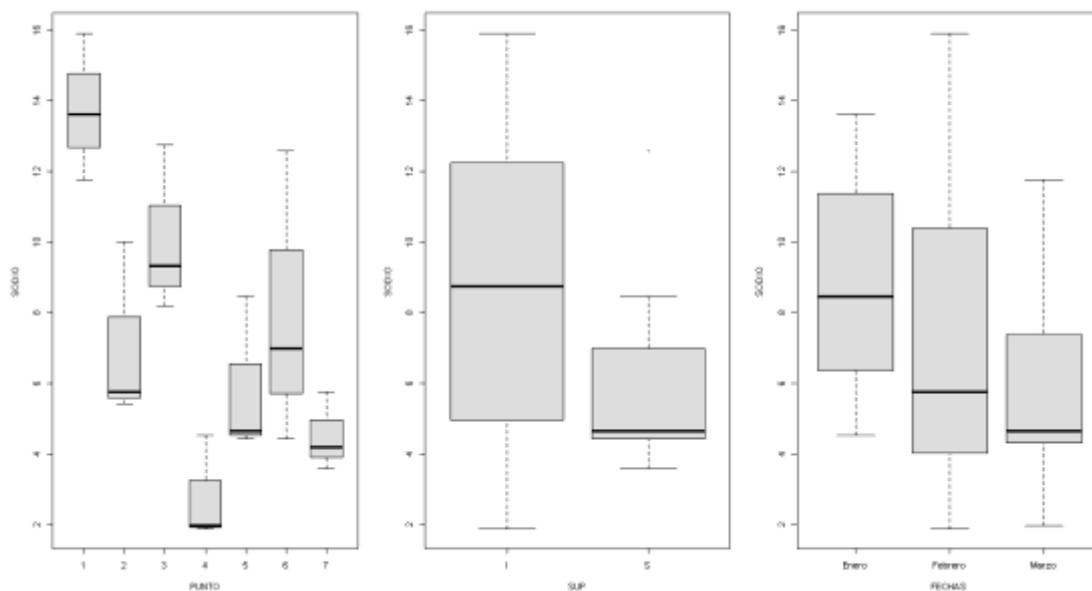


Ilustración 9-3: Análisis de Sodio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Para la visualización de la Ilustración 9-3 (a), se puede determinar que los puntos que se encuentran en el nivel freático son aquellos que tienen una menor dispersión asimétrica, contando con una media de 8,5 mg/L, siendo los puntos 1,2,3 y 4, lo que dentro de las normas de la calidad ambiental en el libro VI Anexo 1 del TULSMA plantea que el grado de restricción presente para

el elemento sodio se encontrarían en niveles de uso moderado dado que se subdivide en el tipo de riego que será realizado en la zona agrícola, esto puesto a que el agua de riego tiende a entrar en la reacción de intercambio catiónico a nivel del suelo, permitiendo así que el excedente de sodio modifica las propiedades del suelo en la fase de absorción de las partículas, obteniendo una disminución de la permeabilidad. Por otra parte, la visualización de los puntos en 5,6 y 7 que son los puntos tomados de manera superficial, presentan a nivel de grafica una mayor dispersión de los datos, entrando según el rango del Anexo 1 del TULSMA, en uso sin restricciones, esto considerando que los puntos mencionados son el Rio Yanayacu, la Represa de la Hidroeléctrica y el canal de riego, y según el autor (Rodríguez et al., 2022, pp. 60-61), esto es debido a que la zona cuenta con aguas de buena calidad con concentraciones bajas de sodio explicándose esto dado que cuenta con características geológicas buenas ya que su ubicación geográfica provoca que tengan baja salinidad. Sobre todo, para el punto 5, que es el canal de riego, ya que, en este tramo de la acequia, el recorrido es a través de una canaleta de hormigón, lo cual no favorece a la erosión del suelo y no está en contacto con actividades industriales.

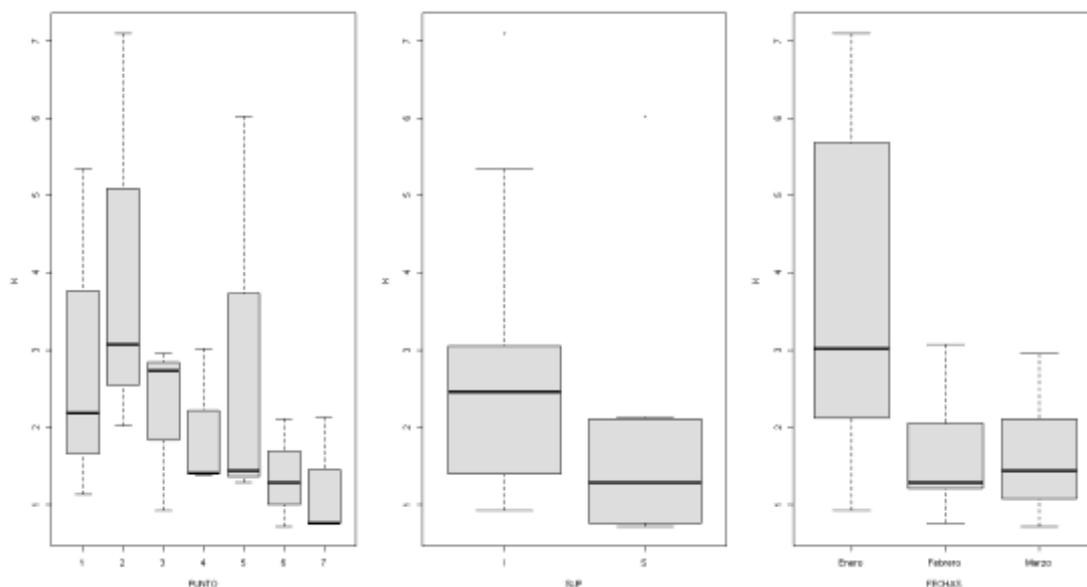


Ilustración 10-3: Análisis de Potasio

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la Ilustración 10-3 (a), los diagramas de caja no representan una diferencia significativa entorno a la dispersión de valores de concentración de potasio, pero en los puntos 1, 2 y 3 se tienen promedios mayores de 2,89 mg/L; 4,06 mg/L y 2,20 mg/L respectivamente, esto se debe a que en estos puntos se observó que existen gran cantidad de ganado bravo así, como de venados cola blanca que generan fuentes naturales de potasio a través de su estiércol y de los restos animales, sin embargo en los puntos 4,5 6 y 7 se observa un promedio más bajo, contrastando a

los puntos 6 y 7 que son parte del río Yanayacu los cuales presentan valores de 1,37 mg/L y 1,21 mg/L, esto en razón de que son aguas en constante movimiento, en donde no se logra acumular gran cantidad de cationes, y según el autor (Estupiñán et al., 2009, p. 85) el cual evalúa el efecto de actividades agropecuarias y ganaderas en el páramo, concluyo según los resultados que en las zonas donde existe actividad agrícola y ganadera hay efectos negativos sobre las propiedades químicas, en especial del potasio donde se logró identificar un aumento en su concentración debido a las excesivas aplicaciones de fertilizantes compuestos utilizados en el cultivo de papa o el empleo de quelatos, entre otras consecuencias, se destacan la compactación del suelo, el incremento de la densidad aparente y la disminución de la retención de humedad.

