



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA USO AGRÍCOLA DEL RÍO CHALLAMAYO, TIQUILLACA-PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOSE MANUEL LOPEZ MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO-PERÚ

2019



DEDICATORIA

Con un infinito cariño esta tesis está dedicado a mis padres Marisol y Lorenzo en especial a mi madre que gracias a su esfuerzo y amor incondicional he logrado culminar la universidad a quien le estaré muy agradecido por el resto de mi existencia.

A mis tíos Adalid Morales y Nilda por el inmenso cariño y quienes supieron brindarme el apoyo moral y material en la culminación de mi carrera profesional con infinito aprecio a mis primos y demás familiares. Así mismo esta oportunidad quiero que perdure en el tiempo, no solo a las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo

Jose Manuel LOPEZ MAMANI



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola, por los conocimientos básicos brindados durante mi formación profesional.

Agradezco a mis jurados calificadores al Dr. Edilberto VELARDE COAQUIRA, Dr. Victoriano Rolando APAZA CAMPOS y al ing. Gina Paola ESPINOZA ALARCON por el apoyo y orientación en el desarrollo de la tesis.

Al Mgr. Roberto ALFARO ALEJO por su apoyo constante como director de tesis, en el presente trabajo.

A los Ingenieros Jorge CANIHUA ROJAS y Selima MAYTA SALCEDO por su apoyo y asesoramiento durante la ejecución de la tesis.

A mis maestros con respeto y admiración por forjar en mí, sus enseñanzas en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano.

Agradezco a mis compañeros de la Facultad de Ingeniería Agrícola y demás universidades, a mis amigos del INIA y AGRORURAL por su apoyo constante y en especial a la institución.

Jose Manuel LOPEZ MAMANI



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN14

ABSTRACT15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA17

1.2. JUSTIFICACIÓN19

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN20

1.3.1. Objetivo general20

1.3.2. Objetivos específicos20

1.4. HIPÓTESIS.....20

1.4.1. Hipótesis general20

1.4.2. Hipótesis específicas21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES22

2.2. MARCO TEÓRICO25

2.2.1. Calidad del agua para riego25

2.2.2 Problemas de calidad del agua27

2.2.3 La agricultura y su influencia en la calidad del agua28

2.2.4 Parámetros de calidad de agua para riego29

2.2.5. Salinidad.....47



2.2.6 Sodicidad en el agua para riego.....	50
2.2.7 La alcalinidad del agua de riego.....	50
2.2.8 La toxicidad química presentes en el agua de riego	51
2.2.9 Indicadores de salinidad y sodicidad en el agua para riego	52
2.2.9.1. La relación de absorción del sodio	52
2.2.9.2 Porcentaje de sodio	54
2.2.9.3 Dureza del agua	55
2.2.9.4 Coeficientes alcalimétrico (índice de Scott).....	56
2.2.9.5 Índices de Eaton o carbonato sódico residual.....	57
2.2.10 Salinidad efectiva.....	58
2.2.11 Índice de calidad del agua	59

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	65
3.1.1. Ubicación geográfica	65
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	67
3.3. UBICACIÓN ADMINISTRATIVA	67
3.4. ASPECTO SOCIO-ECONÓMICO.....	67
3.4.1. Población.....	67
3.4.2. Actividades económicas en la zona de estudio	68
3.5. ACCESIBILIDAD - VÍAS DE ACCESO.....	69
3.6. HIDROGRAFÍA	70
3.6.1. Área del proyecto.....	70
3.6.2. Sistema hidrográfico	71
3.7. CLIMATOLOGÍA.....	71
3.7.1. Análisis de los caudales en la sub cuenca del río Challamayo.....	72
3.7.2. Precipitación.....	72
3.7.3. Generación de caudales con el método Lutz Sholz	73



3.7.4. Caracterización climatológica	74
3.7.5. Temperatura.....	74
3.7.6. Humedad relativa.....	75
3.7.7. Velocidad del viento	76
3.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.8.1. Fase de campo	76
3.8.2. Fase de laboratorio.....	83
3.8.3. Fase de gabinete.....	91

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DEL RÍO CHALLAMAYO .93	
4.2. INTERPRETACION DE RESULTADOS.....93	
4.2.1. Potencial de hidrogeno (pH)	93
4.2.2. Conductividad eléctrica.....	94
4.2.3. Temperatura.....	97
4.2.4. Sodio	98
4.2.5. Potasio.....	99
4.2.6. Calcio	100
4.2.7. Magnesio	101
4.2.8. Carbonatos.....	102
4.2.9. Bicarbonatos	103
4.2.10. Cloruros.....	104
4.2.11. Nitratos.....	105
4.2.12. Sulfatos.....	106
4.2.13. Sólidos totales disueltos	106
4.3. EVALUACIÓN DEL ICA DEL RÍO CHALLAMAYO.....108	



4.3.1. Índice de calidad de los recursos hídricos superficiales (ICA –PE)..	108
4.3.2. Relación de adsorción de sodio	108
4.3.3. Clasificación del agua para riego según Riverside	110
4.3.4. Dureza del agua	115
4.3.5. Carbonato de sodio residual	117
4.3.6. Índice Scott.....	117
4.3.7. Porcentaje de sodio según índice Wilcox	120
4.3.8. Salinidad efectiva.....	122
4.3.9. Comparación entre el río principal Challamayo y el afluente Coltamayo	124
4.4. DISCUSIÓN.....	127
V. CONCLUSIONES.....	131
VI. RECOMENDACIONES.....	132
VII. REFERENCIAS	133
ANEXOS	137
ANEXO A: Fotografías.....	137
ANEXO B: Caudal por el método de Lutz Sholz	140
ANEXO C: Índice de calidad del agua (ICA-PE).....	141
ANEXO D: Certificados de análisis de agua.....	143
ANEXO E: Plano de la sub cuenca Challamayo	151

ÁREA: Ingeniería y Tecnología

LINEA: Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 07 de agosto del 2019



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Determinaciones para evaluar la calidad del agua para riego	26
Tabla 2: Criterios para evaluar la calidad de agua para riego	27
Tabla 3: Iones más comunes en el agua para riego	34
Tabla 4: Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside	54
Tabla 5: Clasificación del agua para riego según Wilcox.....	55
Tabla 6: Clasificación de las aguas de riego según dureza del agua	56
Tabla 7: Tres fórmulas de índice Scott	57
Tabla 8: Clasificación de agua para riego según Scott	57
Tabla 9: Índice Eaton o carbonato de sodio residual	58
Tabla 10: Clasificación de aguas de riego según su salinidad efectiva	59
Tabla 11: Clasificación del índice de la calidad del agua	63
Tabla 12: Recursos para obtener resultados de monitoreo de aguas.	67
Tabla 13: Población total involucrada en la subcuenca del río Challamayo (2017) ..	68
Tabla 14: Distancias entre localidades y accesos a la subcuenca Challamayo	70
Tabla 15: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca Challamayo	71
Tabla 16: Estaciones meteorológica para la zona de estudio	74
Tabla 17: Ubicación de los puntos de muestreo en el río Challamayo.....	78
Tabla 18: Determinación de pH por el método ASTM D1293.NTP339.088	83



Tabla 19: Determinación de la CE por el método del conductímetro	83
Tabla 20: Determinación de calcio + magnesio por el método EDTA.....	84
Tabla 21: Determinación de calcio por el método de EDTA.....	85
Tabla 22: Determinación de carbonatos por el método de ácido sulfúrico a 0.01 N..	86
Tabla 23: Determinación de bicarbonatos por el método ácido sulfúrico a 0.01N	87
Tabla 24: Determinación de nitratos por el método de Kjeldahl.....	87
Tabla 25: Determinación de sulfatos por el método de ASTD 516; NTP339.088.....	88
Tabla 26: Determinación de cloruros por el método de ASTD D512	89
Tabla 27: Determinación de sodio por el método de fotometría de llama.....	90
Tabla 28: Determinación de potasio por el método de fotometría de llama	90
Tabla 29: Promedio de los 04 monitoreos del río Challamayo, Tiquillaca - 2019.....	93
Tabla 30. Resumen del índice de la calidad del agua del río Challamayo.....	108
Tabla 31: Prueba ANOVA de los puntos de muestreo del río Challamayo.....	127
Tabla 32. Precipitación media anual del río Challamayo	140
Tabla 33. Generación de caudales por el método de Lutz Sholz	140



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomograma propuesto por el laboratorio de salinidad de Riverside.....	54
Figura 2. Ubicación geográfica de la subcuenca Challamayo.....	66
Figura 3. Análisis de Doble Masa de precipitaciones pluviales.....	72
Figura 4. Precipitación medio mensual del río Challamayo	73
Figura 5. Caudal medio mensual del río Challamayo.....	73
Figura 6. Caudal anual del río Challamayo 1963-2018	74
Figura 7. Temperatura media mensual.....	75
Figura 8. Humedad media relativa.....	75
Figura 9. Velocidad media del viento	76
Figura 10. Ubicación hidrografica de la subcuenca del río Challamayo	79
Figura 11. Esquema hidráulico del río Challamayo	80
Figura 12. Parámetro pH del agua del río Challamayo y su afluente Coltamayo	94
Figura 13. Conductividad eléctrica del río Challamayo y afluente Coltamayo	95
Figura 14. Comportamiento de la CE con relación a la precipitación.....	96
Figura 15. Comportamiento de CE con relación a la temperatura	96
Figura 16. Temperatura en °C del río Challamayo.....	97
Figura 17. Temperatura en función de la hora	98



Figura 18. Contenido de sodio en el río Challamayo y afluente Coltamayo	99
Figura 19. Contenido de potasio en el río Challamayo y afluente Coltamayo.....	100
Figura 20. Contenido de calcio en el río Challamayo y afluente Coltamayo	101
Figura 21. Contenido de magnesio en el río Challamayo y afluente Coltamayo	102
Figura 22. Contenido de carbonatos en el río Challamayo y afluente Coltamayo ..	103
Figura 23. Contenido de bicarbonatos en el río Challamayo y afluente Coltamayo	103
Figura 24. Contenido de cloruros en el río Challamayo y afluente Coltamayo	104
Figura 25. Contenido de nitratos en el río Challamayo y afluente Coltamayo	105
Figura 26. Contenido de sulfatos en el río Challamayo y afluente Coltamayo.....	106
Figura 27. Solidos totales disueltos del río Challamayo y afluente Coltamayo.....	107
Figura 28. Solidos totales disueltos con relación a la CE en el río Challamayo	107
Figura 29. Relación de adsorción de sodio del río Challamayo y afluente Coltamayo	109
Figura 30. Relación del sodio con respecto al calcio y magnesio del río Challamayo	109
Figura 31. Clasificación del agua según Riverside de los 4 meses de monitoreo	114
Figura 32. Relación de adsorción de sodio respecto a CE	114
Figura 33. Dureza del agua del río Challamayo y afluente Coltamayo	116
Figura 34. Carbonato de sodio residual del río Challamayo	117



Figura 35. Clasificación del agua del río Challamayo según Índice Scott	119
Figura 36. Clasificación del agua según Wilcox	121
Figura 37. Salinidad efectiva del río Challamayo	124
Figura 38. Calidad del agua en los puntos de muestreo del río Challamayo	124
Figura 39. Calidad del agua del afluente Coltamayo.....	125
Figura 40. Comparativo de la sanidad efectiva del afluente Coltamayo y el río principal Challamayo.....	126
Figura 41. Primera evaluación del río Challamayo según el ICA-PE	141
Figura 42. Segunda evaluación del río Challamayo según el ICA-PE	141
Figura 43. Tercera evaluación del río Challamayo según el ICA-PE.....	142
Figura 44. Cuarta evaluación del río Challamayo según el ICA-P	142



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANA:	Autoridad Nacional del Agua
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
TDS:	Sólidos Totales Disueltos
RAS:	Relación de Adsorción de Sodio
ICA-PE:	Índice de calidad de agua en el Perú
ICA:	Índice de Calidad del Agua
MINAM:	Ministerio Nacional del Ambiente
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria
MINAGRI:	Ministerio Nacional de Agricultura y Riego
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
EDTA:	Ácido etilendiaminotetraacético
CSR:	Carbonato de Sodio Residual
TDPS:	Sistema endorreico Titicaca - Desaguadero - Poopó - Salar de Coipasa



RESUMEN

El río Challamayo del distrito de Tiquillaca ubicado en la región Puno, muestra problemas de salinidad en sus aguas, afectando la estructura de los suelos, en determinadas zonas ubicadas a lo largo del río; los objetivos fueron: a) Evaluar los parámetros de pH y CE del agua, para luego comparar con los Estándares de Calidad Ambiental para aguas con fines de uso agrícola y b) evaluar las concentraciones de cationes (Na^+ , Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) y aniones (Cl^- , NO_3^- , SO_4^- , CO_3^- , CO_3H^-) que presenta el agua, e indicar si es apto para el uso agrícola, también c) valorar el índice de calidad del agua y su clasificación para el uso agrícola; los procedimientos y criterios técnicos de obtención de muestras, se realizó según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, se consideró 10 puntos muestreo durante los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2019. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Experimental Agraria Illpa-Puno. Luego el procesamiento de datos así como la evaluación de resultados se realizó según los Estándares de Calidad Ambiental para aguas e indicadores de salinidad y sodicidad para aguas de riego, establecidos por la FAO; los resultados fueron: las aguas son alcalinas en enero, febrero y marzo. La CE es alta para el primer monitoreo solo en tres puntos de muestreo; asimismo, los cationes K^+ , Na^+ así como los aniones CO_3^- y Cl^- sobrepasan el rango establecido por la FAO principalmente en el afluente Coltamayo; finalmente, al evaluar los datos en conjunto, el índice de calidad de agua del afluente Coltamayo según el ICA-PE es de regular a favorable y según Riverside presenta mayor concentración de sodio. Sin embargo, el ICA-PE para el riego del río Challamayo es de excelente a mala, por lo tanto, su uso obedece a ciertas restricciones en el riego.

Palabras clave: Calidad del agua, evaluación, río Challamayo, uso agrícola



ABSTRACT

The Challamayo river of the Tiquillaca district located in the Puno region, shows salinity problems in its waters, affecting the structure of the soils, in certain areas located along the river; The objectives were: a) Evaluate the pH and EC parameters of the water, to later compare with the Environmental Quality Standards for water for agricultural use and b) Evaluate the concentrations of cations (Na^+ , Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) and anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^- , CO_3^- , CO_3H^-) presented by the water, and indicate if it is suitable for agricultural use, also c) assess the water quality index and its classification for agricultural use; The procedures and technical criteria for obtaining samples, was carried out according to the national protocol for monitoring the quality of surface water resources, 10 sampling points were considered during the months of January, February, March and April 2019. The analyzes were carried out at the Illpa-Puno Agricultural Experimental Laboratory. Then the data processing as well as the evaluation of the results was carried out according to the Environmental Quality Standards for waters and indicators of salinity and sodicity for irrigation waters, established by FAO; the results were: the waters are alkaline in January, February and March. The EC is high for the first monitoring only at three sampling points; likewise, the cations K^+ , Na^+ as well as the anions CO_3^- and Cl^- exceed the range established by FAO mainly in the Coltamayo tributary; Finally, when evaluating the data as a whole, the water quality index of the Coltamayo tributary according to the ICA-PE is from fair to favorable and according to Riverside it has a higher concentration of sodium. However, the ICA-PE for the irrigation of the Challamayo River is from excellent to poor, therefore, its use obeys certain restrictions on irrigation.

Keywords: Water quality, evaluation, Challamayo river, agricultural use



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en evaluar la calidad de agua para uso agrícola, que está determinada por la composición y concentración de los diferentes elementos que pueda tener, ya sea en solución o en suspensión. La calidad del agua de riego determina el tipo de cultivo a sembrar y el tipo de manejo que debe dársele al suelo. En la práctica, el clima, las condiciones físicas de los suelos, la mineralogía de las arcillas, el tipo de agricultura predominante, el cultivo a sembrar y las características particulares de cada caso, son los parámetros que van a determinar, en qué forma la acumulación de sales puede restringir la producción de los cultivos. Por estas razones, se considera que los criterios a usar para clasificar el agua para riego no son rígidos y se deben basar en las condiciones propias de cada caso.

En la agricultura de regadío la calidad del agua, es un factor a considerar, para la obtención de altos rendimientos agrícolas, además adquiere cada día más actualidad e importancia, debido a la limitación de recursos hídricos. Es por ello, que la evaluación de la calidad de agua para uso agrícola, se basa en tres aspectos generales; como la concentración de sales, la presencia de iones tóxicos que producen interacciones que dificultan la absorción de otros y la presencia de algunos iones que producen modificaciones en las propiedades físicas del suelo, como es el caso del sodio que provoca alteraciones en la estructura del suelo y la permeabilidad, por lo tanto, los cultivos tienen dificultades para desarrollar correctamente su proceso vegetativo, a consecuencia del efecto osmótico. La relación de adsorción de sodio es la principal herramienta usada para evaluar el riesgo de sodicidad en el agua para riego. La tesis se realizó durante los meses de enero, febrero, marzo y abril de este modo comprendió tres fases importantes; la



primera fue, la fase de campo, con la obtención de muestras en 10 puntos de muestreo, cada uno con tres repeticiones. De los múltiples parámetros que se pueden tomar para la evaluación de la calidad del agua con fines agrícolas, ésta tesis evaluó: la conductividad eléctrica, pH, contenido de cationes (calcio, magnesio, potasio, sodio), aniones (cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos), así mismo, el procedimiento de obtención de muestras se realizó según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales establecido por la Autoridad Nacional del Agua. La segunda fase corresponde a la fase de laboratorio, que consistió en la obtención de resultados en el laboratorio de análisis de aguas y suelos de la estación experimental agraria Illpa-Puno; finalmente se efectuó la fase de gabinete, que consistió en el procesamiento de datos, introduciendo los resultados en cuadros de Excel para comparar con los ECA para aguas, a partir de estos parámetros se obtuvo el ICA del río Challamayo; también, se ha evaluado la calidad del agua según la FAO, la relación de adsorción de sodio, dureza del agua, clasificación Wilcox, salinidad efectiva, carbonato de sodio residual e índice Scott. Con todos los resultados obtenidos se logró una evaluación objetiva y verídica sobre el nivel de la calidad del agua para uso agrícola del río Challamayo en nuestra región.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en los centros poblados de Chusamarca, Vercuyo, Chacapata Umalso, Salinas Chico, San Antonio y Cacachupa, ubicados a lo largo del río Challamayo, la actividad agrícola es limitada, debido a la influencia que tiene la calidad del agua en el suelo, viéndose afectados considerables extensiones de suelos improductivos. Hasta el momento el agua del río Challamayo se encuentra en parte considerado óptimo para su uso en la agricultura, debido a que presenta parámetros muy elevados de Na^+ , CE, pH y K^+ , asimismo, en las épocas de máximas avenidas el río se



desborda, inundando gran parte de las zonas próximas al cauce, consecuentemente los suelos se encuentran degradados en parte por el contenido de sales principalmente de sodio, por lo que se altera la estructura del suelo lo cual conlleva a la improductividad y bajo rendimiento del cultivo en estas zonas.

En esta subcuenca las precipitaciones pluviales son de 731.33 mm/año y los incrementos del caudal máximo son momentáneos después de una precipitación pluvial, sin embargo, con el tema del cambio climático en la actualidad las precipitaciones pluviales han variado e incluso se han retrasado. Complementariamente a este problema se anexa el impacto negativo, cuando las aguas del río Challamayo con altas concentraciones de sales convergen en la laguna Umayo y estas a través del río Illpa desembocan en el lago Titicaca máxima fuente de aprovechamiento hídrico en el anillo circunlacustre de nuestra región. Por lo tanto, en las recomendaciones de esta investigación proponemos alternativas productivas y de aprovechamiento de estos suelos para el manejo que se debería aplicar. A raíz de este problema surge la importancia de realizar la investigación que me permitirá responder la siguiente interrogante:

Pregunta de investigación general

- ¿Cuál es la situación actual de la calidad del agua para uso agrícola del río Challamayo en el distrito de Tiquillaca – Puno?

Pregunta de investigación específico

- ¿Cuál es el nivel de pH y CE del agua con fines de uso agrícola del río Challamayo?
- ¿Qué concentraciones de cationes y aniones presenta el agua del río Challamayo?
- ¿Cuál es el índice de calidad y como se clasifica el río Challamayo para el uso agrícola?



1.2. JUSTIFICACIÓN

Para la actividad agrícola es fundamental la calidad del agua, suelo, atmosfera y planta, para garantizar un rendimiento óptimo, en donde no se produzca efectos perjudiciales en la estructura del suelo tampoco en las funciones de la planta. Por lo tanto, fue indispensable realizar, una evaluación de la calidad de agua para uso agrícola en el río Challamayo, Tiquillaca-Puno, porque nos permitirá tomar medidas preventivas, respecto a las problemáticas que se encuentran en las aguas del río, como salinidad, sodicidad y toxicidad que afectan a la agricultura a lo largo del río Challamayo, para luego plantear alternativas de producción acorde a la realidad, cultivos tolerantes a altas concentraciones de sales y manejo de suelos en la zona de estudio. Este estudio consistió en realizar una evaluación detallada de la evolución en el espacio y en el tiempo del río Challamayo, mediante una evaluación físico-químico, que sirvieron para conocer el índice de calidad del agua y dar una evaluación de las aguas, a partir de la dureza del agua, relación de adsorción de sodio, índice Scott, carbonato de sodio residual, índice Wilcox y salinidad efectiva del río, desde sus nacientes hasta su desembocadura en la laguna Umayo una de las fuentes de recarga hídrica de la cuenca del Titicaca, considerando puntos estratégicos de muestreo, en sectores con presencia de sales. Con la finalidad de proporcionar información a las instituciones pertinentes, a sus autoridades y a la población que habita en los sectores cercanos a lo largo del río, para que se tomen decisiones en favor de la producción agropecuaria y conservación del recurso hídrico.



1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad del agua y comparar con los estándares de calidad ambiental para agua categoría tres, para demostrar si es apto para el uso agrícola, en la subcuenca del río Challamayo, Tiquillaca Puno.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros de pH y CE del agua, para luego comparar con los Estándares de Calidad Ambiental, con fines de uso agrícola del río Challamayo.
- Evaluar las concentraciones de cationes (Na^+ , Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) y aniones (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , CO_3H^-) que presenta el agua del río Challamayo, e indicar si es apto para el uso agrícola.
- Valorar el índice de calidad del agua y su clasificación del río Challamayo, para el uso agrícola.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

- La calidad del agua en todos los puntos de monitoreo del río Challamayo, son aptas para el uso agrícola, de tal manera que se elevará la producción y productividad agraria.



1.4.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros de pH y CE del agua en el río Challamayo están por debajo de los estándares de calidad ambiental de aguas para el riego por lo tanto, son aptos para su uso en la agricultura
- Las concentraciones de cationes y aniones en las aguas del río Challamayo son aptos para el uso agrícola.
- El índice de calidad del agua para el riego en el río Challamayo es buena, y permitido para ser utilizado en la agricultura.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

En Eslovaquia se realizó una investigación sobre calidad del agua requerida para el riego, en donde se determinó que el agua de riego puede causar daños a cultivos irrigados, humanos y salud de los animales. Por lo tanto, es importante controlar regularmente el agua de riego. Existe una tradición a largo plazo de monitoreo de la calidad del agua de riego en Eslovaquia. Un número de estaciones de monitoreo varió durante años desde más de 11 a 200 en los últimos años. El monitoreo del agua de riego ayuda a aumentar la calidad de la producción agrícola, reducción del riesgo de bacterias, respectivamente, y en la reducción de la infección por virus de humanos y animales (Kaletová & Jurík, 2018).

En Cuba se realizó la investigación sobre calidad del agua con fines de riego en la cual se manifiesta que la calidad de las aguas es uno de los elementos estudiados cuando se valora la sostenibilidad de las cuencas. El objetivo de este artículo es valorar los diferentes métodos que se utilizan para determinar la calidad del agua con fines de riego. Para el estudio la calidad se definió en base a los criterios de la FAO y otros indicadores específicos para el riego. Las aguas de las fuentes subterráneas son no aptas para el riego de los cultivos agrícolas y las superficiales tienen restricciones ligeras a moderadas. Existe peligro de alcalinización de los suelos producto de las concentraciones de bicarbonato en las aguas. Por otra parte, el sodio de las aguas puede pasar a la solución del suelo y sustituir al calcio y el magnesio causando la degradación de los suelos (Balmaseda & García, 2013).

En México en la ciudad de Mérida se investigó sobre la calidad del agua para riego en la cual se definió que el uso del agua para la agricultura protegida, está íntimamente



relacionada con el concepto de fertirrigación, a través del parámetro de calidad, que engloba concentración de sales disueltas, presencia relativa de sodio, contenido de carbonatos y bicarbonatos (que condicionan el pH), concentración de cloro, boro, hierro y manganeso; y nutrimentos como calcio, magnesio y sulfatos que determinan el balance final en la aplicación de fertilizantes. Este trabajo consideró la disponibilidad y calidad del agua subterránea para el riego; Se realizó un muestreo tomando agua de 26 puntos de muestreo. Con respecto a los parámetros evaluados se encontró que todas las aguas cumplen con el parámetro de CE, ya que los valores son menores a 0.7 dS/m, mientras que sólo las muestras de 7 pozos cumplen con el parámetro de pH. Paralelamente los niveles de sodio y cloruros no representan restricción alguna para el uso del agua en el riego y en el caso de bicarbonatos las aguas presentan una restricción moderada (Gómez & Muñoz, 2015).

Bocanegra (2015), estudio sobre la calidad de agua para uso agrícola y conservación de recursos en la cuenca baja del río Moche, julio - diciembre 2014 - La Libertad, orientado a evaluar la calidad mediante parámetros fisicoquímicos en cada una de las cuatro estaciones desde julio a octubre del 2014. Los parámetros temperatura ambiental, temperatura del agua fueron analizados in situ, los demás parámetros fueron transportados al laboratorio para su posterior análisis. Los datos resultantes del análisis fueron contrastados con los ECA para agua, categoría 3. En la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, se reportó que la calidad del agua de la cuenca baja del río Moche, son aguas aptas para uso agrícola, y debido a que ninguno de los valores sobrepasa los estándares mencionados. En relación a la clasificación de aguas para uso agrícola, se obtuvo que esta pertenece a la clase de tipo C3-S1; baja en sodicidad y media en salinidad, se concluyó que las aguas de las estaciones monitoreadas son aptas para uso agrícola y para la conservación de recursos de la zona.



En la subcuenca del río Salado de la cuenca Apurímac, Marín (2015) ha realizado la evaluación de la calidad de agua para fines de riego. Los parámetros analizados fueron el pH temperatura, color, olor, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, nitratos y cloruros en 14 puntos. Los estudios se realizaron con muestreo al azar, cuyos resultados muestran que tienen altos contenidos de contaminantes. Los resultados de laboratorio muestran que sus aguas son ligeramente alcalinas con pH que fluctúan entre (6.53 a 9.34), el 8.33% están fuera del ECA

Asimismo, la CE corresponde a aguas de mediana a alta mineralización, del mismo modo, para uso agrícola varían desde C1-S1 en la parte alta de la subcuenca a C1-S3, por lo tanto, no es apta en todos los punto de muestreo. Por ello el río Salado están siendo altamente contaminados y no es óptimo para el consumo humano, ni mucho menos para los seres vivos, pero se puede usar para actividad agrícola, el estudio sugiere se sigan realizándose los estudios sobre cómo viene afectando a los pobladores de esta zona al consumir dichas aguas y como una de las alternativas se puede usar para fines de riego.

En Bangladesh se realizó la evaluación del riesgo de salinidad de la calidad del agua de riego y estrategias de adaptación. Con 23 muestras de agua de aguas superficiales y de pozos poco profundos, se analizaron las propiedades fisicoquímicas para clasificarlos según el riesgo de salinidad. La CE de las aguas superficies y subterránea fueron ligeramente superiores a las del límite aceptable ($<700 \mu\text{S}/\text{cm}$). Los cationes se encontraban en el límite permitido en las aguas superficiales y subterráneas, mientras que los aniones en aguas superficiales como subterráneas mostraron que los Cl^- , $\text{SO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-}$. Del mismo modo, la CE y TDS mostraron una alta correlación positiva con respecto al Na^+ , K^+ y Ca^{++} con Cl^- como se confirmó a partir de matriz de correlación y principal análisis de componentes. La mayoría de las muestras de agua en comparación con la



superficie el agua tenía valores más altos de porcentaje de sodio soluble, mientras que la relación de absorción de sodio indica las aguas superficiales y subterránea son de bajo riesgo de sodio. La proporción de agua y el índice de Kelly está más sujeta al riesgo de sodio en comparación con el agua en la superficie del área de estudio (Shammi et al., 2016).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Calidad del agua para riego

Kaletová & Jurík (2018), ponen de manifiesto que el método de evaluación de la calidad del agua, en resumen, se centra en los parámetros esenciales y criterios para una evaluación más o menos práctica de la química, la física y la calidad biológica del agua para riego con técnicas presurizadas. Los parámetros químicos, generan peligros de salinidad y/o toxicidad para el suelo, las plantas y el sistema de riego tal como es la corrosión de la tubería. Los parámetros físicos generan problemas de bloqueo del emisor a partir de partículas sólidas suspendidas como arena, partículas de arcilla y otro contenido de impurezas u orgánico (algas, plancton, insectos, caracoles, etc.). Los parámetros biológicos generan problemas de bacterias y otros contenidos, nocivos para los humanos y la salud animal, así como para el suelo, las plantas y los sistemas de riego. Los parámetros para la evaluación de posibles precipitaciones de sales, inducción de salinidad y la sodicidad debida a las prácticas de riego se utilizan para clasificar el agua para el riego. La salinidad y la sodicidad del suelo con el riesgo de toxicidad no están disponibles.

La calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como doméstico, riego, recreación e industrias. La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua

que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario. Mayol, Costa, Cabria, & Aparicio (2012), nos dicen que la calidad del agua para el riego es de gran importancia por razones de seguridad, debido a su potencial efecto sobre la salud humana y de los ecosistemas en general. Para interpretar la calidad de agua para riego, se utilizan una serie de parámetros como conductividad eléctrica o sales totales, relación de adsorción de sodio, aniones y cationes presentes, necesarios para reconocer cuál es la sal dominante en el agua evaluada. En la tabla 1 se muestran las determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar la calidad de la agua para riego.

Tabla 1: Determinaciones para evaluar la calidad del agua para riego

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango Usual
Cationes y aniones			
Calcio		cmol ₍₊₎ /L	0 – 20
Magnesio	Ca^{++}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 5
Sodio	Mg^{++}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 40
Potasio	Na^{+}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 0.2
Carbonatos	K^{+}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 0.1
Bicarbonatos	CO_3^{2-}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 10
Cloruros	CO_3H^{-}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 30
Sulfatos	Cl^{-}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 20
Nitratos	SO_4^{2-}	cmol ₍₊₎ /L	0 – 5
Misceláneos			
Boro			
Potencial de hidrogeno	B		0 – 20
Relación de adsorción de sodio	pH		6.5 -8.5
	RAS		0 – 15

Fuente: Ayers & Westcot (1985)

Betancourt (2016), menciona que la calidad del agua está determinada por la composición y concentración de los diferentes elementos que pueda tener ya sea en solución o en suspensión. La calidad del agua de riego determina el tipo de cultivo a sembrar y el tipo de manejo que debe dársele al suelo. La calidad del agua de riego

afecta de forma muy relevante a la estabilidad estructural del suelo y a su capacidad para transmitir el agua y el aire, así como a las plantas cultivadas. Constituye una variable a controlar en la agricultura de regadío, tanto a nivel fuente como a nivel sumidero (retornos de riego y su impacto externo sobre la calidad de los sistemas receptores), Álvaro (2012), presenta una serie de criterios, sobre los efectos de las sales sobre las plantas y los efectos del sodio sobre las propiedades físicas del suelo, en la tabla 2 se presentan dichos criterios.

Tabla 2: Criterios para evaluar la calidad de agua para riego

Problema potencial	unidades	ninguno	Grado de restricción en el uso	
			Ligero moderado	severo
Salinidad				
CE	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
TSD	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración				
RAS = 0 - 3 y CE		> 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
Toxicidad de iones específicos				
Sodio (Na⁺)				
Riego superficial	RAS	< 3.0	3.1 - 9.0	>9.0
Riego por aspersión	cmol ₍₊₎ /L	< 3.0	> 3.0	
Cloruros (Cl⁻)				
Riego superficial	cmol ₍₊₎ /L	< 4.0	4.0 - 10	> 10
Riego por aspersión	cmol ₍₊₎ /L	< 3.0	> 3.0	
Boro (B)	cmol ₍₊₎ /L	< 0.7	0.7 - 0.3	> 3.0
Elementos traza				
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	< 5	5.0 - 30	> 30
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mg/L	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH			Rango Normal 6.5 - 8.4	

Fuente: Ayers y Westcot (1985)

2.2.2 Problemas de calidad del agua

Kaletová & Jurík, (2018), nos dicen que el agua utilizada para el riego puede variar mucho en calidad dependiendo del tipo y la cantidad de sales disueltas. Las sales están presentes en el agua de riego en cantidades relativamente pequeñas pero



significativas. Se originan a partir de la disolución o el desgaste de las rocas y el suelo, incluida la disolución de cal, yeso y otros minerales del suelo que se disuelven lentamente. Estas sales se llevan con el agua a donde sea que se use. En el caso del riego, las sales se aplican con el agua y permanecen en el suelo a medida que el agua se evapora o es utilizada por el cultivo.

La idoneidad de un agua para riego se determina no solo por la cantidad total de sal presente, sino también por el tipo de sal. Se desarrollan varios problemas de suelo y cultivo a medida que aumenta el contenido total de sal, y pueden requerirse prácticas de manejo especiales para mantener rendimientos aceptables de cultivos. La calidad del agua o la idoneidad para el uso se juzga en función de la gravedad potencial de los problemas que se puede esperar que se desarrollen durante el uso a largo plazo.

Los problemas que resultan varían tanto en clase como en grado, y son modificados por el suelo, el clima y los cultivos, así como por la habilidad y el conocimiento del usuario del agua. Como resultado, no hay un límite establecido en la calidad del agua; más bien, su idoneidad para el uso está determinada por las condiciones de uso que afectan la acumulación de los constituyentes del agua y que pueden restringir el rendimiento del cultivo. Los problemas del suelo más comúnmente encontrados y utilizados como base para evaluar la calidad del agua son aquellos relacionados con la salinidad, la tasa de infiltración del agua, la toxicidad y un grupo de otros problemas diversos.

2.2.3 La agricultura y su influencia en la calidad del agua

Prieto (1993), señala que la agricultura constituye una de las actividades más practicadas en el mundo, particularmente en áreas rurales. Su impacto sobre la



calidad del agua es de mucha importancia. Aproximadamente el 70% de los recursos hídricos del mundo son usados por la agricultura, lo cual significa el principal factor de la degradación de éstos, como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química. La agricultura no es solamente el mayor consumidor de los recursos hídricos, sino que debido a las ineficiencias en su distribución y aplicación sus efluentes que retornan a los recursos de aguas superficiales o subterráneas contienen grandes cantidades de sales, nutrientes, productos agroquímicos que también contribuyen al deterioro de su calidad. En la mayor parte de los países latinoamericanos, uno de los problemas más fuerte es la contaminación derivada de las fuentes no puntuales, como es el caso de la agricultura, dada por el uso de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas y residuos que son arrastrados por las lluvias a las fuentes de agua

La contaminación de aguas superficiales está íntimamente relacionada con el proceso de pérdida de suelos, por el arrastre de sedimentos debido a la agricultura. Ésta posee dos dimensiones principales: la dimensión física, consistente en la pérdida de la capa arable del suelo, y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y cárcavas que provocan los altos niveles de turbidez. De igual manera, al usar estiércol de ganado como abono en la agricultura, una porción significativa de amonio puede ser transportada a los cuerpos de agua por escorrentías de los campos agrícolas.

2.2.4 Parámetros de calidad de agua para riego

2.2.4.1 Potencial de hidrogeno (pH)

Tevez (2016), señala que el pH del agua indica el comportamiento ácido o básico de la misma, tiene influencia sobre determinados procesos químicos y



biológicos, es de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática, ya sea generando daño en los peces o proliferando el crecimiento de algas. El pH también influye en la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, etc. El valor de pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, esto se refiere a la disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua y la disolución de carbonatos de las rocas; tales procesos alteran drásticamente el pH de cualquier agua. Así mismo, la actividad fotosintética reduce el contenido de dióxido de carbono mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce dióxido de carbono causando un efecto contrario con respecto al pH del medio acuático. Por otro lado, el aporte de ácidos que naturalmente pueden acceder a un medio hídrico lo podría acidificar; por ejemplo, el H_2S formado en aguas poco oxigenadas y con fuerte ambiente reductor, o los ácidos húmicos (ácidos débiles) provenientes de la mineralización de la materia orgánica; tampoco debe olvidarse el fenómeno de la lluvia ácida. Efectos de alcalinización natural del agua, de forma opuesta, pueden detectarse vía disolución de rocas y minerales de metales alcalinos y alcalinotérreos del terreno drenado por el agua.

Romero (2000), nos indica que es la medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua, expresado como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrogeno. Aguas residuales en concentración adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de los hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder bacteriano del cloro es mayor, por que predomina



el col; a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH), la cual es toxica, pero también removible mediante arrastre con aire, especialmente a pH de 10.5 a 11.5. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6.5 a 8.5. Para descargas de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6.0 a 9.0 para procesos biológicos de nitrificación se recomienda valores de pH de 7.2 a 9.0 y para desnitrificación de 6.5 a 8.5.

Un agua neutra contiene igual peso de iones hidroxilo (HO^-) que de hidrogeno (H^+). Mediante cuidadosas mediciones se pudo establecer que en un litro de agua neutra existen 1/107 gramos de cada tipo de ion. Esto significa que existe una molécula de agua disociada en sus iones componentes (H^+ y HO^-) cada diez millones de moléculas de agua. En la relación logarítmica entre 1/102 y 1/103 (pH_2 y pH_3 respectivamente) pH_2 representa una concentración de un centésimo (1/102) y pH_3 representa una concentración de una milésimo 1/1000 (o sea 10 veces menor). Esta escala llevada a un pH muy extremo convertirá el agua en un medio corrosivo (con extrema acida) o cáustico (con extrema alcalinidad).

El potencial hidrogeno como el logarítmico negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno esto es:

$$pH = -\log(H^+)$$

Desde entonces, el termino pH ha sido universalmente utilizado por la facilidad de su uso, evitando así el manejo de cifras largas y complejas. Por ejemplo, una concentración de $[H^+] = 1 * 10^{-8M}$ (.0.00000001) es equivalente a un pH de 8 ya que:



$$pH = -\log(10^{-8}) = 8$$

2.2.4.2 Temperatura

Romero (2000), afirma que es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles. La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas

Características:

- El oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.
- El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción de oxígeno presente en las aguas superficiales.
- Un cambio brusco de temperatura puede conducir a un aumento en la mortalidad de la vida acuática.
- Las temperaturas elevadas pueden dar lugar a un aumento en la mortalidad de la vida acuática.
- La temperatura óptima para el desarrollo de las actividades se detienen cuando se alcanza los 50°C a temperaturas de alrededor de 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad.