En la Ilustración 10-3 (b) se logra identificar que las aguas a niveles freáticos tienen una mediana de 2,08 mg/L superior a los niveles superficiales de 1,11 mg/L; a causa de que el potasio es un catión que se encuentra en mayor concentración en el agua de vertientes, por ello en la Ilustración 10-3 (c) la concentración de potasio fue mayor en enero con 3,81 mg/L; puesto que este mes presento diferentes niveles de precipitaciones que en febrero y marzo con valores de 1,66 mg/L y 1,64 mg/L respectivamente, aunque puede aumentar por depósito atmosférica, escorrentía de terrenos agrícolas e influencia de drenajes de irrigación. Dado que son elementos esenciales, para la nutrición de las plantas, su presencia en el agua es beneficiosa (Alfaro, 2014, p. 102).

3.3.5. Análisis ANOVA

Para realizar el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, se utilizó el software R-studio, donde se estudió cada parámetro en las zonas como son: punto, nivel freático y fechas; en un tiempo de tres meses siendo enero a marzo del 2022. Para este análisis se utilizó un nivel de significancia del 5%, obteniendo los siguientes resultados.

3.3.5.1. Variabilidad espaciotemporal de Cationes

Tabla 11-3: Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de cationes

Punto			Fechas		
Pr(>F)	0.00835		Pr(>F)	0.00325	
Grupos de cationes			Grupos de cationes		
3	2,3097087	A	Enero	2,292851	A
1	2,1137151	A	Febrero	1,2918051	B
5	2,096817	Ab	Marzo	0,9683014	B

2	1,7802924	Abc	Superficial		
6	1,0097882	Bcd	Pr(>F)	0.03180	
7	0,7646014	Cd	Grupos de cationes		
4	0,5486446	D	NF	1,68809	A
			S	1,290402	A

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

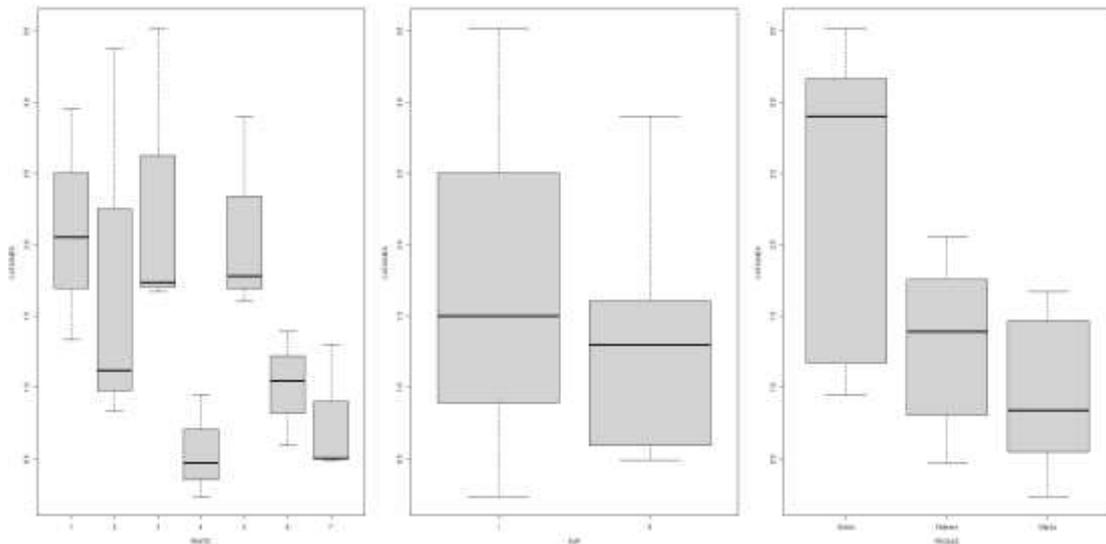


Ilustración 11-3: Resultados de prueba de efectos en cationes

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la primera imagen según el análisis ANOVA tenemos un p de 0,00835, es decir, inferior a 0,05, por lo que, si existen diferencias significativas, por ello el punto 1, 3, 5 y 2 pertenecen al grupo “a”, es decir no presentan una diferencia significativa entre sí, pero los puntos 4, 6 y 7 pertenecen al grupo d, el punto 7, 6 y 2 pertenecen al grupo c, por lo que no presentan una diferencia significativa. En el siguiente grafico se tiene un p de 0,03180, por lo que, si existen diferencias significativas, pero no la suficiente como para separar por grupo y en el último grafico presenta un p de 0,00325, por lo tanto, existen diferencias significativas, en consecuencia, el mes de enero pertenece al grupo “a” y los meses de febrero y marzo al grupo “b”

Tabla 12-3: Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de aniones

Punto	Fechas
Pr(>F) 0.1954	Pr(>F) 0.2414

Grupos de cationes			Grupos de cationes		
5	0,104063	A	Enero	0,0714142	A
1	0,0680255	Ab	Febrero	0,0441497	A
3	0,05840397	Ab	Marzo	0,03248028	A
2	0,05704485	Ab	Superficial e Intersticial		
6	0,03153601	Ab	Pr(>F)	0.0366	
4	0,0148859	B	Grupos de cationes		
7	0,01147711	B	NF	0,04959	A
			S	0,049025	A

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

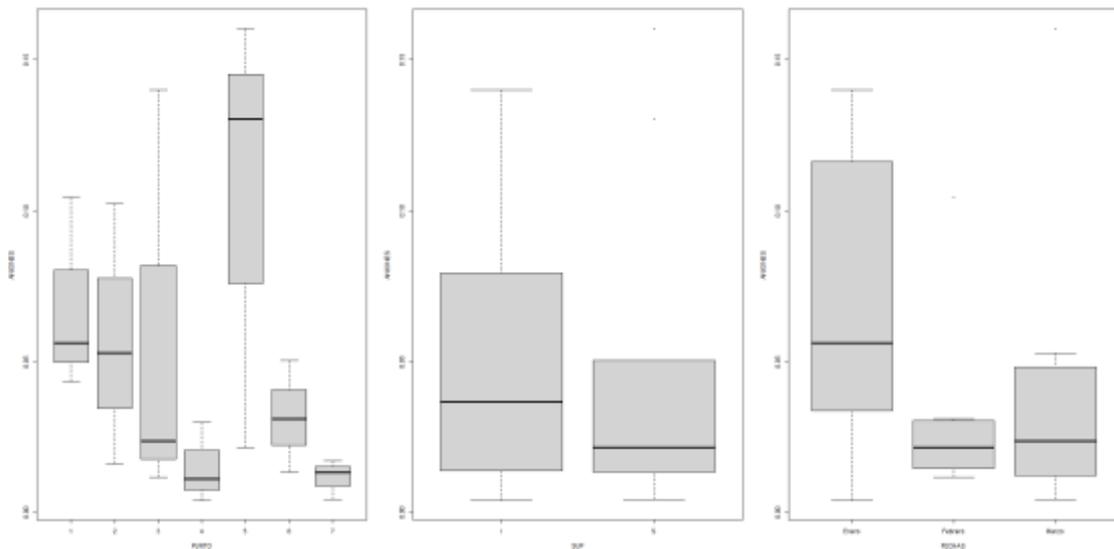


Ilustración 12-3: Resultados de prueba de efectos en aniones

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Mediante los análisis ANOVA en el primer grafico se presenta un p de 0,1954, superior a 0,05, por ello en este caso no existen diferencias significativas, por ende, los puntos 5, 1, 3, 6 y 2 pertenecen al grupo “a” y los puntos 4 y 7 al grupo “b”. En el siguiente grafico se tiene un p de 0,0366, inferior a 0,05, en este caso si existen diferencias significativas, sin embargo, no existen grupos y en el último grafico se tiene un p de 0,2414, por lo tanto, no existen diferencias significativas, de manera que los meses de enero, febrero y marzo pertenecen al grupo “a”.

3.3.5.2. Variabilidad espaciotemporal de Índice RAS

El factor ejecutado para las pruebas del índice RAS se efectuaron en el programa IBM SPSS Statistics, realizándose las pruebas de ANOVA y prueba de Wallis.