La temperatura es una de las constantes físicas que tienen más importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se realizan en el seno del agua, y determina la evolución o tendencia de sus propiedades, ya sean físicas, químicas o biológicas. La temperatura desempeña un papel muy importante en la solubilidad de las sales y principalmente de los gases, por lo tanto, también en la conductividad y en la determinación del pH, sobre todo. Un incremento de más de 3 °C en una zona respecto de las adyacentes, sería síntoma de que se está produciendo una contaminación térmica, es decir, se está produciendo un vertido de aguas más calientes que las del medio receptor (Marín, 2015).

2.2.4.3 Conductividad Eléctrica.

Romero (2000), define que la conductividad eléctrica del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar la corriente eléctrica así mismo, hace referencia a la capacidad del agua para conducir la electricidad debido a la presencia de sales disueltas que puede contener; su concentración se puede alterar por la presencia de vertidos salinos que limitan su uso para fines de riego. Según Tevez (2016), la conductividad eléctrica en un cuerpo de agua se ve afectada por la presencia de sólidos inorgánicos disueltos, tales como aniones cloruro, nitrato, sulfato y fosfato o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro, y aluminio, mientras que los compuestos orgánicos tienen una baja conductividad eléctrica. La conductividad también se ve afectada por la temperatura, cuanto mayor es la temperatura del agua mayor es la conductividad eléctrica; por esta razón, la conductividad se reporta como conductividad a 25°C.

La conductividad eléctrica del agua es una medida indirecta de la concentración de sales de una solución, basada en el hecho de que, si bien el agua pura es mala conductora de la electricidad a las sales les sucede lo contrario. La



conductividad eléctrica es proporcional al contenido total de sales disueltas en el agua. La unidad de conductividad más usada en análisis de aguas era el mmho/cm (milimho por centímetro); sin embargo, por acuerdo general pasó a denominarse Siemens (S) en el sistema internacional de unidades de medida. La equivalencia entre ambas es $1\text{mmho/cm} = 1\text{dS/m}$ (un milimho por centímetro equivale a un deciSiemens por metro).

Los análisis de aguas proporcionan el contenido o concentración de cada ion en las muestras de agua que llevamos a analizar. Pero un obstáculo para la correcta interpretación de los análisis de aguas está en que los laboratorios frecuentemente proporcionan las medidas en diferentes unidades. La concentración de iones puede darse en los análisis en varias unidades. La relación entre partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/L) y gramos por litro (g/L) es sencilla:

- $1\text{ ppm} = 1\text{ mg/L} = 0.001\text{ g/L}$
- $1\text{ mg/L} = 0.00156\text{ dS/m}$
- $1\text{ g/L} = 1.56\text{ dS/m}$

En cuanto a miliequivalentes por litro (meq/L) se recuerda que se determinan dividiendo los mg/L entre el peso equivalente del ion correspondiente, en la tabla 3 se muestra el valor de los pesos equivalentes de los cationes y aniones más comunes en el agua para riego.

- $\text{meq/L} = \text{mg/L (ppm)}/\text{Peq}$

Tabla 3: Iones más comunes en el agua para riego

Cationes	Aniones
----------	---------



Nombre y símbolo	P eq	Nombre y símbolo	P eq
Calcio (Ca^{2+})	20.0	Cloruros (Cl^{-})	35.5
Sodio (Na^{+})	23.0	Sulfatos (SO_4^{2-})	48.0
Magnesio (Mg^{2+})	12.2	Carbonatos (CO_3^{2-})	61.0
Potasio (K^{+})	39.1	Bicarbonatos (CO_3H^{-})	30.0
Boro (B^{3+})	3.5	Nitratos (NO_3)	62.0

Fuente: Betancourt (2016)

Según Romero (2000), señala que depende de la actividad de los tipos de iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición. De la conductividad eléctrica, que indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro Siemens/L ($\mu S/L$). A partir de la conductividad se puede obtener los sólidos disueltos multiplicando por un factor entre 0.55 y 0.75.

Este factor puede ser determinado para cada cuerpo de agua, pero permanece aproximadamente constante, según las proporciones iónicas en el cuerpo de agua y si éstas permanecen estables.

Características:

- Las soluciones de la mayoría de ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados.



- Las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula.
- La conductividad eléctrica de un agua se utiliza como una medida indirecta de su concentración de sólidos disueltos totales o de minerales en el agua.
- La salinidad del agua se determina midiendo su conductividad eléctrica.
- La presencia de sales afecta el crecimiento de las plantas por tres mecanismos

2.2.4.4 Sólidos totales disueltos

Tevez (2016), menciona que el primer tipo importante de sólidos para determinar la calidad del agua son los sólidos totales, y se definen como todo el material que queda como residuo después de evaporación y secado del agua a 105°C. Los sólidos totales se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. Los sólidos totales disueltos pasan a través de un filtro con poros de alrededor de 2 µm de tamaño, mientras que los sólidos totales suspendidos no lo logran. Los sólidos totales disueltos son moléculas e iones que se encuentran disueltos en el agua; la concentración de este en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan color, olor, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene.

Los Sólidos Totales Suspendidos (STS) pueden ser aportados tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierras y también por vertimientos urbanos e industriales. Dichas partículas en suspensión son sólidos inorgánicos y materia orgánica en proporciones muy variables. Los sólidos inorgánicos



constituyen la mayor parte de la materia suspendida transportada por los ríos, procedentes de la erosión física y meteorización de las rocas continentales. La presencia de STS da lugar a la turbidez en agua, estas partículas provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la fracción más importante de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas naturales. Además, las algas en época de su floración también pueden provocar incrementos importantes de STS en medios hídricos naturales. La materia en suspensión puede producir color aparente en el agua, disminuir el paso de la energía solar, por lo que es responsable de una menor actividad fotosintética, ocasionar depósitos sobre plantas acuáticas y las branquias de los peces, y sedimentos con lo que favorece la aparición de condiciones anaeróbicas

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton, los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua:

2.2.4.5 Cloruros

Según Tevez (2016), define que los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo). En aguas naturales se encuentran bajo la forma de NaCl, KCl y CaCl₂. La presencia de cloruro en aguas superficiales puede deberse a la disolución de depósitos minerales como la halita (NaCl) y suelo que esté en contacto con el agua en zonas costeras debido a la infiltración de aguas marinas. Algunas otras fuentes de cloruros son las aguas de riego agrícola así como las descargas de aguas residuales domésticas o



industriales. La concentración de cloruros en aguas superficiales no contaminadas se sitúa alrededor de 20-40 mg/L e incluso menores. En ríos es típico el incremento de cloruros a lo largo del recorrido del cauce fluvial desde su nacimiento hasta su desembocadura. El ion cloruro es una sustancia altamente soluble y estable que con frecuencia se utiliza como indicador o trazador ideal de contaminación antrópica en evaluación ambiental. Un contenido elevado de este parámetro interfiere en el desarrollo y crecimiento vegetal.

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas. En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad. A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo.

El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua. El alto contenido de cloruros impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado. Altos porcentajes de cloruros en los cuerpos de agua también pueden matar a la vegetación circundante. El cloruro, en forma de ion es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. Así mismo, el ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas. Las principales formas de cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación son:

Características:



- Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. En el caso de las aguas costeras, su presencia también es debida a la intrusión de aguas saladas. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales.
- Las heces humanas, por ejemplo, suponen unos 6 g. de cloruros por persona día. En lugares donde la dureza del agua sea elevada, los compuestos que reducen la dureza del agua son también una importante fuente de aportación de cloruros.
- Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.
- El umbral del gusto de los cloruros es de 200 mg/L a 300 mg/L.
- Los cloruros no tienen un efecto nocivo en la salud, pero en concentraciones superiores a 250 mg/L este valor está basado en el sabor del agua el cual es percibido organolépticamente, y no en algún daño fisiológico conocido.

Los contenidos de cloruros de las aguas son extremadamente variables, y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos drenados. El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que le proporcionan al agua. También pueden corroer las canalizaciones y depósitos. Además, para el uso agrícola, los contenidos en cloruros del agua pueden limitar ciertos cultivos.

Los cloruros, muy fácilmente solubles, no participan en los procesos biológicos, no desempeñan ningún papel en los fenómenos de descomposición y no



sufren, pues, modificaciones. Cuando se comprueba que hay un incremento del porcentaje de cloruros, hay que pensar que hay contaminación de origen humano.

Kaletová & Jurík (2018), afirman que la toxicidad más común es la del cloruro en el agua de riego. El cloruro no es adsorbido ni retenido por los suelos, por lo que se mueve fácilmente con el agua del suelo, es absorbido por el cultivo, se mueve en la corriente de transpiración y se acumula en las hojas. Si la concentración de cloruro en las hojas excede la tolerancia del cultivo, se desarrollan síntomas de lesión, como quemadura de la hoja o secado del tejido de la hoja. Normalmente, la lesión de la planta ocurre primero en las puntas de las hojas (es común para la toxicidad por cloruros), y avanza desde la punta a lo largo de los bordes a medida que aumenta la gravedad. La necrosis excesiva (tejido muerto) suele ir acompañada de una caída temprana de la hoja o de una defoliación. Con cultivos sensibles, estos síntomas se producen cuando las hojas se acumulan de 0.3 a 1% de cloruro en base al peso seco, pero la sensibilidad varía entre estos cultivos.

2.2.4.6. Nitratos

Según Tevez (2016), nos dice que el valor de la concentración de nitratos en aguas es un indicador de contaminación orgánica. Los contenidos en nitratos tienen habitualmente un origen en la nitrificación del nitrógeno orgánico o también pueden proceder de la disolución de los terrenos que los contiene. A su vez, los nitritos provienen de una oxidación incompleta del amoníaco o de una reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificante.

Los nitratos se forman de la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas, úrea, amoníaco, etc. dado que el nitrógeno orgánico se hidroliza y forma nitrógeno amoniacal que, en presencia de oxígeno, es



convertido a nitritos y luego estos a nitratos. En general, las aguas naturales de superficie no suelen contener más de unos 10 mg/L de nitratos e incluso con frecuencia no pasan de 1 mg/L. Generalmente, el exceso del ion nitrato en ríos no causa el crecimiento explosivo de vegetación que contamina el agua una vez que estas mueren, dado que el fosfato es el nutriente limitante. Es decir, un aumento en la concentración de nitratos sin aumentar los niveles de fosfatos no conduce a un incremento de plantas. Las fuentes de fosfatos y nitratos en los ríos son variadas y entre ellas se puede mencionar la fijación biológica, la desorción química a partir de sedimentos, precipitación directa, la descomposición bacteriana de materia orgánica, escorrentía agrícola, efluentes industriales, deposición atmosférica, aguas residuales domésticas, la erosión del suelo y lixiviados de tierras de labor en donde se utilizan abonos que los contienen profusamente como componentes en sus formulaciones, etc.

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua. En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.



El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se lo encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

2.2.4.7 Sulfatos

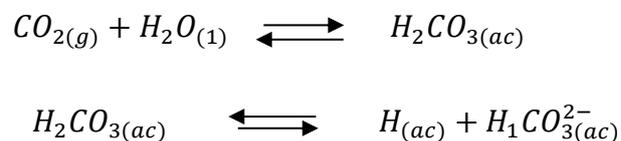
Según Romero (2000), indica que el ion sulfato, es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante. Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo. Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio.

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en las industrias químicas. Se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas estas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas. El sulfato se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas

naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de mg/L. Los residuos del drenado de minas pueden aportar grandes cantidades de sulfatos debido a la oxidación de la pirita. El ion sulfato es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 mg/L, y el agua de mar cerca de 3000 mg/L. El origen de los sulfatos se debe fundamentalmente a la disolución de los yesos, dependiendo su concentración de los terrenos drenados. Los sulfatos son, después de los bicarbonatos y de los silicatos, los elementos principales de las aguas continentales, siendo muy importante el conocimiento del contenido de este ion para la utilización de las mismas.

2.2.4.8 Carbonatos y bicarbonatos

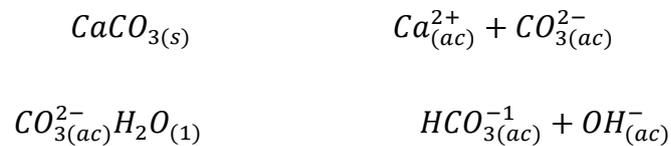
Tevez (2016), menciona que la química de los procesos ácido-base de muchos sistemas acuosos naturales, incluyendo tanto ríos como lagos, está dominada por la interacción del ion carbonato, con el bicarbonato (HCO_3) y el ácido carbónico (H_2CO_3). Este ácido se forma por la disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua, respiración de los organismos y microorganismos acuáticos no fotosintéticos y de la descomposición de la materia orgánica en el agua. Dicho ácido en el agua está en equilibrio con el HCO_3^- , y con el ion hidrógeno



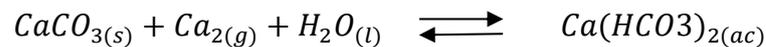
El origen predominante del ion carbonato son las rocas calizas, las cuales están constituidas predominantemente de carbonato de calcio $CaCO_3$ que es casi insoluble en el agua. Las aguas naturales que están expuestas a la caliza se dominan



aguas calcáreas. El ion carbonato actúa como una base, produciendo iones bicarbonato e hidróxido en el agua.



Cuando el agua con CO_2 disuelto libre se pone en contacto con CaCO_3 se inicia la reacción de disolución y formación subsiguiente de bicarbonato hasta que el equilibrio químico se completa. Dicho equilibrio depende de las concentraciones de las especies presentes, y la concentración está determinada por el pH del medio.

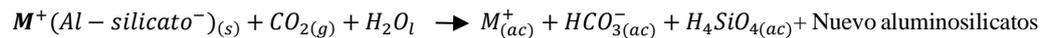


Generalmente, los valores de pH de aguas calcáreas se encuentran en el rango de 7 a 9; debido a la cantidad más pequeña de carbonato en las aguas no calcáreas sus valores de pH son usualmente próximos a 7. Es evidente que si tales aguas naturales están expuestas a lluvia ácida su pH puede disminuir substancialmente, ya que hay poca conversión de HCO_3^- a CO_3^{2-} que neutralice el ácido. Los lagos y ríos en los que precipita la lluvia ácida tendrán niveles elevados de ion sulfato, y quizás de ion nitrato, ya que los ácidos principales en la precipitación son el H_2SO_4 y el HN_3 .

Los iones más abundantes que se encuentran en muestras de agua dulce calcárea no contaminada son habitualmente calcio y bicarbonato, según lo esperado. Comúnmente, este tipo de agua también contiene ion magnesio (Mg^{2+}) principalmente procedente de la disolución de MgCO_3 , más algo de ion sulfato (SO_4^{2-}), pequeñas cantidades de iones cloruro (Cl^-) Cl^-) y iones sodio (Na^+). El agua de ríos que no está en contacto con sales de carbonato contiene poco iones



disueltos de los que están presentes en aguas calcáreas. La concentración de iones sodio y potasio es tan alta como la de iones calcio, magnesio y bicarbonato, a causa de la meteorización de los aluminosilicatos en suelos sumergidos y rocas en presencia de dióxido de carbono atmosférico. La reacción de meteorización, en términos generales se escribe como:



2.2.4.9 Sodio

Según Zhen (2009), señala que los principales fuentes de sodio son la alita (NaCl), espuma del mar, manifestaciones hidrotermales, salmueras, algunos silicatos y minerales raros como la nacolita ($NaHCO_3$), en el agua el sodio se origina del intercambio iónico natural, en donde la arcilla que la contiene reacciona con el calcio o magnesio y la libera.

Kaletová & Jurík (2018), afirman que los altos valores de sodio en el agua también afectan la germinación de la semilla y dificultan la aireación del suelo enfermando la planta y sus raíces. También provocan un incremento de la presión osmótica de la solución del suelo, lo cual dificulta la toma de agua por las raíces con la consecuente disminución de la disponibilidad de agua para las funciones de la planta. La toxicidad del sodio no se diagnostica tan fácilmente como la toxicidad por cloruros, pero se han registrado casos claros de los primeros como resultado de concentraciones relativamente altas de sodio en el agua (niveles altos de Na^+ o SAR). Los síntomas típicos de toxicidad son quemaduras en las hojas, quemaduras y tejido muerto a lo largo de los bordes exteriores de las hojas, en contraste con los síntomas de toxicidad por cloro que normalmente ocurren inicialmente en la punta extrema de la hoja. Normalmente se requiere un período de tiempo prolongado (muchos días o semanas) antes de que la acumulación alcance concentraciones



tóxicas. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas, comenzando en los bordes externos y, a medida que aumenta la gravedad, se mueven progresivamente hacia adentro entre las venas hacia el centro de la hoja. Los cultivos sensibles incluyen frutas de hoja caduca, nueces, cítricos, aguacates y frijoles, pero hay muchos otros. Para cultivos de árboles, sodio en el tejido de la hoja en exceso de 0 a 0.25.

La toxicidad del sodio a menudo se modifica o reduce si hay suficiente calcio disponible en el suelo. Actualmente se está investigando si una toxicidad de sodio indicada es simple o más complicada que involucre una posible deficiencia de calcio u otra interacción. Los resultados preliminares indican que para al menos unos pocos cultivos anuales, puede ocurrir una deficiencia de calcio en lugar de toxicidad por sodio. Si se confirma, estos cultivos deben responder a la fertilización con calcio utilizando material como el yeso o el nitrato de calcio. Para una discusión sobre la posible deficiencia de calcio.

2.2.4.10 Magnesio

Ayers & Westcot (1985), ponen de manifiesto que el agua dominada por el magnesio (proporción de Ca/Mg <1) o en un suelo de magnesio (relación suelo/agua de Ca/Mg <1), el efecto potencial del sodio puede aumentar ligeramente. En otras palabras, un valor de SAR dado mostrará un poco más de daño si la relación Ca/Mg es menor que 1. Cuanto menor sea la relación, más perjudicial es el RAS. Los resultados de la investigación muestran que en un RAS dado del agua aplicada, se obtendrá un ESP más alto del suelo de lo normal cuando se usa un agua con una relación Ca/Mg inferior a uno. Según Marín (2015) es muy abundante en la naturaleza y se hallan en cantidades importantes en muchos minerales rocosos, como la dolomita, magnesita, olivina y serpentina. Además, se encuentra en el agua



de mar, salmueras subterráneas y lechos salinos. Es el tercer metal estructural más abundante en la corteza terrestre, superado solamente por el aluminio y el hierro.

2.2.4.11 Potasio

Zhen (2009), señala que las principales fuentes de potasio son los feldespatos potásica ($KAlSi_3O_8$), $(KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2)$ y en menos comunes la leucita y Silvita. El potasio es otro componente mayoritario que se encuentra en elevada concentración en las aguas geotérmicas de origen profundo (entre 500 y 600 mg/L). La infiltración de estas se manifiesta en un alto contenido de potasio en los cuerpos de agua superficial de las nacientes.

Con relación al calcio Marín (2015), menciona que el calcio es el quinto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe al su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso y dolomita, la cantidad de calcio puede variar o encontrarse en un rango de 0 a cientos de mg/L, dependiendo de la fuente y el tratamiento del agua. El calcio junto al magnesio forma la "dureza" del agua. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización.

2.2.5. Salinidad

Para Kenneth (2002), la salinidad se define como la concentración de sales minerales disueltas presentes en los suelos (solución del suelo) y aguas. Las sales minerales disueltas constituyen un electrolito mixto de cationes y aniones. Los principales aniones, y otros constituyentes que contribuyen a la salinidad en suelos y aguas hipersalinas se reportan en unidades de mmol/L o mmol carga/L (meq/L) o mg/L (ppm) para solutos mayores o para elementos traza. La salinidad en suelos y aguas a menudo se reporta como un parámetro concentrado, es decir, CE o TDS.