Tabla 13-3: Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de Clase - RAS

ANOVA de un factor					
RAS					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	7,496	2	3,748	3,141	0,068
Intra-grupos	21,479	18	1,193		
Total	28,975	20			

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: RAS							
Games-Howell							
(I) CLASE	(J) CLASE	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior
NF	C	1,72667*	,37823	,002	,7151	2,7383	
	S	,06333	,59424	,994	-1,5849	1,7116	
C	NF	-1,72667*	,37823	,002	-2,7383	-,7151	
	S	-1,66333*	,53600	,045	-3,2859	-,0408	
S	NF	-,06333	,59424	,994	-1,7116	1,5849	
	C	1,66333*	,53600	,045	,0408	3,2859	

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

La tabla 13-3, contiene un análisis descriptivo de la variable dependiente por grupos, así como, los límites superior e inferior para la media de cada grupo al 95% de confianza. Según los autores (Portilla et al., 2006, p. 14), si el nivel de significación (sig.) intraclass es menor o igual que 0,05, rechazamos la hipótesis de igualdad de medias, en el caso de que sea mayor – aceptamos la igualdad de medias, es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos, por ende las únicas diferencias significativas presentes en el índice RAS son las de niveles

freáticos y canal de riego, esto como ya ha sido expuesto anteriormente se debe a la variación de los cationes, los cuales influyen en el tipo de clase para el RAS.

Tabla 14-3: Resultados de prueba de efectos inter-sujetos de Fecha - RAS

ANOVA de un factor						
RAS						
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	
Inter-grupos	2,668	2	1,334	,913	,419	
Intra-grupos	26,307	18	1,462			
Total	28,975	20				
Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: RAS						
Games-Howell						
(I) FECHA	(J) FECHA	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
ENERO	FEBRERO	-,86714	,62577	,395	-2,6774	,9431
	MARZO	-,52143	,52960	,606	-2,0251	,9823
FEBRERO	ENERO	,86714	,62577	,395	-,9431	2,6774
	MARZO	,34571	,76201	,894	-1,6973	2,3887
MARZO	ENERO	,52143	,52960	,606	-,9823	2,0251
	FEBRERO	-,34571	,76201	,894	-2,3887	1,6973

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 14-3, no tiene ningún sentido realizar las pruebas post hoc, ya que se revela en el ANOVA vinculado con los meses y el índice RAS, indica que no existen diferencias significativas entre los grupos (Inter-grupos). Para interpretar la tabla, se destaca que la variable 1, es decir el índice RAS, no tiene repercusión estadísticamente significativa en la valoración de la variable 2, siendo los meses muestreados.

3.3.5.3. Prueba de Kruskal - Wallis

La prueba de Kruskal – Wallis fue realizada en el programa IBM SPSS Statistics,

Tabla 15-3: Resultados de Prueba de Kruskal – Wallis de muestra RAS

Rangos		
CLASE	N	Rango promedio
NF	12	12,67
C	3	2,00
S	6	12,17
Total	21	
Estadísticos de contraste ^{a,b}		
		RAS
Chi-cuadrado		7,390
Gl		2
Sig. asintót.		,025
a. Prueba de Kruskal-Wallis		
b. Variable de agrupación: CLASE		

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 15-3, que se presta para una prueba no paramétrica en referencia a la prueba de Kruskal-Wallis, según los autores (Rodríguez et al., 2018, p. 35) donde se contrasta las diferentes muestras buscando que las mismas estén equidistribuidas y que por lo tanto pertenecen a una misma distribución.

Dentro de la tabla se encuentra el punto de “Rangos” donde se analizaron 7 puntos, tres en total de grupos. El rango promedio mayor fue para el Grupo NF, que son aquellos puntos que estaban en niveles freáticos, en tanto el menor fue para el Grupo C. Se observo en la fila Sig. asintót. y su valor de 0,025, indicando que el valor de p (Sig. asintót.) es menor que 0,05, entonces se presenta un rechazo a la hipótesis nula y se revela que con un nivel de significación del 5%, el nivel de índice RAS difiere para el canal de riego de entre los tres tipos de áreas de muestreo.

3.3.6. Correlaciones

Para poder estimar la relación de la conductividad con el índice RAS, cationes y aniones, se procedió a obtener los coeficientes de correlación de Pearson en las zonas de estudio.

Tabla 16-3: Matriz de correlaciones entre la conductividad y los análisis de cationes

Correlación							
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo					
		Enero		Febrero		Marzo	
		16/1/2022		12/2/2022		10/3/2022	
		Conductividad	Cationes	Conductividad	Cationes	Conductividad	Cationes
punto 1	NF	193	2,95	219	2,05	127	1,33
punto 2		218	3,38	172	1,12	115	0,84
punto 3		220	3,52	183	1,74	212	1,67
punto 4		90	0,94	62	0,45	61	0,23
punto 5	C	233	2,90	192	1,78	158	1,61
punto 6	S	76	1,05	87	1,39	73	0,59
punto 7	S	68	1,30	65	0,49	31	0,50
Promedio		156,86	2,29	140	1,29	111	0,97
Desviación		74,98	1,14	66,25	0,63	61,95	0,57
Correlación de Pearson		0,96		0,87		0,92	
Correlación de Pearson Total		0,92					

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Tabla 17-3: Matriz de correlaciones entre la conductividad y los análisis de aniones

Correlación							
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo					
		Enero		Febrero		Marzo	
		16/1/2022		12/2/2022		10/3/2022	
		Conductividad	Aniones	Conductividad	Aniones	Conductividad	Aniones
punto 1	NF	193	0,06	219	0,10	127	0,06
punto 2		218	0,10	172	0,02	115	0,07
punto 3		220	0,20	183	0,01	212	0,04
punto 4		90	0,00	62	0,03	61	0,03
punto 5	C	233	0,13	192	0,02	158	0,16
punto 6	S	76	0,05	87	0,03	73	0,02
punto 7	S	68	0,02	65	0,01	31	0,02
Promedio		156,86	0,08	140	0,03	111	0,06
Desviación		74,98	0,07	66,25	0,03	61,95	0,05
Correlación de Pearson		0,80		0,42		0,52	
Correlación de Pearson Total		0,58					

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Tabla 18-3: Matriz de correlaciones entre la conductividad y los análisis del índice RAS

Correlación							
Puntos de muestreo	Ubicación	Fechas de Muestreo					
		Enero		Febrero		Marzo	
		16/1/2022		12/2/2022		10/3/2022	
		Conductividad	RAS	Conductividad	RAS	Conductividad	RAS
punto 1	NF	193	3,46	219	5,35	127	5,55
punto 2		218	2,27	172	2,68	115	2,92
punto 3		220	2,78	183	2,96	212	3,40
punto 4		90	2,20	62	3,43	61	2,16
punto 5	C	233	1,92	192	1,27	158	1,42
punto 6	S	76	3,03	87	5,58	73	2,90
punto 7	S	68	2,09	65	2,55	31	3,05
Promedio		156,86	2,54	140	3,40	111	3,06
Desviación		74,98	0,56	66,25	1,55	61,95	1,28
Correlación de Pearson		0,03		-0,08		0,10	
Correlación de Pearson Total		0,02					

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

3.3.6.1. Interpretación de las correlaciones

Tabla 19-3: Interpretación del valor del coeficiente de correlación

Valor del coeficiente	Correlación
$r = 0$	Nula
$0 < r < 0,2$	Muy baja
$0,2 < r < 0,4$	Baja
$0,4 < r < 0,6$	Moderada
$0,6 < r < 0,8$	Alta
$0,8 < r < 1,0$	Muy alta
$r = 1$	Perfecta

Fuente: Lahura, 2003. (El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas)

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

Se utilizó el software estadístico “R Studio” para calcular indicadores como: coeficientes de correlación y analizar la relación que existe entre los factores RAS, cationes, aniones en contraste de la conductividad eléctrica, mediante la aplicación de técnicas como correlación y modelos de regresión lineal para facilitar la comprensión entre variables.