No existe una relación exacta entre la salinidad concentrada intensiva y extensiva, sin embargo, se usan parámetros de conversión aproximados. TDS puede aproximarse tomando el producto de CE en dS/m y 640 para soluciones de hasta aproximadamente CE 5 dS/m o más para soluciones de aguas salinas y suelos, CE en dS/m y 800. Tomando el producto de CE en dS/m y 0.00364 aproxima el potencial de soluto (presión osmótica) en MPa. Tomando el producto de CE en dS/m y 0.0127 se aproxima a la fuerza iónica.

Ayers & Westcot (1985), ponen de manifiesto que la salinidad excesiva atrofia el cultivo al reducir la disponibilidad de agua del suelo, frenar el crecimiento del cultivo y restringir el desarrollo de las raíces. Con mayor salinidad, el agua, y la toxicidad de sodio y cloruro también son evidentes. Mientras el cultivo esté bien provisto de elementos fertilizantes, la aplicación de nutrientes adicionales para combatir los efectos de la salinidad no mejorará el rendimiento. Sin embargo, si hay escasez de nutrientes como el nitrógeno, el aumento del nivel de nutrientes generalmente mejorará el rendimiento. Las áreas salinas en el campo son normalmente de color verde oscuro a azul verdoso, lo que indica que están bien abastecidas de nitrógeno. Si es amarillo, nitrógeno adicional debería mejorar el rendimiento. Las sales se agregan al suelo con cada riego, estas sales reducirán el rendimiento del cultivo si se acumulan en la profundidad de enraizamiento hasta concentraciones dañinas. El cultivo elimina gran parte del agua aplicada del suelo para satisfacer su demanda de evapotranspiración, pero deja la mayor parte de la sal para concentrarse en el volumen cada vez menor del agua del suelo. En cada riego, se agrega más sal con el agua aplicada. Una porción de la sal agregada debe ser lixiviada de la zona de la raíz antes de que la concentración afecte el rendimiento del cultivo. La salinidad es un problema externo de la planta y dificulta la absorción



de agua; cuando es alta aumenta la velocidad de infiltración, porque contrarresta el efecto dispersivo del sodio, mientras que cuando es baja disminuye, como resultado de su naturaleza corrosiva. Los principales indicadores a tener en cuenta son la concentración total de sales solubles, los iones calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, la conductividad eléctrica y pH.

2.2.5.1 La salinidad en el agua para riego

Según Betancourt (2016), la salinización es la consecuencia de varios procesos complejos de redistribución de sales que dependen de las condiciones naturales, características del sistema, prácticas agrícolas y manejo del riego y del drenaje. La presencia excesiva de sales impide el crecimiento de los cultivos al disminuir la cantidad de agua disponible para ser absorbida por las plantas. La conductividad eléctrica (CE) indica el total de sales disueltas en el agua y es el indicador que se usa para determinar el daño producido por la salinidad.

La clasificación del agua para el riego según los valores del indicador CE resulta un tema muy discutido. Singh et al. (1996), señalan la necesidad de evaluar la CE crítica discriminando entre las diferentes condiciones de textura, precipitación y tolerancia de los cultivos a la salinidad. Estos autores consideran aguas aptas las que tienen valores CE de 1dS m-L, para un contenido de arcilla alto (> 30%), cultivos sensibles a la salinidad y menos de 350 mm año de precipitación. Además, establecieron una serie de valores máximos de acuerdo a las diferentes combinaciones de los parámetros discriminatorios hasta la situación extrema de suelos con menos de 10% de arcilla, con cultivos tolerantes a la salinidad y con una precipitación de más de 550 mm por año, donde aceptaron como aguas aptas a aquellas con CE de hasta 12 dS.



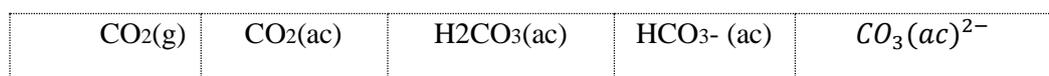
2.2.6 Sodicidad en el agua para riego

Betancourt, (2016), nos dice que la sodicidad se mide en relación a la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes. Una proporción alta de sodio sobre el calcio produce descenso en la infiltración como consecuencia de su efecto dispersante sobre los agregados del suelo. Para evaluar la toxicidad se consideran la concentración de boro y otros elementos como el sodio y el cloruro.

El riego a largo plazo con aguas sódicas deteriora significativamente propiedades del suelo como el pH, la conductividad eléctrica del extracto de saturación, el porcentaje de sodio intercambiable, la relación de adsorción de sodio del extracto de saturación, la densidad aparente y la tasa de infiltración final del suelo. La escasa productividad de los suelos sódicos se ha relacionado con la baja tasa de infiltración y las restricciones de drenaje debido a su poca e inestable macroporosidad. Según Ayers & Westcot (1985), señalan que los altos valores de sodio en el agua también afectan la germinación de la semilla y dificultan la aireación del suelo enfermando la planta y sus raíces. También provocan un incremento de la presión osmótica de la solución del suelo, lo cual dificulta la toma de agua por las raíces con la consecuente disminución de la disponibilidad de agua para las funciones de la planta.

2.2.7 La alcalinidad del agua de riego

Betancourt (2016), menciona que la alcalinidad del agua se mide mediante una lectura del pH del agua que a su vez depende del equilibrio:



Valores superiores a 7 indican alcalinidad del agua e inferiores acidez. Los valores de pH pueden modificarse por diferentes razones como la fotosíntesis de



plantas acuáticas, lluvias ácidas, degradación de la materia orgánica entre valores altos de alcalinidad (pH) conducen a la pérdida de la estabilidad estructural de los suelos que se produce fundamentalmente por la dispersión y el hinchamiento de las arcillas sensibles a este proceso, lo cual reduce su capacidad para transmitir el agua (descenso de la conductividad hidráulica e infiltración).

El pH de la solución en contacto con las raíces puede disminuir el crecimiento vegetal. Esto se debe a la afectación que se genera sobre la disponibilidad de nutrientes debido a que cuando sus valores son altos puede provocar la precipitación de los mismos. También afecta el proceso fisiológico en general porque puede solubilizar elementos tóxicos como el aluminio.

2.2.8 La toxicidad química presentes en el agua de riego

Betancourt (2016), nos dice que el sodio en exceso puede resultar tóxico para las plantas, principalmente para los pastos y los cultivos de trigo (*Triticum* spp.), sorgo (*Sorghum* spp.) y arroz (*Oryza sativa*). Una alta concentración de sodio en la solución del suelo inhibe la absorción de calcio, magnesio y potasio por lo tanto, desplaza los iones calcio de la membrana de las raíces. Según Balmaseda & García (2013), mencionan que otras especies a determinadas concentraciones como el cloruro y el boro pueden ocasionar toxicidad en las plantas. El boro, a diferencia del sodio, es un elemento esencial para el desarrollo de la planta y es necesario en cantidades relativamente pequeñas. Sin embargo, si está presente en mayores cantidades que la necesaria, causa toxicidad. Los síntomas de toxicidad son normalmente mostrados en las hojas viejas como amarillamiento, parcelamiento o secado del tejido de las hojas, de las puntas y bordes hacia adentro. En cuanto al contenido de cloruros se considera buena cuando es menor a 1 meq/L, condicionada



cunado es comprendida entre 1 a 5 y no es recomendable cuando el contenido de cloruros es mayor a 5 meq/L.

2.2.9 Indicadores de salinidad y sodicidad en el agua para riego

2.2.9.1. La relación de absorción del sodio

Asamoah et al. (2015), afirman que los altos valores de sodio en el agua también afectan la germinación de la semilla y dificultan la aireación del suelo enfermando la planta y sus raíces. Del mismo modo, según Ayers y Westcot (1985), mencionan que, altos valores de sodio en el agua provocan un incremento de la presión osmótica de la solución del suelo, lo cual dificulta la toma de agua por las raíces con la consecuente disminución de la disponibilidad de agua para las funciones de la planta.

Según Betancourt (2016), menciona que la toxicidad del sodio depende en gran medida de los niveles de calcio y magnesio. Si el magnesio y calcio son altos, éstos atenúan el efecto dañino del sodio; esto explica que para un RAS dada, la infiltración del agua aumenta conforme la salinidad se incrementa. Los valores altos de RAS pueden ser tolerados cuando la salinidad del agua de riego aumenta. Contrariamente, baja RAS del agua puede ser peligrosa en el suelo si la CE es baja.

La sodicidad genera el colapso no jerárquico de la estructura directamente a nivel de partículas de arcilla y causa la irreversibilidad del fenómeno. La salinidad al margen de la problemática osmótica en la disponibilidad de agua, es responsable de la floculación de los coloides, lo cual incide positivamente en la estructuración, además de impartir reversibilidad al proceso.

La RAS se expresa por la siguiente ecuación:

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

Na^+ = concentración de ion de sodio (meq/L)

Ca^{2+} = concentración de ion de calcio (meq/L)

Mg^{2+} = concentración de ion de magnesio (meq/L)

La clasificación de las aguas para riego, son el resultado de la concentración de sales y sodio principalmente tal como se muestra en la figura 1. La interpretación de la calidad del agua para riego se ve reflejado en la tabla 4.

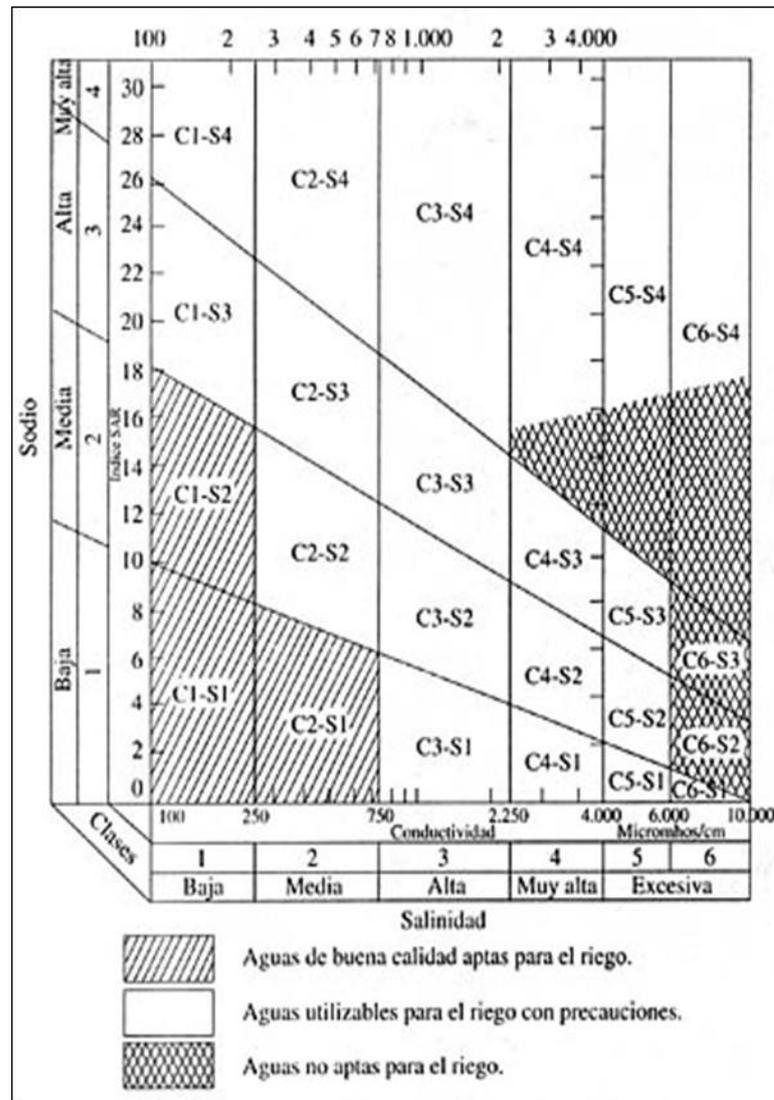


Figura 1. Nomograma propuesto por el laboratorio de salinidad de Riverside
Recuperado: http://www.infoagro.com/riegos/diagnostico_aguas.htm

Tabla 4: Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside

Calidad y normas de uso	
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y cultivos muy tolerantes.
C4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego.
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina y de baja permeabilidad.
S3	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Fuente: http://www.infoagro.com/riegos/diagnostico_aguas.htm

2.2.9.2 Porcentaje de sodio

Arcos (2010), considera como índices para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica. El efecto adverso en el agua de riego sobre el suelo está más estrechamente relacionado con la relación de sodio a los cationes totales que a la concentración absoluta de sodio. Este parámetro se denomina "porcentaje de sodio" (% Na) y se define por la siguiente ecuación, en la que las concentraciones se toman en términos de mili equivalentes (meq/L) y la evaluación de la calidad del agua para riego se muestra en la tabla 5.

$$\%Na = \left(\frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + k^+} \right) \times 100$$



Dónde:

% Na : Porcentaje de sodio

$Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+} + k^{+}$: son cationes

Tabla 5: Clasificación del agua para riego según Wilcox

Clase	Calidad de Agua	Conductividad Eléctrica (dS/m)	% Na *
I	Excelente	< 0.25	< 20
II	Buena	0.25 – 0.75	20 a 40
III	Permisible	0.75 – 2.00	40 a 60
IV	Dudosa	2.00 – 3.00	60 a 80
V	inadecuada	> 3.00	> 80

Fuente: Wilcox (1955)

2.2.9.3 Dureza del agua

Según Arcos (2010), la dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad, tal como se muestra en la tabla 6. La unidad de medida de la dureza que se utiliza más habitualmente son los Grados Hidrométricos Franceses (° H F), y el cálculo de este parámetro responde a la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{(2.5 Ca^{2+} + 4.12Mg^{2+})}{10}$$

Donde:



DA = Dureza del agua

Ca = Calcio (meq/L)

Mg = Magnesio (meq/L)

La presencia de sales de magnesio y calcio en el agua depende fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación. Las aguas subterráneas que atraviesan acuíferos carbonatados (calizas) son las que presentan mayor dureza y dichos acuíferos están formados por carbonatos de calcio y magnesio.

Tabla 6: Clasificación de las aguas de riego según dureza del agua

Tipo del agua	Grados hidrométricos Franceses
Muy blanda	< 7
Blanda	7 – 14
Semiblanda	14 – 22
Semidura	22 – 32
Dura	32 – 54
Muy dura	>54

Fuente: Arcos (2010)

2.2.9.4 Coeficientes alcalimétrico (índice de Scott)

Arcos (2010), el índice de Scott indica el riesgo de toxicidad debida a los iones cloruros y sulfatos aportados por el agua de riego y que permanecen en el suelo tras formar cloruro y sulfato de sodio, respectivamente. Este índice se define como la altura en pulgadas que después de la evaporación dejaría en un terreno vegetal, de cuatro pies de espesor, alcalinidad, es decir sodio, suficiente para imposibilitar el desarrollo de las especies vegetales más sensibles. Equivaliendo 1 pulgada a 2.45 cm y 1 pie a 0.3048 m. La determinación de este índice se efectúa de acuerdo a la tabla 7, expresándose todas las concentraciones en mg /L:

Tabla 7: Tres fórmulas de índice Scott

Miliequivalentes /litro (meq/L)	Miligramos /litro (mg/L)
1er caso $Cl^- \geq Na^+$	$k_1 = \frac{2.040}{Cl^-}$
2do caso $Cl^- < Na^+ \leq (Cl^- + SO_4^{2-})$	$k_2 = \frac{6.620}{2.6Cl^- + Na^+}$
3er caso $Na^+ > (Cl^- + SO_4^{2-})$	$k_2 = \frac{662}{Na^+ - 0.32Cl^- - 0.43SO_4^{2-}}$

Fuente: Arcos, 2010

La evaluación de la calidad de agua para uso agrícola según el índice Scott, se valora de acuerdo a la tabla 8.

Tabla 8: Clasificación de agua para riego según Scott

Valor del índice Scott	Calidad del agua
> 18	Buena
18 – 6	Tolerable
6 – 1.2	Mediocre
< 1.2	Mala

Fuente: Arcos (2010)

2.2.9.5 Índices de Eaton o carbonato sódico residual

Arcos (2010), indica la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes calcio y magnesio con los aniones carbonato y bicarbonato. El cálculo de carbonato sódico residual, se emplea para predecir la tendencia del calcio y magnesio a precipitar en el suelo cuando se riega con aguas altamente carbonatadas. Cuando esto ocurre, aumentara la proporción relativa de sodio presente en el suelo, es decir, aumentara el valor de SAR y por tanto, el riesgo de solidificación del suelo, a pesar de que la cantidad presente de sodio no ha variado.

Se calcula mediante la siguiente formula:

$$CSR = (CO_3^{2-} + CO_3H^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$



Donde:

CSR : Carbonato de sodio residual

(CO_3^{2-}) : Carbonatos (meq/L)

CO_3H^- : Bicarbonatos (meq/L)

Ca^{2+} : Calcio (meq/L)

Mg^{2+} : Magnesio (meq/L)

Los criterios de calidad para evaluar la calidad del agua de riego se muestran en la tabla 9, el resultado de los valores mayores a dos, no son recomendables para el riego.

Tabla 9: Índice Eaton o carbonato de sodio residual

Criterio de calidad	CSR
Agua recomendable	< 1.25
Agua poco recomendable	$1.25 < CSR < 2$
Agua no recomendable	> 2

Fuente: Arcos (2010)

2.2.10 Salinidad efectiva

Lucas (2014), señala que la salinidad efectiva es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo. Considera la precipitación de los carbonatos de calcio y magnesio y de los sulfatos de calcio que por lo tanto, dejan de tener efecto en la presión osmótica de la solución del suelo. Este proceso es más relevante cuando el agua tiene un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos. El parámetro salinidad efectiva fue creado para tomar en cuenta la reducción en la concentración de sales a medida que se precipitan los carbonatos de calcio y magnesio.

Para calcular la SE existen cuatro opciones (todos los iones se expresan en meq/L)

- Si $(Ca^{++}) > (CO_3^{--} + HCO_3^- + SO_4^{--})$

$$SE = (Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + k^+) - (CO_3^{--} + HCO_3^- + SO_4^{--})$$

- Si $(Ca^{++}) < (CO_3^{--} + HCO_3^- + SO_4^{--})$ y $(Ca^{++}) > (CO_3^{--} + HCO_3^-)$

$$SE = (Ca^{++} + Na^+ + k^+)$$

- $(Ca^{++}) < (CO_3^{--} + HCO_3^-)$ y $(Ca^{++} + Mg^{++}) > (CO_3^{--} + HCO_3^-)$

$$SE = (Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + k^+) - (CO_3^{--} + HCO_3^-)$$

- Si $(Ca^{++} + Mg^{++}) < (CO_3^{--} + HCO_3^-)$

$$SE = (Na^+ + k^+)$$

La clasificación de la calidad del agua para uso agrícola, según la salinidad efectiva se muestra en la tabla 10, el valor obtenido, depende de los cuatro casos mencionados.

Tabla 10: Clasificación de aguas de riego según su salinidad efectiva

Clase	Salinidad efectiva
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Más de 15

Fuente: Lucas (2014)

2.2.11 Índice de calidad del agua

MINAGRI (2017), nos dice que el índice de calidad del agua constituye un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo siendo la valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente.



Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009), afirman que el ICA, es una forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, constituye una manera de evaluar y comunicar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información puede ser sacrificada. Por otro lado, si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Ventajas y limitaciones del ICA

Ventajas:

- Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.
- Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.
- Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.
- Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.
- Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.
- Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.
- Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.

Limitaciones

- a) Proporcionan un resumen de los datos.
- b) No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
- c) No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.



- d) Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
- e) No son de aplicación universal.
- f) debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
- g) Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
- h) Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión (Torres et al., 2009).