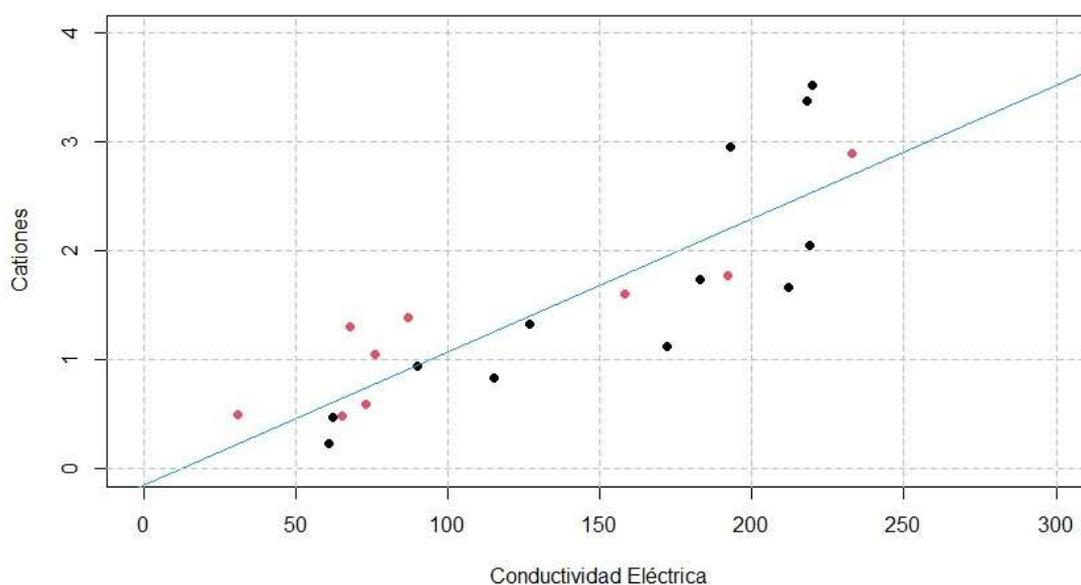


Ilustración 13-3: Correlaciones entre conductividad y cationes

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 19-3 en conjunto con la Ilustración 13-3, detalla los resultados de las correlaciones en la zona de estudio de los cuales se observa que la conductividad eléctrica tiene una correlación

directamente proporcional con los cationes, dando un valor promedio R^2 de 0,92, puesto que los meses de enero, febrero y marzo cuentan con un R^2 de: 0,96, 0,87 y 0,92 respectivamente, presentando así en la escala de correlación de Pearson un rango “muy alto”, planteando que la conductividad se vuelve proporcional al contenido de sales disueltas; coincidiendo con lo expuesto por el autor Richards (1962) que estableció una regresión lineal donde la correlación idónea de conductividad eléctrica y suma de cationes debe ser cercana a 1.

Esta afirmación es comprobable puesto que dentro de la Ilustración 13-3, los puntos correspondientes a niveles freáticos y los puntos de áreas superficiales, en especial el punto 5 perteneciente al canal de riego, son los más cercanas a la línea de tendencia los cuales a mayor concentración de cationes más rango de conductividad poseen, sobre todo en el mes de enero, donde la presencia en escala es cercana a 1.

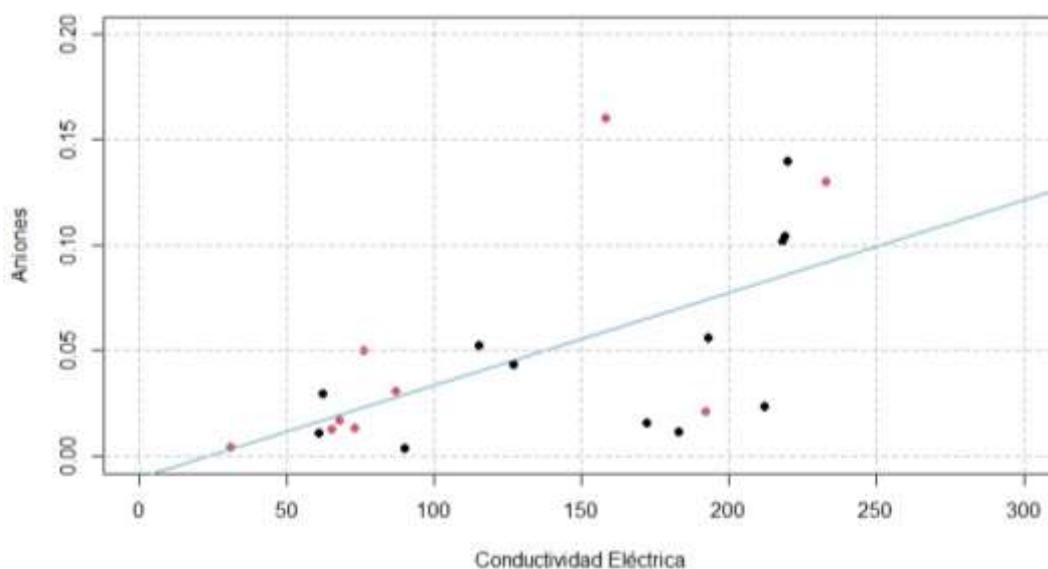


Ilustración 14-3: Correlaciones entre conductividad y aniones

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la tabla 19-3 y la Ilustración 14-3, los resultados de las correlaciones anión – conductividad entran en un valor promedio de R^2 de 0,58, siendo una correlación moderada en la escala de Pearson, presentando similares resultados dentro de los meses de febrero con R^2 de 0,42 y marzo con R^2 de 0,52. En contra parte, los resultados del mes de enero son de R^2 de 0,80, el cual es una correlación alta, lo que revela que existe un desbalance iónico que se relaciona con las condiciones de saturación que se presentan en las diferentes épocas del año. Los puntos que se muestran cercanos a la línea de tendencia son los puntos 1 y 3 para niveles freáticos, mientras que para niveles superficiales es el punto 5, estos tres puntos presentan un mayor grado de conductividad y mayor nivel de concentración de aniones tanto en los meses de enero y marzo, centrándose en la disminución de la cantidad de concentración del anión nitrato a lo largo del tiempo muestreado.

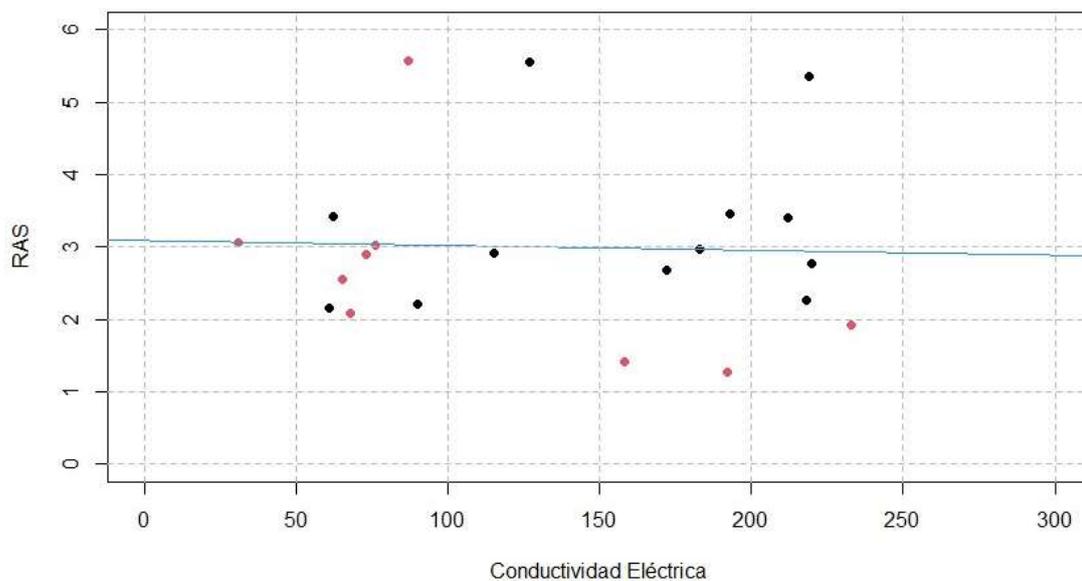


Ilustración 15-3: Correlaciones entre conductividad e índice RAS

Realizado por: Buñay, K.; Calderón, S., 2022.