Cálculos del índice de calidad del agua según el ICA-PE

MINAGRI (2017), pone de manifiesto para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense *CCME – WQI*, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca. Además de requerir menos información en relación al gran número de parámetros que se obtiene en un monitoreo para la evaluación de la calidad del agua, por ende, este ICA (CCME) tiene la capacidad de resumir y simplificar datos y transformar la información haciéndola fácilmente entendible por los responsables de la gestión de la calidad de los recursos hídricos, por el público, los medios y los usuarios. La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

- **Alcance (F_1)**, representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para aguas vigente (D.S. N° 004-2017-MINAM), respecto al total de parámetros a evaluar.



$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

- **Frecuencia (F_2)**, representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental de los ECA respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 5 evaluaciones).

$$F_2 = \frac{\text{Número de los parámetros que No cumplen el ECA agua de los datos Evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

- **Amplitud (F_3)**, es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma normalizada de exedentes}}{\text{Suma normalizada de exedentes} + 1} \right) * 100$$

En donde, la *Suma Normalizada de Excedentes* (nse):

$$\text{nse} = \text{suma normalizada de exedentes} = \frac{\sum_i^n = 1 \text{Exedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

Excedente, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA del agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Exedente}_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA para aguas, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Exedente}_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

Una vez obtenido los valores de los factores (F_1 , F_2 , y F_3) se procede a realizar el cálculo del ICA: que es la diferencia de un rango de 0 a 100, siendo 100 el valor que representa un ICA de excelente calidad y 0 el valor que representa un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F_1 , F_2 y F_3 , se expresa en la siguiente ecuación:

$$CCME_{WQI} = 100 - \left(\sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right)$$

Como resultado, se obtiene el valor del índice y se presenta como un número adimensional comprendido entre 1- 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que se expresan y califican el estado de la calidad del agua, como mala, regular, favorable, buena y excelente, tal como se muestra en la tabla 11.

Este tipo de calificación cualitativa viene asociada a una escala cromática (cada calificación tendrá un color), el cual tiene por propósito facilitar la comunicación del estado de calidad del agua. Este indicador de calidad del agua, aplicado durante un periodo de tiempo evalúa la incidencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son considerados, y que mediante una herramienta matemática nos permite transformar grandes cantidades de datos a una escala de medición única, expresado en porcentaje. Siendo un valor ICA cercano a 0%, el cual representa la alta afectación que existe en la calidad del agua de ese punto de monitoreo, en tanto que presente excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

Tabla 11: Clasificación del índice de la calidad del agua



CCME_WQI	CALIFICACION	INTERPRETACION
95- 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80- 94	Buena	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65- 79	Favorable	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45- 64	Regular	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0- 44	Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: MINAGRI (2017)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente tesis denominado “evaluación de la calidad del agua para uso agrícola del río Challamayo, Tiquillaca-Puno”, se realizó en el departamento de Puno, provincia de Puno, distrito de Tiquillaca en la subcuenca del río Challamayo, el estudio abarcó desde la cabecera de la subcuenca hasta la desembocadura del río en la laguna Umayo, atravesando los centros poblados de: Sonsuri Pata, Salinas Chico, Chacapata Umalso, Vercuyo, Chusamarca, San Antonio y Cacachupa.

3.1.1. Ubicación geográfica

Geográficamente la subcuenca del río Challamayo se encuentra entre las coordenadas latitud sur $15^{\circ} 47' 50.77''$ a $16^{\circ} 40' 50''$ y longitud oeste $70^{\circ} 11' 22.25''$ a $72^{\circ} 10' 22''$. Asimismo, según las coordenadas UTM (WGS84) la subcuenca Challamayo está comprendida por el norte 8232500.0 a 8258500.0 y por el este 366500.0 a 378650.0 a una altitud comprendida entre 3830 a 3900 m.s.n.m.

Los límites hidrográficos son por el norte con la laguna Umayo y río Illpa, por el sur con Sub cuenca Condorire, por el este con el lago Titicaca y finalmente por el oeste con la subcuenca del río Vilque, Sub cuenca Cabanillas.

La subcuenca del río Challamayo, políticamente se encuentra ubicada en la región Puno, provincia de Puno y distrito de Tiquillaca. En la figura 2, se muestra el área de influencia del trabajo de investigación asimismo, se expone los puntos de muestreo enumerados desde la cabecera de la subcuenca en forma ascendente, hasta su desembocadura del río en la laguna Umayo.

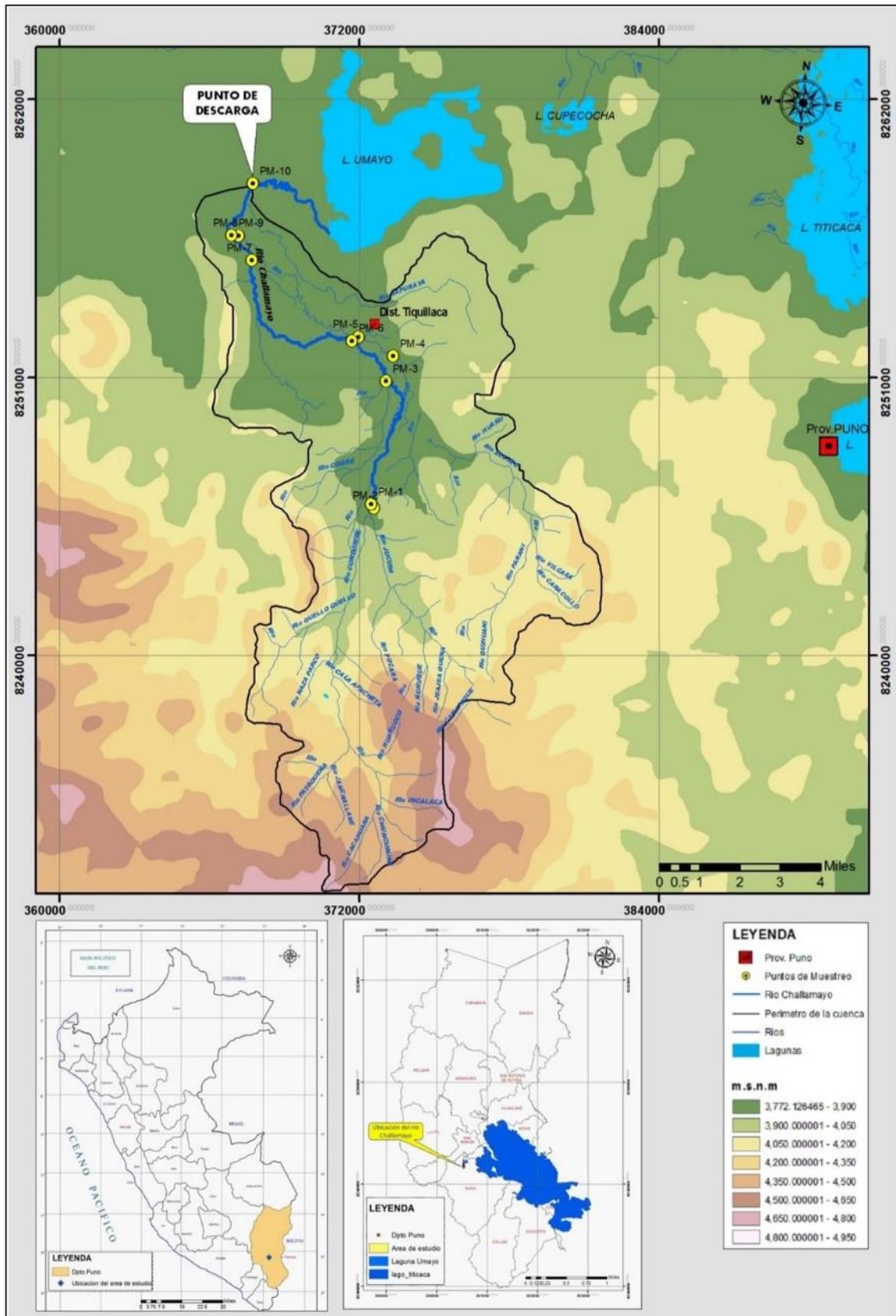


Figura 2. Ubicación geográfica de la subcuenca Challamayo
Fuente. Elaboración propia

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales, reactivos y equipos que se utilizaron, para la obtención de información en campo y procesamiento de datos, se detallan en la tabla 12.

Tabla 12: Recursos para obtener resultados de monitoreo de aguas.

Materiales	Equipos
01 Carta Nacional 1/10000	01 laptop ADVANCE I5
Etiqueta de identificación de frascos	01 impresora de inyección a tinta HP 1026
Fichas de registro	01 scanner HP 1026
Cinta adhesiva	01 GPS GARMIN MAP 64s
Envases de polietileno	Conductímetro HANDILAF LF1
Envases de vidrio	01 cámara fotográfica
Cubos de hielo	Fotómetro de llama QUIMIS
Coolers	Micro Kjeldahl
Picetas	Espectrofotómetro GENESYS 20
Balde transparente	Bureta volumétrica
Cinta adhesiva	PH metro MARTINI MI151

Fuente: Elaboración propia

3.3. UBICACIÓN ADMINISTRATIVA

La subcuenca del río Challamayo pertenece a la Administración Local de Agua (ALA) Juliaca, cuya entidad regula el uso de los recursos hídricos y tiene una dependencia de orden administrativo del Ministerio de Agricultura y Riego, a través de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua.

3.4. ASPECTO SOCIO-ECONÓMICO

3.4.1. Población

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, a la fecha 30 de junio del 2017, la población total del distrito de tiquilla y sus comunidades involucrados en la subcuenca del río Challamayo se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Población total involucrada en la subcuenca del río Challamayo (2017)

N°	DISTRITO	LATITUD S	LONGITUD O	POBLACION TOTAL Hab.	ÁREA (KM2)	DENSIDAD (Hab./km ²)
1	Tiquillaca	15°47'42"	70°11'03"	1708	55,71	4,5
2	Vilque	15°45'48"	70°15'19"	3132	93.30	14,28

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017)

En el distrito de Tiquillaca tenemos 1708 habitantes que incluye a sus centros poblados y comunidades de los cuales 41.1% viven en el área rural y el 58.9% en el área urbana, del mismo modo, en el distrito de Vilque tenemos 3132 habitantes, que incluye a las comunidades y de las cuales el 76.6% viven en el área rural y el 23.4% en el área urbana.

3.4.2. Actividades económicas en la zona de estudio

3.4.2.1. Actividad agrícola

La actividad agrícola es y será siempre el soporte productivo de la economía familiar, pero se muestra hoy menos contundente por la escasa mejora productiva que implica obviamente la disminución en los niveles de ingreso y con ello el deterioro del nivel de vida de este gran segmento poblacional, uno de los problemas agobiantes es el deterioro de la capa arable del suelo debido a la salinidad y sodicidad de los suelos en la parte media y baja de la subcuenca debido a la calidad del agua del río Challamayo, esta alteración de la estructura del suelo, sucede principalmente por el desbordamiento del afluente Coltamayo. Así mismo los cultivos están expuestos a las fuertes heladas. Los principales productos que se cultivan en menor cantidad y poco representativas en la parte alta de la subcuenca son: papa amarga (*Tropaeolum tuberosum*), cebada (*hordeum*), avena (*avena*), pastos cultivados (*Cynodon dactylon*). La mayoría de los cultivos son de subsistencia, autoconsumo y un mínimo porcentaje se destina al mercado local en



el distrito de Tiquillaca permitiendo la generación de escasos ingresos siendo necesario acudir a la producción de otros cultivos tolerantes a las sales y al Na^+ , y realizar mejor manejo de suelos en la parte media y baja de la sub cuenca Challamayo.

3.4.2.2. Actividad pecuaria

En el ámbito de la sub cuenca del río Challamayo la ganadería es la actividad principal en la parte media y baja de la cuenca, que involucra a los centros poblados de Salinas Chico, Challamayo Pata, Chusamarca, Vercuyo, Chacapata Umalso, San Antonio y Cacachupa, porque constituyen una fuente de ocupación e ingreso para el poblador rural, representado por varias especies en menor cantidad como ganado vacuno, ovino y porcino. La existencia de pastos naturales, cultivos de forrajes, favorecen la crianza del ganado, siendo los vacunos de doble propósito (carne y leche). En el ámbito de la sub cuenca el problema que afronta el productor pecuario es la escasez de alimentos para animales en ciertas épocas del año, una característica del espacio andino es de ser una zona que se ve limitada por las variaciones climáticas, ya que tiene tres épocas bien establecidas: Verano de lluvias (diciembre a marzo), Invierno seco (mayo a agosto) y meses transitorios (abril, setiembre a noviembre). Es precisamente durante los meses que dura el invierno, más los meses transitorios, el periodo más crítico para el ganado en lo que representa a disponibilidad de alimento y a las bajas temperaturas que afecta, disminuyendo el peso (carne), producción de leche y fibra.

3.5. ACCESIBILIDAD - VÍAS DE ACCESO

Dentro del área de estudio, las vías de acceso es por un sistema múltiple de transporte, existe una carretera afirmada y asfaltada desde la provincia de Puno y

Juliaca. Al distrito de Tiquillaca y sub cuenca Challamayo se puede acceder a través de las siguientes redes de vías de acceso.

- Puno – Tiquillaca – Vilque
- Juliaca – Cabana – Mañazo – Vilque – Tiquillaca
- Arequipa – Mañazo – Vilque – Tiquillaca

Las distancias y los tipos de vías de acceso a la zona de estudio, se muestra en la tabla 14.

Tabla 14: Distancias entre localidades y accesos a la subcuenca Challamayo

Vía		Distancia (Km)	Tipo de vía
Puno	Tiquillaca	20.0	Afirmada
Tiquillaca	Vilque.	10.0	Asfaltada
Juliaca	Mañazo	41.0	Asfaltada
Mañazo	Vilque	10.1	Asfaltada
Arequipa	Tiquillaca	178	Asfalto

Fuente: Elaboración propia

3.6. HIDROGRAFÍA

3.6.1. Área del proyecto

El área del proyecto está dentro de la subcuenca Challamayo, en el distrito de Tiquillaca que a su vez está formada por su principal río Challamayo y éste por su afluente, el río Coltamayo, ambos se unen y desembocan en la laguna Umayo y a través del río Illpa desemboca en la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca, formando el sistema endorreico TDPS (lado peruano). Sus parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Challamayo se muestran en la tabla 15.

Tabla 15: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca Challamayo

Nombre de la subcuenca	Challamayo
Punto de interes	Laguna Umayo
Parametros geomorfologicos	
Área de la subcuenca (km ²)	246.78
Perímetro de la cuenca (km)	95.97
Longitud del cauce principal evaluado (km)	29.00
Ancho de la Cuenca (km)	5.45
Coefficiente de compacidad	0.175
Factor de forma	0.12
Númerode ramificaciones	3.00
Densidad de drenaje	0.75
Pendiente promedio	0.02

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Sistema hidrográfico

El sistema hidrológico de la sub cuenca del río Challamayo, se compone básicamente del afluente Coltamayo. El cauce principal nace en el río Condorire entre las comunidades de Condorire y Sonsuri Pata. El afluente principal Coltamayo nace en el centro poblado de Paxa y se une con el río Challamayo en el centro poblado de San Antonio coordenadas E 367162.36 y N 8256609.76, posteriormente el río desemboca en la laguna Umayo.

3.7. CLIMATOLOGÍA

Por su situación geográfica, el clima durante todo el año es propio del altiplano; frígido, seco y templado, estas condiciones especiales se presentan durante todo el año, por la presencia del Lago Titicaca, teniendo ligeras variaciones de acuerdo a cada estación. Su temperatura promedio del ambiente fluctúa entre los 8 °C y 15 °C, la precipitación anual promedio es de 731.33 mm. La estación de invierno comprende los meses de mayo hasta agosto, en la cual hay precipitaciones pluviales esporádicas en un promedio de 10 mm y la temperatura por las noches baja hasta los 4° C bajo cero, con

presencia de vientos secos, cielo azul y sol radiante de día. El clima en general corresponde al tipo semi seco y frío, con estaciones de invierno carentes de lluvia y sin cambio térmico invernal definido.

3.7.1. Análisis de los caudales en la sub cuenca del río Challamayo

Para generar los caudales mensuales, primeramente se realizó el cálculo hidrológico, que consiste en seleccionar las estaciones cercanas influyentes al área de estudio. Asimismo, se realizó la completación y extensión de datos faltantes, seguido del análisis de consistencia de los datos. Finalmente estos resultados se muestran en el análisis de doble masa de precipitaciones pluviales para la subcuenca del río Challamayo. Las estaciones hidrométricas utilizadas fueron, la estación Puno, Laraqueri y Umayo tal como se muestra en la figura 3.

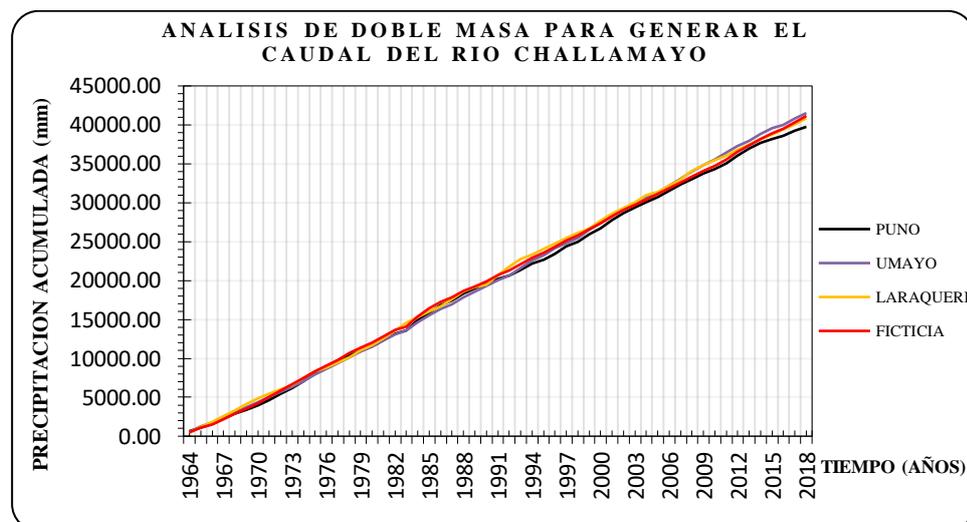


Figura 3. Análisis de Doble Masa de precipitaciones pluviales

Fuente. Elaboración propia

3.7.2. Precipitación

En la figura 4, se muestran los registros de precipitación para la subcuenca del río Challamayo, los registros corresponden a los años comprendidos entre 1964 y 2018

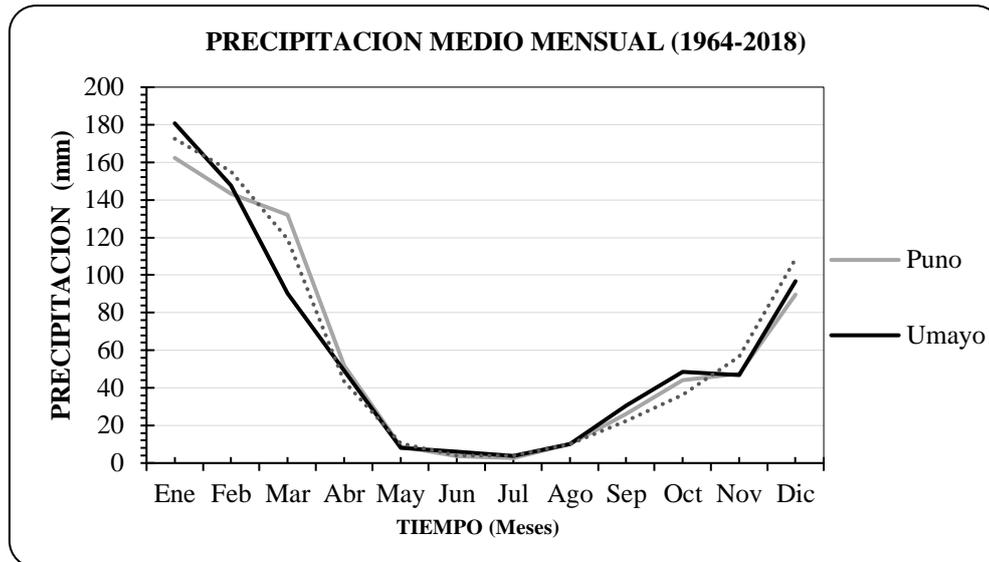


Figura 4. Precipitación medio mensual del río Challamayo
Fuente. Elaboración propia

3.7.3. Generación de caudales con el método Lutz Sholz

Para implementar este método se tomó los datos de precipitación de la estaciones hidrométricas de Puno, Laraqueri y Umayo. En la figura 5, se muestran los caudales generados mensuales por el método Lutz Sholz, desde el año 1964 al 2018. Los cálculos de este método empírico se muestran en los anexos, para el punto de interés PM-10.