En la Ilustración 15-3 se detallan los resultados de las correlaciones entre la conductividad y el índice RAS, presentando un R^2 promedio de 0,02 siendo una correlación muy baja, e igualmente se muestra los resultados de R^2 : 0,03, -0,08 y 0,10 respectivamente a los meses muestreados de enero, febrero y marzo, todos estos teniendo correlaciones muy bajas y nulas, lo que indica que el agua presenta una cantidad de sales baja, indicando que la conductividad eléctrica disminuirá conforme disminuya el índice RAS, lo que traduce una baja correlación entre ambas variables. En cuanto a los puntos que se encuentran en niveles freáticos se estima que hay poca influencia de la conductividad del agua freática así mismo en sus puntos a niveles superficiales, siendo principalmente a las condiciones del sector presentando restricciones en sus niveles de temperaturas, pH ácidos y precipitaciones altas lo que afecta las características del recurso hídrico.

CONCLUSIONES

- La evaluación de la calidad del agua tanto en niveles freáticos como superficiales ubicado en San José de Poaló, permitió exponer a sus pobladores, que el agua empleada para sus actividades de riego no posee restricciones severas considerando que la zona presenta aguas de calidad media con concentraciones bajas de sodio y media de conductividad por las características geológicas y la ubicación geográfica; por lo cual, hay que informar sobre el uso con precaución de esta así como también su uso en riegos para cultivos tolerantes a la salinidad.
- Se determinó que las muestras pertenecientes al Parque Nacional Llanganates, puntos:1,2,3 y 4 poseen parámetros físicos que determinan su restricción de uso, dado que todos ellos cuentan con temperaturas bajas, pH ácidos y oxígenos disueltos bajos; de igual manera sus conductividades varían en un rango medio teniendo una restricción de uso ligero. Mientras tanto, las muestras tomadas en la zona agrícola de San José de Poaló, puntos 5,6 y 7 han sido determinadas con temperaturas medias, pH alcalinos y oxígenos disueltos altos, a la par las conductividades son bajas teniendo una restricción de uso moderada. Los índices RAS y de salinidad tomados en base a los resultados expuestos por las concentraciones de cationes, y según la normativa ecuatoriana TULSMA determinan que los puntos pertenecientes a los niveles freáticos son aptos con precauciones como los puntos 2 y 3, que determinan conductividades altas pero índices RAS moderados; mientras que, el punto 1 y el punto 4 no son aptos para el riego, teniendo baja conductividad y bajo índice RAS. Los puntos a niveles superficiales 6 y 7 tampoco son aguas aptas para el uso en riego, debido a su baja conductividad y moderado índice RAS, en cambio el punto que está en el canal de riego es apto con precauciones debido a una conductividad e índice RAS medio. Según la normativa internacional FAO con parámetros más flexibles, determina que los puntos 1,2,3,4,6 y 7 son aguas aptas con precauciones ya que cuentan con un rango ligero de índice RAS y una conductividad baja, mientras que el punto 5 es apto para riego. En cuanto a las normas Riverside, plantea a todos los puntos como C₁S₁, baja sodicidad y baja conductividad aptos para cualquier tipo de suelo.
- Se analizó las variaciones de la conductividad eléctrica relacionadas con los cationes, aniones e índices RAS, por medio de la realización de correlaciones de Pearson dando como resultados que la correlación entre conductividad y cationes es muy alta, demostrando relación directa entre ambas variables, mientras que las correlaciones entre conductividades con aniones e índice RAS es de rango moderado y muy bajo respectivamente, esto se debe a que la cantidad de aniones a lo largo del tiempo muestreado tiene una baja concentración así

como también una interferencia con los parámetros ambientales de los puntos, indicando que su relación es negativa y ausente.

- Se identificó con respecto al análisis descriptivo de cada una de las variables, siendo estas cationes y aniones, y con la utilización de diagramas de caja, que existe asimetría y variabilidad en los datos, las cuales fueron más acentuadas en las concentraciones de sodio, potasio y magnesio mientras que para los aniones fue los nitratos y sulfatos que presentaron las mayores diferencias en los coeficientes de variación, evidenciándose de esa manera la mayor dispersión de estas variables. Los elementos con menor variabilidad fueron fosfatos, calcio y aluminio. Con respecto a la variabilidad espacio temporal de la concentración de cationes y aniones dentro del Parque Nacional Llanganates y en el sector agrícola de San José de Poaló, se realizando un análisis ANOVA en el software R-Studio, indicando que existen variabilidades significativas bajas en niveles aniónicos impidiendo la separación por grupos, mientras que los niveles de cationes poseen resultados homogéneos. En cuanto a los análisis de RAS, en el programa IBM SPSS Statistics, se concluye que no existe diferencia significativa entre los meses muestreados en cambio para las ubicaciones su mayor diferencia significativa es en el área del canal de riego, y lo mismo es visible para la prueba de Kruskal – Wallis, en donde la diferencia significativa recae nuevamente en el punto de canal de riego mientras que para los meses muestreados no presenta ninguna diferencia significativa. De esta forma, al analizar las muestras por estaciones se demostró que no existen variabilidades significativas entre los resultados obtenidos durante los 3 meses estudios, en el mes de enero a marzo en el año 2022.

RECOMENDACIONES

- Difundir a los agricultores y autoridades competentes la realización de análisis semestrales previo al uso en el riego, debido a que los niveles de salinidad afectan directamente a los cultivos.
- Concientizar sobre la importancia del uso del agua del páramo y no utilizar el agua para riego en los sectores dentro del Parque Nacional Llanganates ya que afecta directamente al ecosistema del lugar.
- Se recomienda realizar un muestreo multitemporal y espacial, con el objetivo de detectar cambios en la cantidad de sales transportadas por variaciones en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

AGUA. *Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua.* Quito : Asamblea Nacional.

ALFARO, John Bolaños. "Determinación de cationes en agua potable del cantón de Grecia, Costa Rica por absorción atómica". *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, Vol. 15., n° 30 (2014) (Costa Rica), pp. 2215-2458.

ALMUDENA., Lizaso; et al. "Nitritos, nitratos Y nitrosaminas. Madrid : fundación ibérica para la seguridad alimentaria". *Science* [En línea]. 2001, **15**(48) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1250-0008. Disponible en: https://www.academia.edu/9376769/Nitritos_Nitratos_Y_Nitrosaminas

ALVARADO, Darner Mora. *Agua* . San José: EUNED, 2009. ISBN 9789968317368.

ÁLVAREZ, Amílcar; et al. "Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. el sistema paramillos Lavallo, Mendoza, argentina". *Scielo* [En línea]. 2008, 40(2) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 0370-4661. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837643006.pdf>

ÁLVAREZ, Jesús; et al. "Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca". *Información Tecnológica*, 2008, Vol. 19., n°6., (2008). Texcoco-Estado de México. ISBN 0718-0764.

AMADO, J.; et al. *Análisis de Calidad del Agua en las Lagunas de Bustillos y de los mexicanos (Chihuahua, Mexico)*. Murcia: Papeles de Geografía, 2016. pp. 1989-4627. *Ambiente, Agua y Transición Ecológica . Areas Protegidas*

APABLAZA, Venecia Herrera; et al. "Calidad del agua subterránea para el riego en el Oasis de Pica, norte de Chile". *Idesia (Arica)*, 2018, Vol. 36., n° 2. (2018) (Chile). ISSN 0718-3429.

ARÍZALA, Stalin. Estudio de las condiciones ambientales del sistema lacustre de Ozogoché, Parque Nacional Sangay, previo a la declaratoria como sitio Ramsar [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2018. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/10361>. 33T0196



ASAMBLEA NACIONAL. *Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria* .

AYERS, R.S.; & WESTCOT, D.W. 1994. *Estudio FAO: riego y drenaje*. Roma: FAO, 1994. ISBN 0254-5284.

BALLESTERO, Maureen; et al. *Administración del agua en América Latina: situación actual y perspectivas*. Santiago de Chile : CEPAL-SERIE Recursos naturales e infraestructura, 2005. ISBN: 9213226780.

BEITA-SANDÍ, Wilson; & BARAHONA-PALOMO, Marco. "Fisicoquímica de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica"², San José, Costa Rica : Cuadernos de Investigación UNED, 2011, Vol. 2, n° 2 (2011)(Costa Rica). pp. 1659-4266.

BELTRÁN, Rigoberto; et al. "Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México" *Hidrobiológica*, 2012, Vol. 22., n°1 (2012) (Ciudad de México). ISBN 0188-8897.

BETANCOURT, Carmen; et al. "Principales Procesos que Impactan la Calidad del Agua para el Riego en Pozos Costeros del Centro Sur Cubano". *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 35., n° 3(2018). ISBN 0188-4999.

BLARAS, María Giuliano. "Hidro geoquímica y estimación del fondo natural de nitratos del agua subterránea en un agroecosistema del pedemonte de la sierra de Comechingones". *Scielo* [En línea]. 2014, 71(4) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 0004-4822. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222014000300006

BOJACÁ, Carlos; et al. *Manual de producción de pepino bajo invernadero*. Colombia: Editorial Tadeo Lozano, 2012. ISBN 9587250982, 9789587250985.

BOLAÑOS ALFARO, John; et al. "Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)". *Tecnología en Marcha*, Vol. 30., n° 4 (2017), pp. 0379-3982.

BONILLA, Kevin Israel; & LOJA, Jonathan David. Evaluación de macro y micro invertebrados como indicadores biológicos de la calidad de agua del humedal Amidas del parque

Nacional Llanganates en la provincia de Cotopaxi [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga- Ecuador. 2017. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4230>

BUENO, Ricardo; & FERNEDEZ John. La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Science* [En línea]. 2019, **15**(12) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1547-1887. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ai/vol4/iss1/2/>

CAN VHULIM, Álvaro. “Origen y calidad del agua subterránea en la cuenca oriental”. *Scielo* [En línea]. 2011, 29(10) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1014-1587. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000200189&script=sci_abstract

CAN, Álvaro; et al. 2011. "Origen y calidad del agua subterránea en la cuenca oriental de México". *Terra Latinoam*, 2011, Vol. 29., n°2(2011), ISSN 2395-8030.

CARABALÍ, Joffre; et al. "Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco", *Revista Siembra*, Vol. 6., n° 2 (2019) (Quito). pp. 2477-8850.

CÁRDENAS, Jorge. *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022. ISBN. 9585032732, 9789585032736.

CARRERA, David; & PEREZ, Sonia. "Salinidad, Fosfatos, Nitratos y problemas de infiltración en las aguas de irrigación del cantón Milagro, Ecuador". *Revista Ciencia Unemi*, 2013, Vol. 6., n° 9 (2013) (Milagro, Ecuador). E-ISSN: 2528-7737.

CASTELLANOS, Cesar Augusto. *Los ecosistemas de humedales en Colombia*. Caldas: Universidad de Caldas, 2006.

CASTELLÓN, Juan; & HERNÁNDEZ, María de Lourdes. "Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala". *Ingeniería*, Vol. 19., n° 1 (2025) (Mérida, México). ISBN 1665-529X.

CHACON CHAQUEA, Myriam. *Análisis físico y químico de la calidad del agua.* Bogotá, Colombia : Ediciones USTA, 2016. ISBN 978-958-631-966-9.

CHAMBA, Karina; & GUALLASAMIN, Sara. *Estudio de la disponibilidad y calidad del agua de consumo humano a través del monitoreo de caudales y análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la zona Pesillo - Imbabura.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2013. ISBN: 1718812728.

COLASURDO, Viviana; et al. "Análisis de la calidad del agua de la laguna De los Padres: potencial uso para riego". *Revista de la Facultad de Agronomía*, Vol. 110., n° 21 (2011). ISBN 1669-9513.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Matatipac (1804), Estado de Nayarit.* Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico, 2015.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. *Constitución de la Republica del Ecuador .*

CORAS, Merino; et al. "Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas". *Scielo* [En línea]. 2014, 2(11) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 2007-0934. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000400001

CORITOMA, Maribel Baylón; et al. "Evaluación de la diversidad de algas Fito planctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú)". *Ecología Aplicada*, Vol. 17., n° 1 (2018) (Lima), pp. 1726-2216.

CORTÉS, Juan. 2008. *Programa de Estudio.* La Paz : Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, 2008.

DELGADO, John. *Análisis de la calidad de agua para riego en suelos agrícolas en la parroquia rural Colonche, provincia de Santa Elena* [En línea].(Trabajo de Titulación) (Tesis de Pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales. Guayaquil-Ecuador. 2021. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53424>. Disponible en:

<https://repositorio.iica.int/browse?type=subject&order=ASC&rpp=25&value=Suelo>

ESSAID, Hedef; et al. "Using heat to characterize streambed water flux variability in four stream reaches". *Journal of Environmental Quality*, 2006, 37(3). [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: doi:10.2134/jeq2006.0448.

ESTUPIÑÁN, Luis; et al. "Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el granizo, (Cundinamarca - Colombia)" . *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 2009, Vol. 12., n°2., ISBN 0123-4226.

EVENS, Emmanuel; et al. "Characterization of Hardness in the Groundwater of Port-au-prince. an Overview on the Health Significance of Magnesium in the Drinking Water". *Aqua-LAC*, Vol. 5., n° 2 (2013) (Puerto Principe). ISBN 1688-2873.

FAO. *Efectos de la agricultura en la calidad del agua*. EE. UU.: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2018.

FAO. *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, 2021. 978-92-5-134332-6.

FLORES, Carmen M.; et al. "Evaluación de parámetros físicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México." *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 2018, Vol. 9., n°2 (2018) (Tabasco, México) ISBN. 2007-2422.

FREIRE, Ana; & VILLAMARIN, Yesenia. *Determinación de los índices de la calidad de agua a partir de macro y micro invertebrados en la Laguna de Anteojos del Parque Nacional Llanganates*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.

GABR, Mohamed Elsayed; et al. "Groundwater quality evaluation for drinking and irrigation uses in Dayrout city Upper Egypt". *Ain Shams Engineering Journal*, 2021, Vol. 12., n° 1 (2021) ISSN: 20904479.