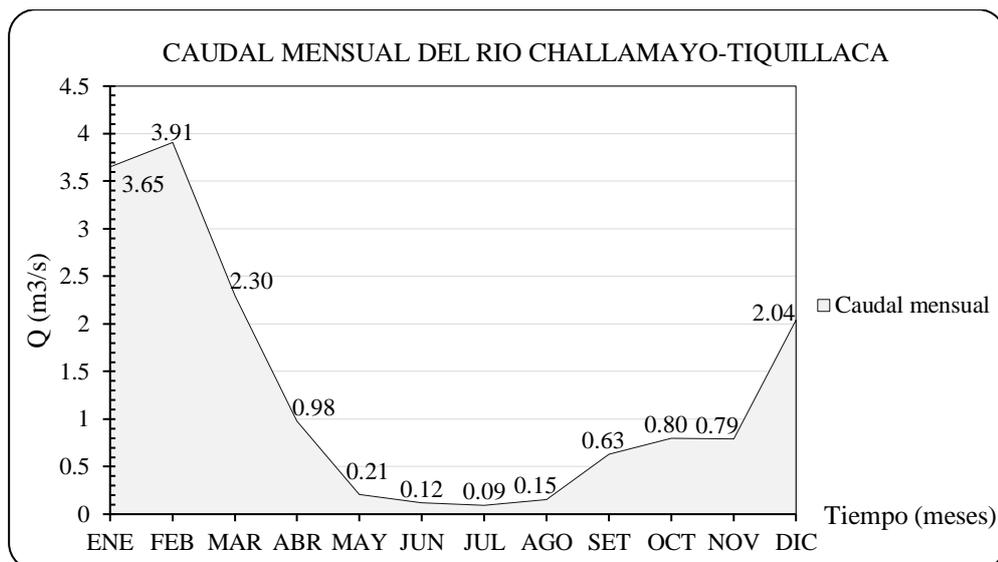


Figura 5. Caudal medio mensual del río Challamayo
Fuente. Elaboración propia

En la figura 6 se muestra el caudal anual generado desde el año 1964 al 2018, claramente se observa que en los últimos años, el caudal ha descendido.

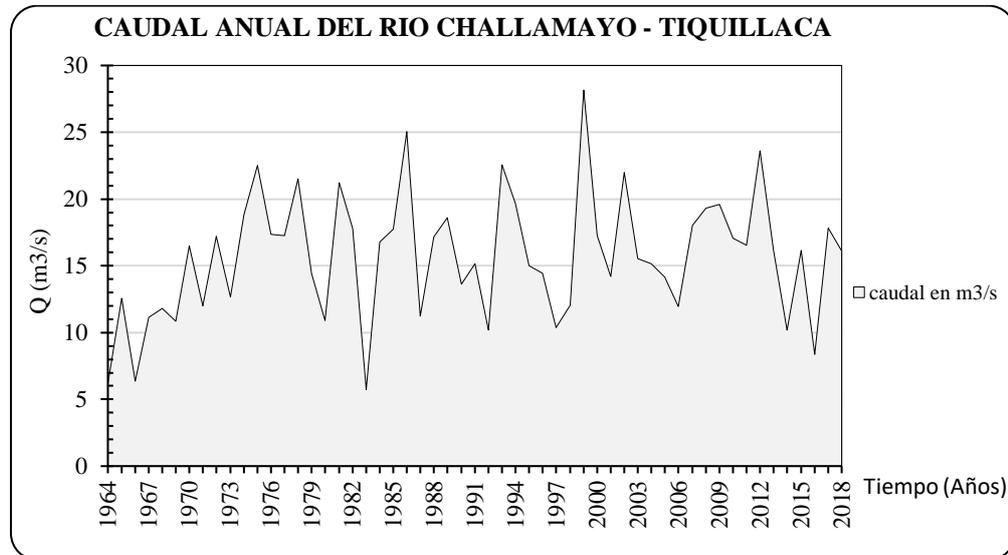


Figura 6. Caudal anual del río Challamayo 1963-2018
Fuente. Elaboración propia

3.7.4. Caracterización climatológica

Las estaciones hidrométricas más cercanas al área de estudio para determinar la precipitación pluvial y generar los caudales se muestran en la tabla 16.

Tabla 16: Estaciones meteorológica para la zona de estudio

Estación	Zona	Código	Latitud	Longitud	Altura
Puno	Perú	120708	15°49'34.5"	70°0' 43.5"	3812
Umayo	Perú	412	15°44'00"	70°9'00"	3850
Laraqueri	Perú	20889	16°08'00.0"	70°03'00.0"	4100

Fuente: Elaboración propia

3.7.5. Temperatura

Los registros muestran que en los meses de mayo, junio, julio y agosto, se presentan temperaturas más bajas. Asimismo, las temperaturas más elevadas fluctúan de setiembre a abril tal como se muestra en la figura 7. La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, es por ello

indispensable tener en conocimiento los registros de temperatura teniendo en cuenta que influyen en los datos de pH, conductividad eléctrica y nitratos.

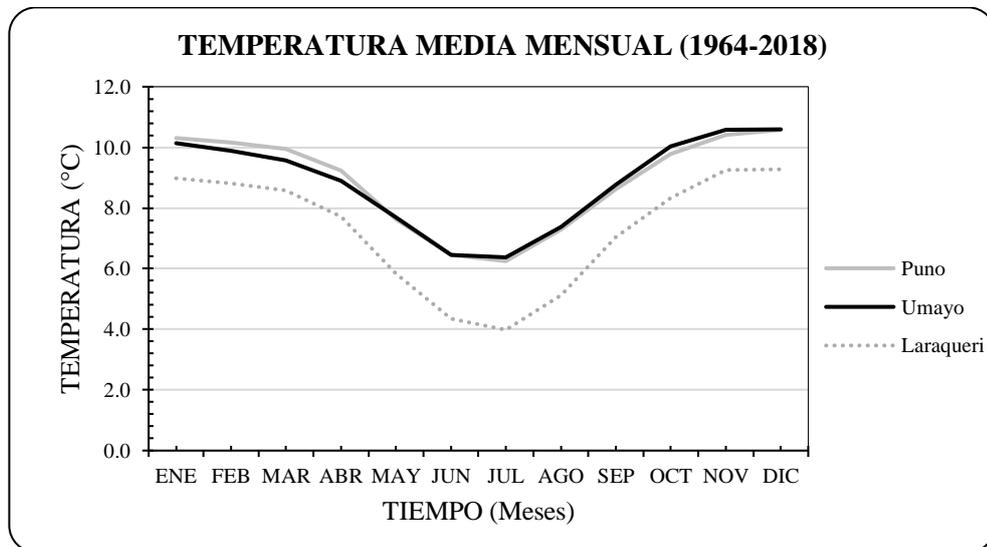


Figura 7. Temperatura media mensual
Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

3.7.6. Humedad relativa

La humedad relativa en la sub cuenca del río Challamayo varía de 30 a 70 %, los valores más altos se presentan en los meses de enero a marzo, tal como se muestra en la figura 8.

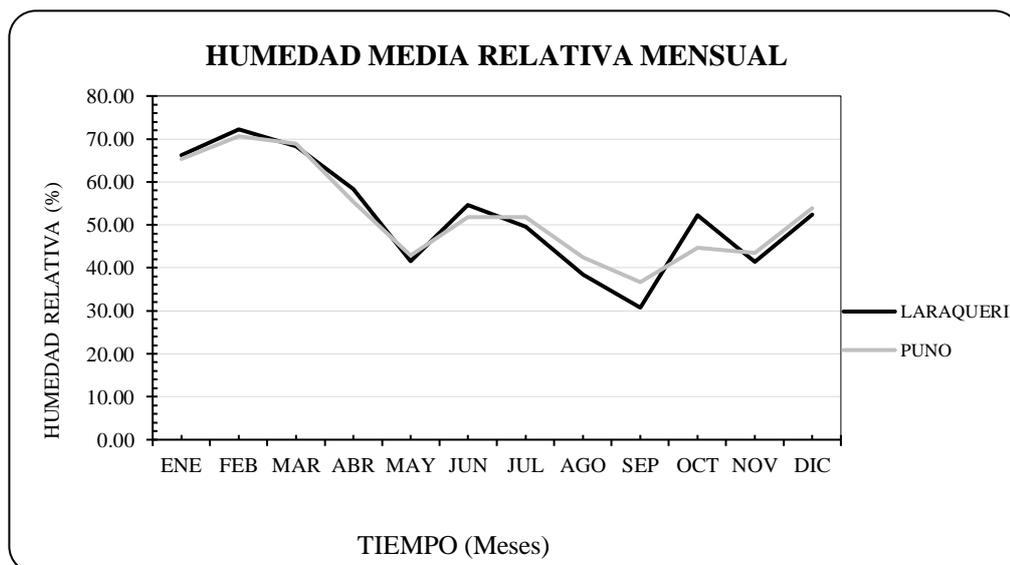


Figura 8. Humedad media relativa
Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

3.7.7. Velocidad del viento

La velocidad del viento varía según los meses, tal como se muestra en la figura 9, los vientos con mayor velocidad se presentan en los meses de agosto a noviembre.

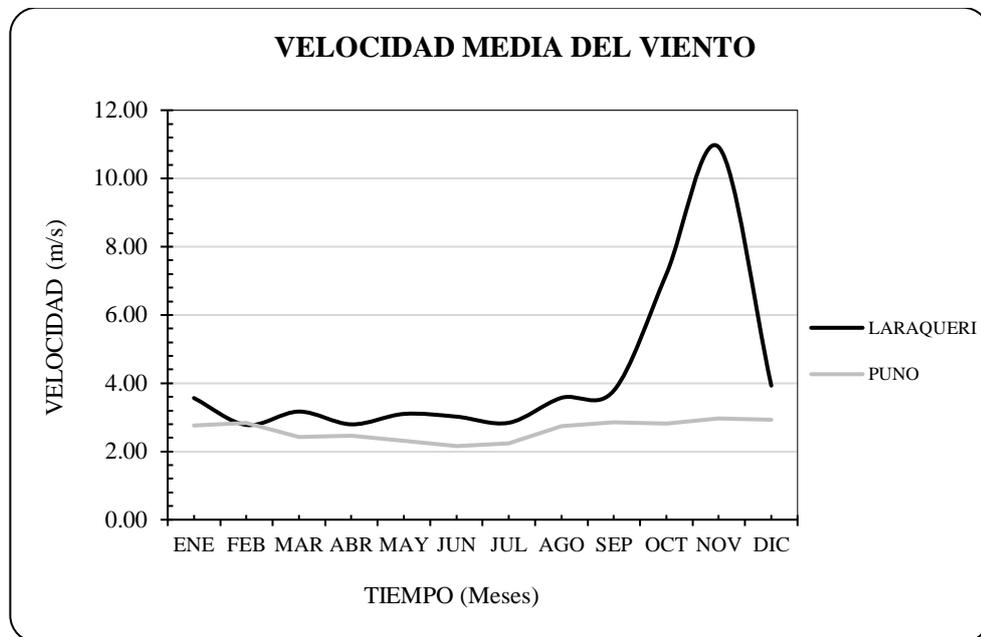


Figura 9. Velocidad media del viento
Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

3.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Parámetros de pH y CE comparado con los estándares de calidad ambiental, con fines de uso agrícola en el río Challamayo.

3.8.1. Fase de campo

a) Planificación del monitoreo

La planificación del monitoreo consistió en estrategias, planes, cronograma, metodología y criterios técnicos, previos a la evaluación de la calidad de agua para uso agrícola y se consideró los siguientes aspectos. Reconocimiento del ámbito o amplitud de la subcuenca en estudio, identificación de puntos de muestreo, vías de acceso hacia el área de estudio, obtención de datos en campo, medición de parámetros de calidad de agua para riego, disponibilidad de materiales y equipos de laboratorio para determinar los parámetros de calidad de agua para riego, metodología de análisis de



los parámetros para determinar la calidad de agua para riego, el tiempo necesario para lograr los trabajos programados.

b) Definición del ámbito de estudio

En esta etapa de investigación, se definió la amplitud de la subcuenca del río Challamayo, sus afluentes y sectores por la cual discurre el río. Para definir la extensión de la subcuenca se tomó previamente imágenes satelitales y carta nacional 1/10000 para tener en cuenta las vías de acceso a los puntos de muestreo. Así mismo se identificó las posibles zonas con presencia salina sódica y las extensas zonas agrícolas y ganaderas.

Seguidamente se estableció los puntos de muestreo a lo largo del río Challamayo, teniendo en cuenta los archivos bibliográficos sobre protocolo de monitoreo de recursos hídricos superficiales en el Perú (ANA, 2016), y considerando un muestreo según los puntos afluentes y otras consideraciones a nivel de cuenca (USDA, 2003), acorde al orden de corriente de los arroyos de la microcuenca (Gonzales y Alfaro, 2008) asimismo, se utilizó las herramientas informáticas, como Google Earth y ArcGis, luego se elaboró los mapas hidrográficos definitivos.

c) Desplazamiento hacia el Ámbito de Estudio

El trabajo de campo consistió en identificar los punto de muestreo, teniendo en cuenta los lugares, donde existe predominancia de suelos con presencia salina sódica, de acuerdo a la planificación del monitoreo establecido con anterioridad. Se tomó en cuenta las vías de acceso a los puntos de muestreo, así como el clima óptimo, para realizar el desplazamiento necesario. Acto seguido se ubicó los puntos de muestreo en campo, establecidos en la fase de planificación. Seguidamente se codificó los puntos de muestreo utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS). Las coordenadas se registraron

según sistema Universal Transversal Mercator UTM-WGS84. Por último, se procedió a tomar las muestras en los 10 puntos de muestreo del río Challamayo.

Así mismo en la zona de muestreo se realizó la descripción de las características, del entorno al cuerpo natural del agua. Los criterios para definir los puntos de monitoreo aguas arriba del afluente Coltamayo, se consideró una distancia suficientemente, lejos de la descarga, para asegurar que no influya en las características naturales del río Challamayo, se consideró de 50 a 100 m de acuerdo a la accesibilidad y otros componentes que alteren el recurso hídrico en estudio. Del mismo modo, para los puntos de monitoreo propios del río Challamayo, se consideró los puntos en la zona de recarga ver tabla 17, zona de transición y descarga, así como estructuras hidráulicas, acceso seguro.

Tabla 17: Ubicación de los puntos de muestreo en el río Challamayo.

Puntos	Coordenadas UTM		Lugar de referencia
	Este	Norte	
PM-1	372479.77	8245987.78	Naciente del río Challamayo en el río Condorire
PM-2	372571.04	8245829.82	Afluente de la comunidad de Sonsuri Pampa que se une al río Challamayo
PM-3	373074.51	8250856.13	Puente Challamayo
PM-4	373361.96	8251838.51	Puente Coltamayo
PM-5	371969.49	8252596.82	Puente Coltamayo (Chaca Pata Umalso)
PM-6	371692.83	8252450.79	Puente Challamayo (Vercuyo)
PM-7	367681.00	8255627.00	Puente que une los distritos de Tiquillaca y Vilque
PM-8	367162.36	8256609.76	Afluente Coltamayo al río Challamayo
PM-9	366883.64	8256619.85	Unión entre los río Challamayo y Coltamayo
PM-10	367745.52	8258669.68	Desembocadura del río en la laguna Umayo.

Fuente. Elaboración propia

En la figura N° 10 se muestra la ubicación de los 10 puntos de muestreo distribuidos en el afluente Coltamayo y río principal Challamayo. Del mismo modo, con la finalidad de orientarnos en el espacio y criterios para la elección de los puntos de muestreo en la figura N° 11 se muestra un esquema hidráulico de los puntos de muestreo ubicados en los centros poblados hasta su desembocadura en la laguna Umayo.

ESQUEMA HIDRAULICO DEL RÍO CHALALAMAYO (puntos de muestreo)

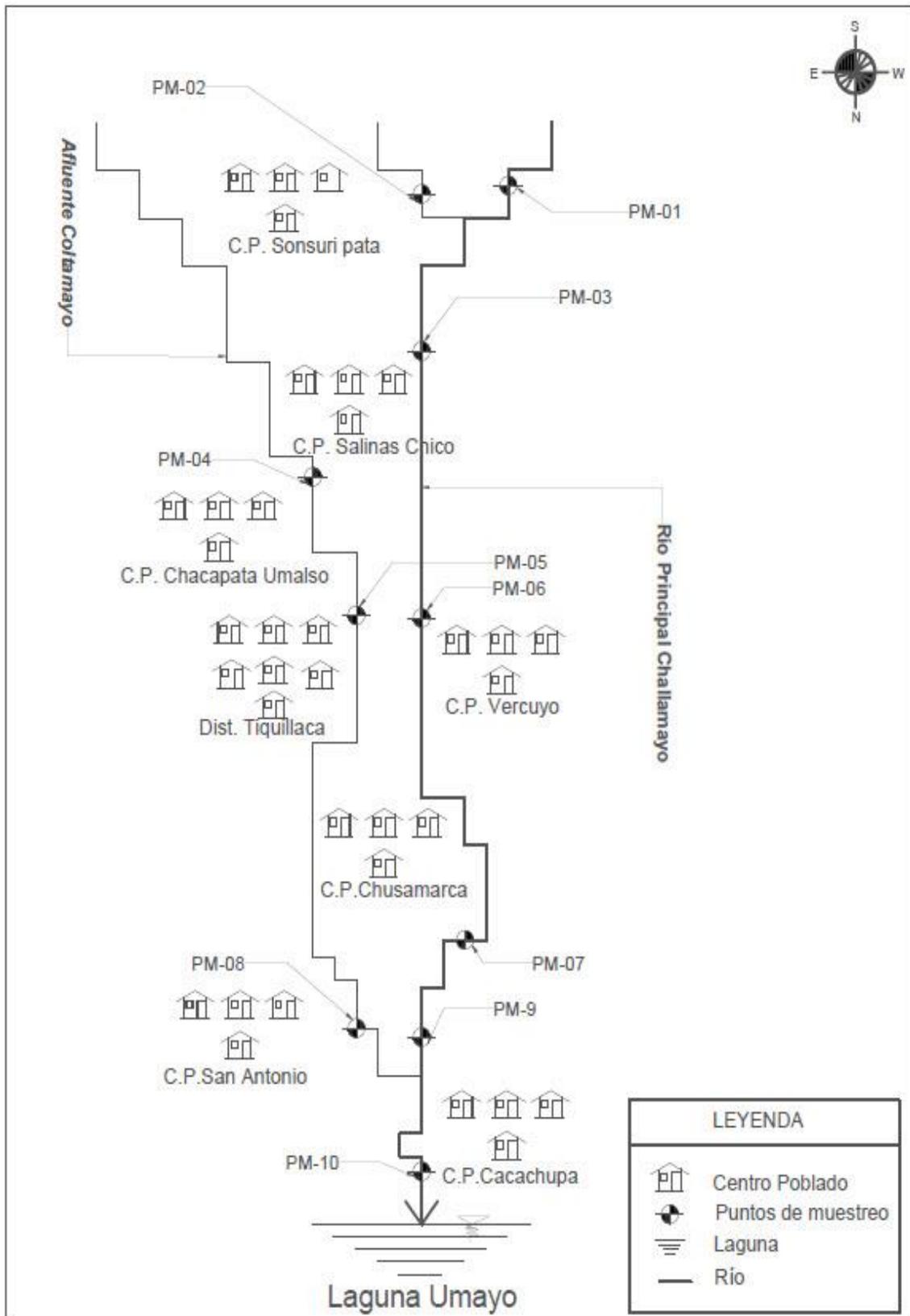


Figura 11. Esquema hidráulico del río Challamayo

Fuente: Elaboración propia

d) Toma de muestras



La toma de cada muestra de agua, se realizó con guantes descartables que fueron desechados luego de culminado el muestreo asimismo, se utilizó barbijo camisa de manga larga así como botas de protección personal tal como se nos indica en el protocolo de monitoreo de recursos hídricos superficiales.

Para la determinación del pH se utilizó un pH-metro para ello fue necesario el lavado de los electrodos con agua destilada. Se transfirió la muestra de agua en un vaso de precipitación colocando el electrodo dentro de la muestra. Seguidamente se tomó cuatro muestras de pH por cada punto de muestreo, para luego ser conducido al laboratorio para el ajuste del valor tomado. Del mismo modo, para la determinación de la conductividad eléctrica (CE) se tomó el valor in-situ con un conductímetro HANDILAF LF1, del mismo modo, para realizar el ajuste necesario, se tomó 4 muestras por cada punto de muestreo y se transportó al laboratorio.

Para la determinación y posterior evaluación de los valores de pH, conductividad eléctrica, aniones (sodio, potasio, calcio, magnesio,) y aniones (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, bicarbonatos), se tomaron las muestras en cada punto de muestreo, con 3 repeticiones, en frascos de vidrio y plástico que fueron esterilizados, una vez ingresada la muestra al envase, se cerró sumergido dentro del caudal, evitando tocar el interior de la botella o la cara interna de la tapa, se dejó una proporción del recipiente sin llenar ($\frac{1}{4}$ aproximadamente), de manera que el aire contenido en esta zona asegure un adecuado suministro de oxígeno. Las muestras se tomaron en contra de la corriente con ángulo apropiado para el ingreso del agua y en forma vertical. Luego se colocaron coolers, evitando la alteración de los parámetros, acto seguido se transportó al laboratorio para el respectivo análisis

e) Etiquetado y rotulado de las muestras de agua



Una vez que las muestras se encontraron dentro de los frascos estos fueron etiquetados, rotulados, con letra clara y legible, luego fue protegida con cinta adhesiva transparente. El contenido de la etiqueta registró la siguiente información:

- Punto de muestreo
- Numero de muestra (referido al orden de toma de la muestra).
- Código de identificación (red de monitoreo y punto de control).
- Descripción del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Tipo de análisis requerido
- Nombre del responsable del muestreo

f) Llenado de cadena de custodia

Se realizó el llenado de la cadena de custodia teniendo en consideración un formato establecido por la Autoridad Nacional del Agua con la información del registro datos de campo, indicando además parámetros a evaluar, tipo de frascos, tipo de muestra de agua o fuente, número de muestras, condiciones de conservación, responsable del muestreo, ubicación.

g) Conservación, transporte de las muestras y análisis de laboratorio

Los recipientes de vidrio y plásticos fueron embalados con plástico negro, para evitar la alteración de parámetros a consecuencia de la radiación solar, así mismo para evitar roturas y derrames, las muestras recolectadas se conservaron en coolers a baja temperatura, los cationes y aniones se determinaron en el laboratorio, tomando en cuenta el tiempo de preservación de la muestra de agua.

Las muestras de agua del río Challamayo fueron transportados al laboratorio de agua y suelos de Salcedo INIA en la estación experimental ILLPA-Puno ubicado en el centro poblado de Salcedo de la ciudad de Puno.

3.8.2. Fase de laboratorio

Concentraciones de cationes (sodio, potasio, calcio, magnesio) y aniones (cloruros, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos) del agua en el río Challamayo

a) Determinación de pH

Para la determinación de este parámetro se utilizó el equipo pH-metro (MARTINI MI 151). El procedimiento se inició higienizando el electrodo con agua destilada, luego se trasvasó 50 ml de muestra en los envases de vidrio para su posterior lectura, los recursos necesarios se nombran en la tabla 18.

Tabla 18: Determinación de pH por el método ASTM D1293. NTP 339.088

Materiales	Equipos	Reactivos
Vasos de vidrio Piseta	pH-metro	Agua destilada

Fuente: USDA (2004)

b) Determinación de conductividad eléctrica

Para la determinación de este parámetro se utilizó el equipo conductímetro (HANDILAF LF1) a través de la lectura directa en el mismo río, teniendo en cuenta la temperatura del agua y el factor de error de la máquina asimismo, para la lectura de éste parámetro se tuvo en cuenta, el documento protocolo de monitoreo de recursos hídricos superficiales en el Perú y los recursos necesarios para su desarrollo se mencionan en la tabla 19.

Tabla 19: Determinación de la CE por el método del conductímetro



Materiales	Equipos	Reactivos
Vasos de vidrio Piseta	Conductimetro	Agua destilada

Fuente: USDA (2004)

Los datos en unidades de $\mu S/cm$ que fueron mayores a $1000 \mu S/cm$ se convirtieron a mS/cm de la siguiente manera:

$$CE = \left(ce \frac{\mu S}{cm} \right) / 1000 * Fm * FT^0$$

CE = Conductividad eléctrica (mS/cm)
 Fm = Factor de máquina
 FT^0 = Factor de temperatura

c) Determinación de calcio + magnesio

Para determinar el contenido de Ca^{++} en el agua, previamente se ha determinado el resultado de $Ca^{++}+Mg^{++}$ para lo cual utilizamos el método de Etilendiaminotetracético EDTA, inmediatamente se ha extraído 5 ml de muestra, luego se agregó agua destilada hasta cubrir 50 ml en un Erlenmeyer de 125 ml, posteriormente se agregó 10 gotas de tampón seguido de 2 gotas de hidrocromo negro, acto seguido titulamos con el gasto de la sustancia EDTA, el procedimiento concluye cuando la muestra cambia de coloración, los materiales y equipos necesarios para la determinación de este parámetro se señalan en la tabla 20.

Tabla 20: Determinación de calcio + magnesio por el método EDTA

Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml Piseta	Bureta volumétrica	Agua destilada Tampón
Pipeta volumétrica de 5 ml		Hidrocromo negro EDTA

Fuente: USDA (2004)

$$Ca^{++}+Mg^{++} = Lt_{Ca+Mg} - LT_{Ca}$$



$$Mg^{++} = (Lt_{Ca+Mg} - LT_{Ca}) * 2 * Pe$$

$Ca^{++}+Mg^{++}$ = Solución de calcio más magnesio

Lt_{Ca+Mg} = Lectura de calcio más magnesio

LT_{Ca} = Lectura de titulación de calcio

Mg^{++} = Magnesio (mg/L)

d) Determinación de calcio

Para determinar el Ca^{++} presente en el agua utilizamos el método titulométrico de EDTA para lo cual recolectamos la muestra de cada uno de los puntos de muestreo y lo preservamos a una temperatura mínima, el procedimiento se inició separando un Erlenmeyer de 125 ml lo higienizamos con agua destilada luego agregamos 5 ml de la muestra y agua destilada hasta cubrir los 50 ml del Erlenmeyer. Luego se agregó 10 gotas de hidróxido de sodio y 2 gotas de indicador muraxide. Finalmente se realizó la titulación con la sustancia EDTA contenida en la bureta, con la ayuda de un agitador magnético, el procedimiento concluyó cuando el líquido cambió de color rosa a purpura. Los materiales y equipos necesarios se exponen en la tabla 21.

Tabla 21: Determinación de calcio por el método de EDTA

Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml	Bureta	Muraxcide
Piseta	volumétrica	Hidróxido de sodio
Pipeta volumétrica de 5 ml		EDTA(para la lectura)

Fuente: USDA (2004)

La fórmula para determinar el calcio está dado por la siguiente formula:

$$Ca^{++} = Lt_c * 2 * Peq$$

Ca^{++} = calcio (mg/L)

Lt_c = Lectura de titulación calcio

Peq = Peso equivalente

e) Determinación de carbonatos

Los CO_3^- presentes en el agua del río Challamayo, lo determinamos utilizando el método de ácido sulfúrico a 0.01N. Para ello separamos un Erlenmeyer de 125 ml se esterilizó con agua destilada luego agregamos 5 ml de la muestra posteriormente se agregó agua destilada hasta cubrir los 50 ml del Erlenmeyer. Consecutivamente agregamos 5 ml de fenolftaleína a la solución, finalmente se tituló con ácido sulfúrico a 0.01N, con la ayuda del agitador magnético. El dato se obtuvo a partir del gasto del ácido sulfúrico y en el momento en que cambió de coloración morado a transparente. En la tabla 22, se mencionan la relación de materiales y equipos para determinar este parámetro.

Tabla 22: Determinación de carbonatos por el método de ácido sulfúrico a 0.01 N

Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml	Bureta	Agua destilada
Piseta	volumétrica	fenolftaleína
Pipeta volumétrica de 5 ml		Ácido sulfúrico

Fuente: USDA (2004)

$$CO_3^{2-} = \frac{Lt_c * 10}{5} * Peq$$

CO_3^{2-} = carbonatos (mg/L), Lt_c =lectura de titulación carbonatos

10 = ácido sulfúrico,

5 = cantidad de alícuota, Peq = Peso equivalente

f) Determinación de bicarbonatos

El contenido de CO_3H^- en el río Challamayo, se determinó a través del método de ácido sulfúrico a 0.01N. Se necesitó un Erlenmeyer de 125 ml posteriormente se esterilizó con agua destilada y se agregó 5 ml de la muestra, seguidamente se adicionó agua destilada hasta cubrir los 50 ml. Posteriormente se agregó 5 gotas de anaranjado de metilo y se tituló con ácido sulfúrico a 0.01N, el procedimiento concluyó, con el cambio de

coloración de la muestra de amarillo a amarillo rojizo. En la tabla 23, se muestra la relación de materiales y equipos necesarios para determinar los bicarbonatos.

Tabla 23: Determinación de bicarbonatos por el método ácido sulfúrico a 0.01N

Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml	Bureta volumétrica	Agua destilada
Piseta	Agitador magnético	Anaranjado de metilo
Vaso precipitado		Ácido sulfúrico
Pipeta volumétrica de 5 ml		

Fuente: USDA (2004)

$$CO_3H^- = ((LT_{Bicar} - T) * 10) / 5 * Peq$$

CO_3H^- = Bicarbonatos (mg/L)

LT_{Bicar} = Lectura de titulación bicarbonatos

T = Testigo

Peq = Peso equivalente

g) Determinación de nitratos

Se tomó 50 ml de muestra de agua, luego se trasvasó a un envase balón de 30 ml, se agregó aleación devarda 1g. Seguidamente se añadió 30 ml de hidróxido de sodio, acompañado de 400 ml de agua destilada y se colocó en el equipo destilador Kjeldahl. Posteriormente en otro envase Erlenmeyer de 225 ml se añadió hasta cubrir 50 ml de ácido bórico luego se ha vertido 5 gotas de verde bromocresol, posteriormente se encendió la hornilla, se esperó hasta que solución alcance los 100 ml producto del vapor. Finalmente se extrajo la sustancia del equipo Kjeldahl, posteriormente se ha titulado con el gasto del ácido sulfúrico a 0.05 normal y con la ayuda de un agitador magnético hasta cambiar de coloración verde a rojo. Los materiales y equipos necesarios para determinar los nitratos se nombran en la tabla 24.

Tabla 24: Determinación de nitratos por el método de Kjeldahl



Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml	Equipo Kjeldahl	Agua destilada
Piseta		Ácido bórico
Vaso precipitado		Hidróxido de sodio
Pipeta volumétrica de 5 ml		verde bromocresol
		ácido sulfúrico

Fuente: USDA (2004)

$$NO_3^- = LT_{NIT} * 2 * Peq$$

NO_3^- = Nitratos (mg/L)

LT_{NIT} = Lectura de titulación

h) Determinación de sulfatos

Se midió 25 ml de muestra con una pipeta, seguidamente se agregó 75 ml de agua destilada ambos líquidos se trasvasaron en un Erlenmeyer de 125 ml. Luego se añadió cloruro de bario 2g aproximadamente, posteriormente separó otro envase con agua destilada y con la misma dosificación de cloruro de bario en un Erlenmeyer de 125 ml con una cantidad de 100 ml de agua destilada para los cálculos respectivos. Luego de 30 min, se llevó al equipo de espectrofotómetro de luz ultravioleta para su lectura a 340 de longitud de onda. Los materiales y equipos para su terminación se mencionan en la tabla 25.

Tabla 25: Determinación de sulfatos por el método de ASTD 516; NTP339.088

Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml	Espectrofotómetro de luz ultravioleta	Agua destilada
Piseta		Cloruro de bario
Pipeta volumétrica de 5 ml		

Fuente: USDA (2004)

$$SO_4^{2-} = ((C_{SO_4} * C_{env})/25)/Pa * Peq$$



SO_4^{2-} = Sulfatos (mg/L)

C_{SO_4} = Concentración de sulfatos (mg/L)

C_{env} = Contenido del envase

Pa = Peso atómico

Peq = Peso equivalente

i) Determinación de cloruros

Se inició higienizando un Erlenmeyer de 125 ml con agua destilada, seguidamente se ha extraído 5 ml de muestra de agua, luego se cubrió con agua destilada hasta colmar los 50 ml del envase Erlenmeyer de 125 ml, seguidamente se vertió cromato de potasio 2 ml aprox. finalmente se vertió nitrato de plata en la bureta para la titulación y se anotó el volumen gastado. Con la ayuda de un agitador magnético hasta que la solución viró de amarillo a rojo ladrillo. Los materiales y equipos necesarios se manifiestan en la tabla 26.

Tabla 26: Determinación de cloruros por el método de ASTD D512

Materiales	Equipos	Reactivos
Erlenmeyer de 125 ml	Bureta volumétrica	Agua destilada
Piseta	Agitador magnético	Cromato de potasio
Vaso precipitado		Nitrato de plata
Pipeta volumétrica de 5 ml		

Fuente: USDA (2004)

$$Cl^- = \frac{(Lt_{Cl} - T) * 10}{5} * Pe$$

Cl^- = Cloruros (mg/L)

Lt_{Cl} = Lectura de titulación cloruros

T = Testigo

Pe = Peso equivalente

j) Determinación de sodio

Se calibró el equipo fotómetro de llama (QUIMIS), para ello se utilizó soluciones de Flama Photometer Standard (solución que contiene sodio: 140 meq/L y potasio: 5meq/L), también se utilizó la solución Flame Photometer Estándar Lithium Stock Concentrate (1500meq Li/L en un envase), seguidamente se tomó el envase y se realizó la lectura de manera directa. Los materiales y equipos para determinar el sodio se exponen en la tabla 27.

Tabla 27: Determinación de sodio por el método de fotometría de llama

Materiales	Equipos	Reactivos
Envase de vidrio Piseta	Fotómetro de llama	Agua destilada

Fuente: USDA (2004)

$$Na^+ = Lt_{Na} * Pe$$

Na^+ = Sodio (mg/L)

Lt_{Na} = Lectura de titulación de sodio

Pe = Peso equivalente

k) Determinación de potasio

Se inició calibrando el equipo fotómetro de llama (QUIMIS), se utilizó soluciones de (solución que contiene sodio: 140 meq/L y potasio: 5 meq/L en un envase propio), seguidamente se tomó la muestra de agua del envase y se realizó la lectura de manera directa. En la tabla 28 se menciona los materiales y equipos necesarios, para determinar el potasio.

Tabla 28: Determinación de potasio por el método de fotometría de llama

Materiales	Equipos	Reactivos
-------------------	----------------	------------------



Envase de vidrio	Fotómetro de llama	Agua
Piseta		destilada

Fuente: USDA (2004)

$$K^+ = LT_k * Peq$$

K^+ = Potasio (mg/L)

LT_k = Lectura de titulación potasio

Peq = Peso equivalente

3.8.3. Fase de gabinete

Índice de calidad del agua y su clasificación del río Challamayo

3.8.3.1. *Procesamiento de información*

Mediante los datos obtenidos en el laboratorio, se realizó los promedios correspondientes, producto de cuatro repeticiones de cada parámetro y en cada punto de muestreo, seguidamente se convirtió las unidades de medición.

a) **Parámetros de calidad del agua para riego**

Se obtuvo cuatro muestras por cada punto de muestreo, es decir cuatro repeticiones, este procedimiento se realizó en los 10 puntos de muestreo del río Challamayo. En seguida se evaluó si los datos obtenidos estaban dentro del rango usual de calidad del agua para riego, como el pH, CE y el contenido de cationes, aniones.

Los parámetros que nos permitió interpretar el grado de salinidad, sodicidad o toxicidad de las aguas del río Challamayo implementado por la FAO fueron:

- Relación de adsorción de sodio diagrama Riverside
- Dureza del agua
- Carbonato de sodio residual
- Índice Scott
- Clasificación de aguas para riegos según Wilcox



- Salinidad efectiva

Previamente las unidades de estos datos obtenidos en el laboratorio se convirtieron de meq/L a mg/L, esta elección se realizó según los indicadores de salinidad y sodicidad establecidos por la FAO. Así mismo se graficó los resultados y se verificó según los criterios para evaluar la calidad de agua para riego, implementado por la FAO. Para ello usamos la herramienta informática de Microsoft Excel.

b) Estándares de calidad ambiental para aguas

Se realizó la comparación entre los datos calculados, a partir del resultado de laboratorio, con los estándares de calidad ambiental para aguas categoría tres, como documento fundamental se contrasto con el D.S. 004-2017 MINAM teniendo en consideración parámetros necesarios considerados para la calidad de agua para riego.

c) Índice de calidad de agua para riego

Se utilizó los parámetros necesarios, para determinar el índice de calidad de las aguas, consideradas en los estándares de calidad ambiental para aguas de riego y se clasificó según el ICA-PE, teniendo en cuenta la amplitud, frecuencia y alcance de los parámetros. Para este procedimiento se tomó 5 parámetros, y luego se obtuvo el índice de la calidad del agua para riego del río Challamayo, el procedimiento se realizó para cada uno de los 10 puntos de muestreo ubicado en diferentes centros poblados dentro de la subcuenca Challamayo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DEL RÍO CHALLAMAYO

La interpretación de resultados y evaluación del río Challamayo se realizó para cada parámetro en los meses de enero, febrero, marzo y abril; según los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Luego se valoró según el índice de calidad de aguas (ICA-PE). Del mismo modo, con los resultados de cationes y aniones en la tabla 29 se valuó el riesgo de salinidad, sodicidad y toxicidad implementados por la FAO.