GAD PARROQUIAL RURAL SAN JOSE DE POALÓ. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial* . San José de Poaló: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural San José de Poaló, 2020.

GARCIA, Yoadris. "Calidad del Agua con Fines de Riego". *Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda"*, 2015. vol.1, n°35. (2015) (Madrid). ISBN1989-6794.

GÓMEZ, Juan; et al. "Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala". *Ingeniería*, Vol. 19., n° 1 (2025) (Mérida, México). ISBN 1665-529X.

GONZALEZ, L.; et al. "Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile". *Revista geológica de Chile*, 2003, Vol. 30, n°1(2003) (Concepción, Chile). ISBN 0716-0208.

GONZÁLEZ, Luis; et al. "Fosfatos en agua de drenaje agrícola: cuenca baja del río Sinaloa".

GRAY, Víctor; & RIOS, Mónica. "Salinidad y el nivel del agua como factores en la distribución de la vegetación en la ciénaga del NW de Campeche, México". *Acta Botánica Mexicana*, 1996, Vol. 1., n° 34 (1996) (México), ISBN 0187-7151.

GUARAS, Aníbal. "Cuantificación de magnesio a partir de la dureza total y calcio del río dos bocas de la Parroquia el Progreso". *Scielo* [En línea]. 2016, 4(8) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1254-9632. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7712>.

GUERRA, A.; et al. "¿Qué es un lago? El lago Maihue y los otros modos de vivir los paisajes lacustres en el sur de Chile". *Revista Estudios Avanzados*, Vol. 2, n° 31 (2019) (Chile). ISBN 0718-5022.

HERRERA PUEBLA, Julián; et al. "El uso del agua en la agricultura en Cuba". *Revista Ingeniería Agrícola*, 2011, Vol. 1., n°2 (2011). ISSN-2227-8761.*Ingeniería*, Vol. 19., n° 1 (2025) (Mérida, México). ISBN 1665-529X.

HIDALGO, Rosabel. "La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud". *Scielo* [En línea]. 2012, 9(8) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 2346-2531. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646>

HUANCA-AROHUANCA, Jesús; et al. "Evaluación y monitoreo de la calidad ambiental del agua en el proyecto sistema de riego Canal N, provincia de Melgar – Puno, Perú." *Revista Ciencia & Desarrollo*, 2020, Vol. 19., n° 26 (2020) (Punu, Perú), ISBN 2617-6033 .

KHOSLA, B.K. "Agricultural Salinity Assessment and Management". *Haryana : Journal of the Indian Society of Soil Science*, Vol. 44., n°2 (1996). ISBN 0019-638X.

LAPEÑA, Miguel Rigola. Tratamiento de aguas industriales : aguas de proceso y residuales [En línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 9-49. [Consulta: 2022-07-01]. Disponible en: https://cercabib.ub.edu/discovery/fulldisplay?vid=34CSUC_UB:VU1&search_scope=MyInstitution&tab=LibraryCatalog&docid=alma991004482269706708&lang=ca&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&query=sub,exact,Centrals%20hidroelèctriques,AND&mode=advanced

LARA, Luis; et al. "Ministerio de agricultura y ganadería servicio nacional de electricidad comisión nacional de riego". *Scielo* [En línea]. 1997, 6(5) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 0001-

LAVIE, Emilie; et al. "Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol. 42., n°1 (2010) (Mendoza, Argentina). pp. 0370-4661.

LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL

LLORET, P. "Problemática de los recursos hídricos en el Ecuador. Sistemas y tendencias en el manejo de Cuencas Hidrográficas". *Revista-UCE* [En línea]. 2018, 3(1) [Consulta: 1 julio 2022].

MANCILLA-VILLA, Oscar; et al. "Calidad del agua subterránea para uso agrícola en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, México". *Terra Latinoamericana*, Vol. 39., n°1. (2021). ISBN 2395-8030.

MARIN GALVIN, Rafael. "Dinámica fisicoquímica de aguas". *Scielo* [En línea]. 2014, 12(13) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 97809969. Disponible en: https://indaga.ual.es/discovery/fulldisplay/alma991001886987204991/34CUBA_UAL:VU1

MARK, Brenner. "Limnología y paleolimnología de peten, Guatemala". *Scielo* [En línea]. 2002, 15(78) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 2311-7648. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj47IyBksP7AhVEZjABHeizBmoQFno>

ECA4QAQ&url=https://docplayer.es/186929622-Limnologia-y-paleolimnologia-de-peten-guatemala.html&usg=AOvVaw28Y34gCIJ96d3VqvOM36-Q

MÁRQUEZ, Fanny; et al. "Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivado bajo sistemas agroforestales en Cusco, Perú". *Scientia Agropecuaria*, Vol. 11., n° 4.(2020) (Trujillo). ISBN 2077-9917.

MARTINEZ, Pablo. "Calidad química del agua para riego en la subcuenca hidrológica del río apulco del estado de Puebla, México". *Scielo* [En línea]. 2017, 1(7) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1212-7878. Disponible en: <https://docplayer.es/195165992-Calidad-quimica-del-agua-para-riego-en-la-subcuenca-hidrologica-del-rio-apulco-del-estado-de-puebla-mexico.html>

MAZA, Johana. Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de fosfato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador. cuenca [En línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2017. p. 19-31. [Consulta: 1 julio 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14968/1/UPS-CT007384.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERU *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. Lima, Peru : Ministerio del Ambiente – MINAM.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA. *Ministerio del*

MUÑOZ, Aurora. "Nitrato en el agua subterránea del valle de Huamantla, Tlaxcala, México". *Redalyc* [En línea]. 2004, 2(2) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 5254-4999. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/370/37020301.pdf>

MUÑOZ, Hipólito; et al. "Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México". *Tecnología y ciencias del agua*, Vol. 6, n° 3. (2015) (Tlaxcala). ISBN 2007-2422.

NIETO, Carlos; et al. "Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana". *SIEMBRA*, Vol. 5., n°1 (2018) (Quito, Ecuador), pp. 2477-8850.

NUÑEZ ROJAS, Ricardo. Las aguas servidas, el nivel freático de la zona y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de la urbanización colinas del sur del cantón Ambato [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Titulación), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2017. pp. 9-49. [Consulta: 2022-07-01]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiZgaKfm8P7AhUQTDABHTpmBEcQFnoECA8QAQ&url=https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/12160&usg=AOvVaw3xIxyaLZHYN_VRL8J7sGDe

OLÍAS, M.; et al. "Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS)". *Geogaceta*, vol.1, n°37(2005). ISBN 0213-683X.

OMUTO, Christian. "Mapeo de suelos afectados por salinidad - Manual técnico". *Scielo* [En línea]. 2021, 2(9) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 2545-5745. Disponible en: <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1396938/>

ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS. *Guía para la Implementación del Convenio sobre el Agua.* New York & Ginebra : ONU. 2015.

ORTIZ, Diego; & SANCHEZ, Jasson. *Caracterización Geomorfológica Y Biofísica De Las Cuencas De Aporte De Las Captaciones De Los Sistemas De Agua Potable De Los Cantones Que Conforman La Mancomunidad Cañari.* Cuenca: Universidad de Cuenca, 2018. ISBN: 0302879218.

ORTÍZ, Jaime. *Riego por gravedad: Colección Ingeniería.* Cali: Programa Editorial UNIVALLE, 2006. ISBN 9789587655049.

OSPINA, Oscar; et al. "Evaluación de la contaminación por aluminio del agua para consumo humano, región central de Colombia". *INGE CUC*, 2021, Vol. 17., n°2 (2021), ISBN 2382-4700.

PÉREZ, Alejandro; et al. "Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU + n)". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 8., n° 1. (2017) (Texcoco) ISSN 2007-0934.

PEREZ, Sonia. "Riesgo de Sodicidad en los suelos de cantón Milagro, Guayas - Ecuador", *Revista Politécnica*, 2019, 42(2). [Consulta: 22 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.33333/rp.vol42n2.899>.

PÉREZ-DÍAZ, José Pedro; et al. "Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma". *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, Vol. 16., n° 16.(2019) ISBN. 2007-901.

PÉREZ-LÓPEZ, Esteban. "Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica". *Revista Tecnología en Marcha*, 2016, Vol. 29., n°3. (2106). pp. 0379-3982.

PINO, Marco; et al. *Determinación de la Calidad del agua del Sistema de riego Chi-Pungales" y su incidencia en la producción de maíz de la comunidad Pungal Santa Marianita del cantón guano.* Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016. ISSN : IAMB.

PONCE, Lizeth. *Estudio exploratorio de la calidad de agua del sistema de riego Chambo – Guano de la provincia de Chimborazo.* Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo , 2019.

PUÑALES, Tania; & AGUILAR, Carmen. *La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan.* s.l. : Revista Científica Agroecosistemas, 2016. pp. 2415-2862.

PUYOL, Jonathan; & RAZO, Alfredo. *Determinación de la calidad de agua del sistema de riego Chi-Pungales" y su incidencia en la producción de maíz de la comunidad Pungal Santa Marianita del cantón guano.* Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016. *Revista Ciencia desde el Occidente*, 2014, Vol. 1., n°2 (2014), ISBN 2007-9575.

RICHARDS, L. A. *Diagnostico y rehabilitación de suelos salino y sódicos .* Distrito Federal de México: Limusa , 1974. ISBN 968180306X.

ROBLEZ, Celerino; & BAUTISTA, Gilberto. "Distrito de riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca. 2. Calidad del agua de riego". *Temas de Ciencia y Tecnología* , 2002, Vol. 6., n° 18, (2002). ISBN 2007-0977.

RODRÍGUEZ AYALA, S.; et al. "Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS)". *Revista Politecnica*, Vol. 49, n° 2 (2022) (Cotopaxi). ISSN: 1390-0129.

RODRÍGUEZ, Fabián; et al. 2013. "Ecuador y los objetivos del milenio : inversiones para la conservación del agua". *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 2013. e-ISSN: 1390-6631.

RODRÍGUEZ, I.; et al. "Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales. Validación del método 3", *Revista Cubana de Química*, 2010, Vol. 22. (2010) (Santiago de Cuba). ISBN 0258-5995.

RODRÍGUEZ, Silvana. *Determinación del Estado Trófico actual de la laguna de Colta mediante la cuantificación de parámetros químicos (fosfatos, nitratos) y transparencia Secchi*. Quito: Universidad Central del Ecuador, 2019. T-UCE-0012-FIG-098.

RODRÍGUEZ, Silvia; et al. 2015. " Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas" *Revista Aerotecnia*, 2015, Vol. 24., n°1, ISBN 0328-4077.

RODRÍGUEZ, Suly; et al. " Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS)". *Revista Politécnica*, 2021, 49(2) (Quito). pp. 2477-8990. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>.

ROLDÁN, Martín; et al. "Correlación entre cationes y aniones presentes en aguas de perforación del departamento de Saladas-Corrientes". *Revista AGROTECNIA*, Vol.1 , n°30 (2020) (Corrientes, Argentina). pp. 2545 - 8906.

SAG. *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego: Informe final*. Santiago de Chile: Servicio Agrícola y Ganadero de Chile; Universidad de Chile: Departamento de Ingeniería Civil - División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, 2005.

SALAZAR MORENO, RAQUEL; et al. "La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada". *Tecnología y Ciencias* [En línea]. 2014, 5(7) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 2077-2422. Disponible en:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&app:cd=&ved=2ahUKEwibtsvMkMP7AhWxtDEKHSVNBboQFnoECBIQAQ&url=http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000200012&usg=AOvVaw3EDrsE-DBAjzpNLCcerhsi

SALAZAR, José Manuel. *Aprovechamiento de recursos y manejo de suelo ecológico. AGAU0108.* Antequera : IC Editorial, 2018. ISBN 8491982612 o 9788491982616.

SANTOS, João Batista; et al. "Crecimiento del girasol (*helianthus annuus l.*) En función de la salinidad del agua de riego con fertilización nitrogenada". *Agrociencia*, Vol. 51., n° 6 (2017), ISBN 2521-9766.

SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA MEXICANA. *Riego Y Drenaje: Número 35 de Manual para educación agropecuaria : área suelos y agua.* México D.F : EUNED, 1985. ISBN 9977649944.

SEVERICHE, Carlos; & GONZÁLEZ, Humberto. "Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado". *Revista Ingenierías USBMed*, Vol. 3., n° 2 (2012) (Cartagena), pp. 2027-5846.

SIGLER, W.; & BAUDER, Jim. *Nitrato y Nitrito.* s.l.: Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales, 2012.

SIMBAÑA, Karina. *Determinación de los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en muestras de agua lluvia, recolectadas en sectores de alta, mediana y baja contaminación ambiental atmosférica del Distrito Metropolitano de Quito.* Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2011.

SIMES, Luis E. *Introducción a la Química General.* Córdoba: Jorge Sarmiento - Universitas Libros , 2012. ISBN 978-987-572-063-3.

SMITHA, Chris; et al. "Potasio and magnesium in irrigation water quality assessment. *Agricultural Water Management*, 2015, Vol. 157, n°6 (2015). ISBN 18732283.

SOLÍS, Y.; et al. “La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de costa rica”. *Scielo* [En línea]. 2017, **31**(21) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 0379-3982. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>

SOSA, Byron; LARREA, Diego. *La tecnificación de la agricultura familiar bajo riego en Ecuador*. Quito : CESA, 2014.

TANJI, Kenneth. "Agricultural Salinity Assessment and Management". *Scientific Publishers*, Vol. 44., n°1 (2012) (India). ISBN 0019-638X.

TARBUCK, Edward; & LUTGENS, Frederick. *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación S. A, 2005. ISBN 978-84-832-2690-2.

TELUR, Geotermia; & Agua, S.A. *Establecimiento de los niveles de referencia, para las sustancias del anexo II parte b de la directiva de aguas subterráneas, en las masas de agua subterráneas de la CAPV*. Madrid: TELUR Geotermia y Agua, S.A., 2018.

THOMAS, May. "pH, aluminio y factores ambientales en suelos bajo bosques de la Cordillera Central, República Dominicana". *Revista Geográfica Venezolana*, 2015, Vol. 56., n° 1 (2015) (Venezuela), pp. 1012-1617.

TIMBE, Luis. “Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río burgay”. *ResearchGate* [En línea]. 2012, **15**(24) [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1235-7777. Disponible en: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/396>

VÁSQUEZ, Tatiana; et al. "Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde" . *Uniciencia*, Vol. 26., n° 1-2. (2012) (Heredia, Costa Rica). ISBN 2215-3470.

ZAMORA, Johel Rodríguez. "Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre". *Revista Pensamiento Actual*, 2009, Vol. 9., n° 12-13, ISBN 2215-3586.

ZAPATTA, Alex; & GASSAPELIN, Pierre. *El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas*. Quito : Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas , 2005.

ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE LAS LAGUNAS DE PISAYAMBO



ANEXO B: FOTOGRAFÍAS DE LAS LAGUNAS DE TAMBOCOCHA





esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: KIARA MISHHELL BUÑAY ASTUDILLO SANTIAGO ANDRÉS CALDERÓN MANZANILLAS
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
Título a optar: INGENIERA/O EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
E. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

2473-DBRA-UPT-2022