Tabla 29: Promedio de los 04 monitoreos del río Challamayo, Tiquillaca - 2019

Variables	Puntos de muestreo									
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
pH	8.6	9.0	8.7	8.8	9.1	8.8	9.0	9.5	8.8	9.0
CE (ms/cm)	0.01	0.03	0.02	0.3	0.3	0.0	0.04	0.25	0.10	0.20
STD (mg/L)	60.3	91.0	69.5	651.5	814.0	78.3	78.6	460.6	163.0	413.5
Na⁺ (mg/L)	172.6	168.9	181.8	1044.7	1106.2	242.2	286.1	953.9	420.9	826.6
K⁺ (mg/L)	145.6	170.2	158.0	189.1	82.9	16.6	18.5	190.4	126.4	54.5
SO₄⁻ (mg/L)	57.8	58.9	55.2	61.8	60.2	58.2	59.8	65.2	56.3	59.9
Mg⁺⁺ (mg/L)	14.4	16.1	17.6	21.8	31.9	27.6	27.1	27.8	23.8	50.1
Ca⁺⁺ (mg/L)	30.2	48.0	36.77	97.3	117.4	43.1	36.8	63.3	37.4	69.8
CO₃⁼ (mg/L)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.6	0.0	0.0	2.4
CO₃H⁻ (mg/L)	165.2	167.4	161.4	163.1	162.8	165.0	162.9	160.2	159.6	166.6
Cl⁻ (mg/L)	20.8	25.5	21.3	385.7	863.9	33.0	39.4	590.67	85.4	519.0
NO₃⁼ (mg/L)	150.7	53.8	64.2	60.9	75.5	75.0	67.3	54.5	67.2	84.3

Fuente: Elaboración propia

4.2. INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.2.1. Potencial de hidrogeno (pH)

En la figura 12, los valores más altos en este grupo de muestreo se han registrado en los meses de enero y febrero, superando los ECA 6.5 a 8.5 unidades de pH, lo cual indica que las aguas presentan un comportamiento alcalino Tevez (2016). Asimismo, en el mes de marzo, el pH se redujo en los PM-1 y PM-3, considerándose aptos para el riego,

sin embargo, en el resto de los puntos de muestreo, las agua resultaron ser alcalinas, por lo tanto, la calidad del agua en el tercer monitoreo, no es apta para el riego en los PM-2, PM-4, PM-6, PM-7, PM-8, PM-9 y PM-10. Del mismo modo, en el cuarto monitoreo los PM-1, PM-2, PM-3, PM-4 y PM-5, se consideran aptos el riego y en el resto de los puntos de muestreo las aguas tienen un comportamiento alcalino.

Las aguas del río Challamayo son alcalinas por su bajo contenido de hidrogeno, estos valores obedecen al equilibrio carbónico, a la actividad vital de los microorganismos acuáticos y en especial a la flora acuática (Romero, 2000).

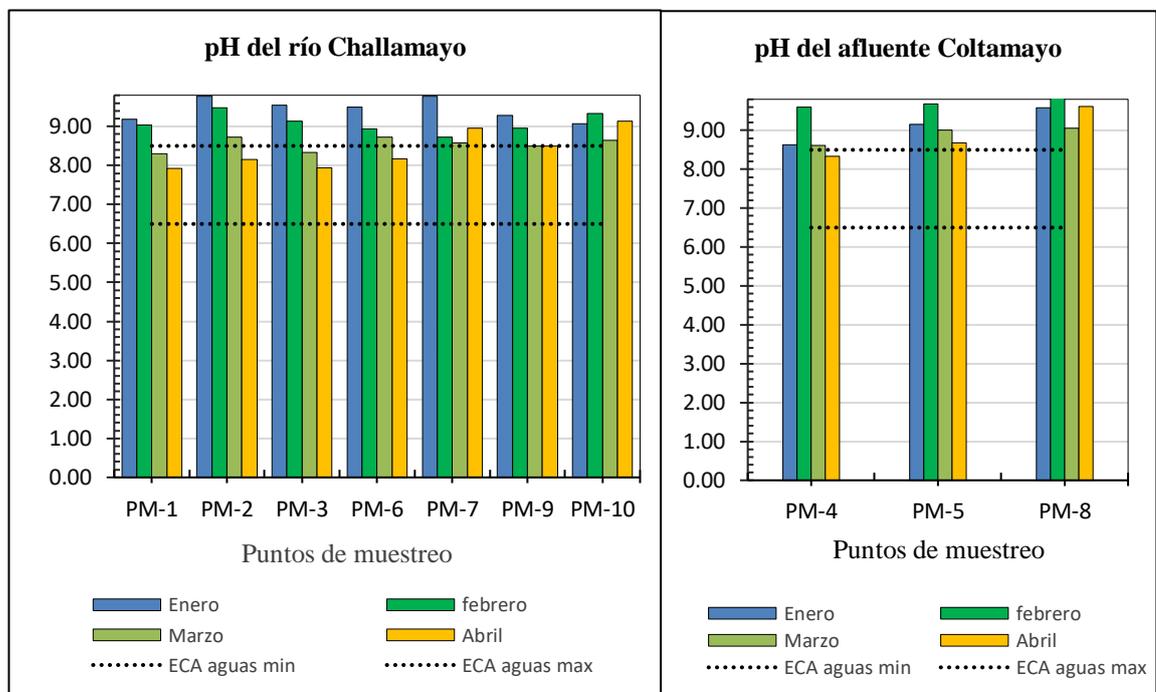


Figura 12. Parámetro pH del agua del río Challamayo y su afluente Coltamayo

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Conductividad eléctrica

En la figura 13, los valores más altos de concentración de sales en este grupo de muestreo, corresponden al primer monitoreo específicamente a los PM-4, PM-5 y PM-10, superando el ECA 2.5 mS/cm, significa que no son aptos para el riego. Sin embargo, en el resto de los puntos de muestreo la CE, no superan el valor establecido en el ECA.

Del mismo modo, en el resto de los monitoreos que corresponden a las fechas 03 de enero, 04 de febrero y 04 de abril, los valores encontrados en los 10 puntos de muestreo, no superan los ECA por lo tanto, significa que, son aptos para ser utilizados en la agricultura.

Los valores más bajos de CE se registraron en el mes de febrero, debido a la disolución de las sales, producto del incremento de la precipitación pluvial (Romero, 2000) ver figura 14. De la misma manera en la cabecera de la subcuenca que corresponden a los PM-1 y PM-2 y PM-3 en la zona de transición de la subcuenca, la CE es baja, debido a que la temperatura es directamente proporcional a la CE (Tevez, 2016), como se muestra en la figura 15. Por lo tanto, los valores más altos se ven reflejados en el afluente Coltamayo, que corresponde a los PM-4, PM-5, PM-8 y en la desembocadura del río Challamayo PM-10.

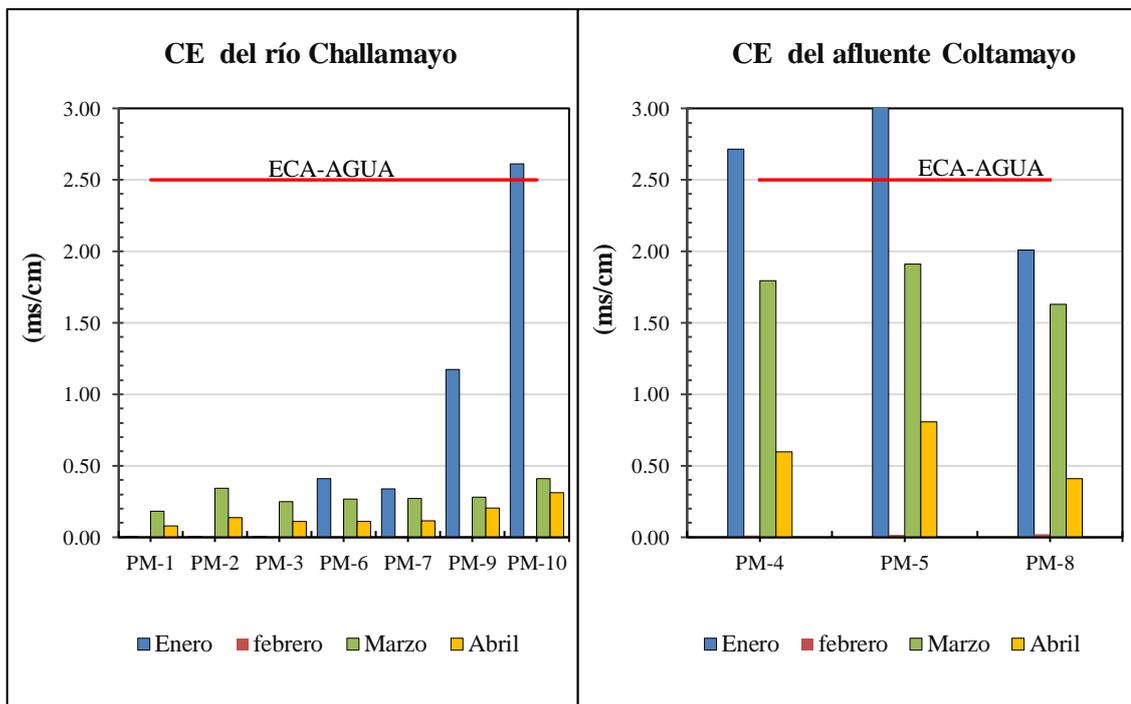


Figura 13. Conductividad eléctrica del río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de la CE fue proporcional a la precipitación, principalmente en el mes de febrero, las precipitaciones fueron elevadas por lo tanto, la CE descendió notablemente, tal como se ve en la figura 14.

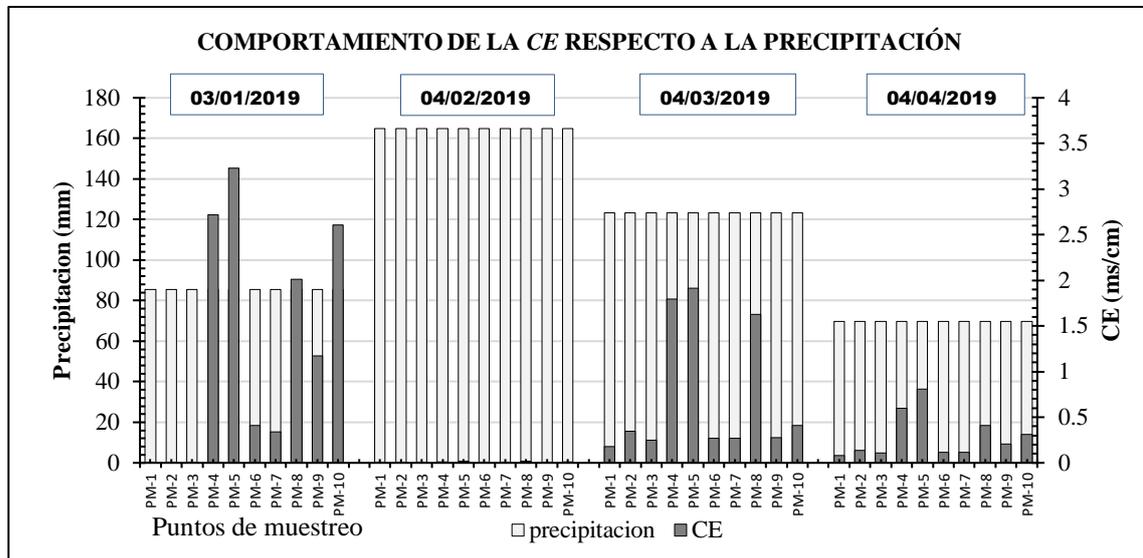


Figura 14. Comportamiento de la CE con relación a la precipitación
Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la CE es directamente proporcional a la temperatura, es decir a medida que incrementa la temperatura la CE también se incrementa (Rhoades, J.D., Chanduvi, F. y Lesch, S., 1999) ver figura 15, el incremento es de 2-3% por cada °C.

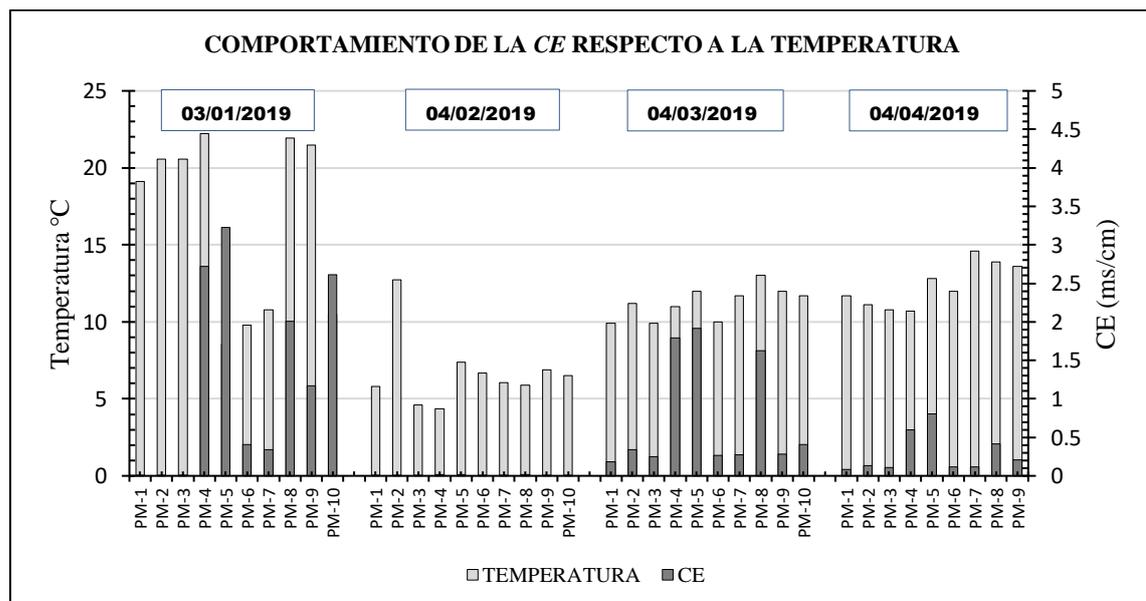


Figura 15. Comportamiento de CE con relación a la temperatura
Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Temperatura

En la figura 16, los valores más altos se registraron en el primer y último monitoreo de aguas, esto se debe a condiciones atmosféricas, hora de muestreo y a la zona altitudinal. Sin embargo, en el mes de febrero y marzo, la temperatura registró valores desde 4.37 a 13 °C. Este parámetro físico influye bastante en la aceleración de la actividad biológica, en el proceso metabólico del plancton, la presencia de altas temperaturas en el agua influye en la solubilidad de las sales y determinación del resto de parámetros como el pH, nitratos, conductividad eléctrica; las temperaturas más bajas se presentaron en los puntos ubicados en la cabecera de cuenca, en donde las aguas bajan directamente de las cordilleras, por lo tanto, en esta época las aguas están mucho más frías, no obstante presentan alguna estratificación superficial inestable, originadas por vientos e intensidad de radiación a profundidades, donde la transparencia del agua permite la dispersión de los rayos solares.

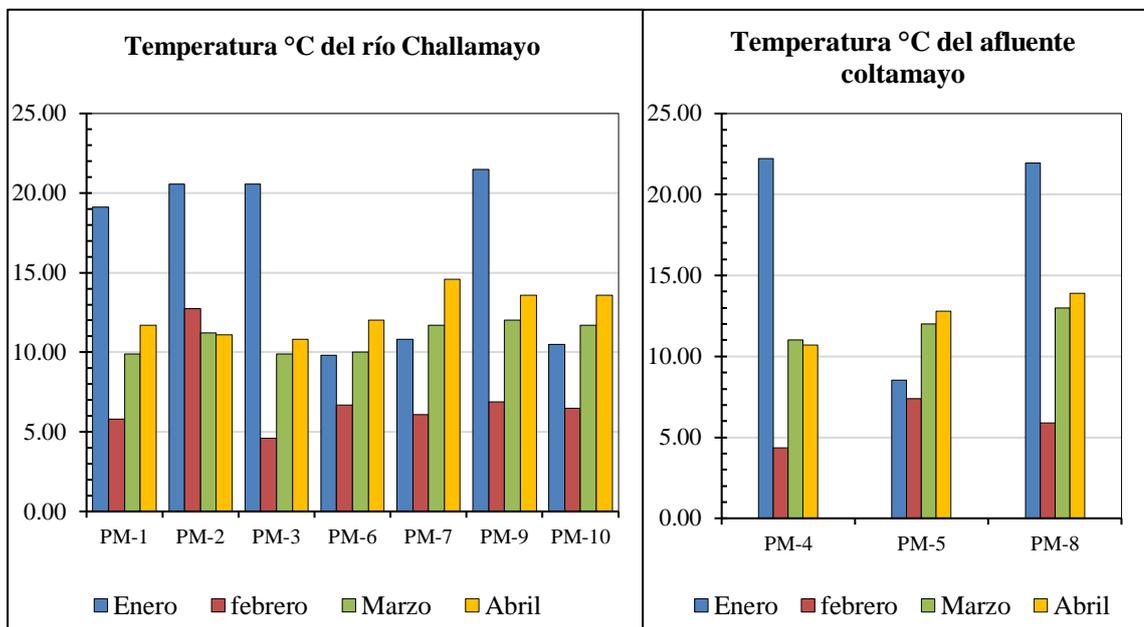


Figura 16. Temperatura en °C del río Challamayo
Fuente: Elaboración propia

Los mayores valores de temperatura fueron registrados en zonas donde el caudal del río es menor, zonas que a pesar de su escasa profundidad, está perturbada por la

cobertura vegetal de los fondos (algas y macrófitas), como es el caso del afluente Coltamayo y por la cantidad de sólidos disueltos que promueven fenómenos de difracción de los rayos en la columna de agua (Romero, 2000). La temperatura varía respecto al horario de muestreo, tal como se muestra en la figura 17, las temperaturas más altas se registran a partir del mediodía, sin embargo, todas las muestras tomadas en horarios de la mañana, presentan una temperatura menor a 10 °C.

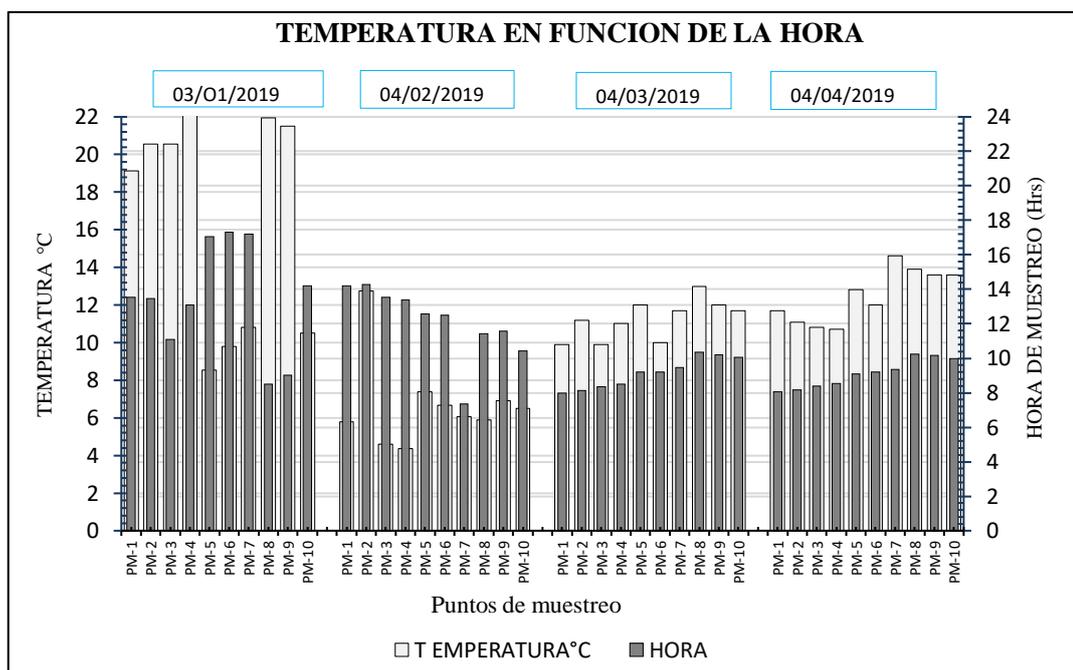


Figura 17. Temperatura en función de la hora
Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Sodio

En la figura 18, los valores de Na^+ más altos se han registrado en los PM-4, PM-5, PM-8 y PM-10, superando los valores ECA 960 mg/L, El contenido de sodio excesivo en las aguas del afluente Coltamayo, se debe a la presencia de un depósito de sal denominado Salinas ubicado en la naciente del afluente Coltamayo dentro del límite distrital de Tiquillaca. Los componentes salinos principales de los depósitos reconocidos en el Perú son los cloruros de sodio y potasio, sulfatos de sodio y magnesio. Dentro de

las cuales, la halita es el mineral de mayor ocurrencia tal como se observa en el depósito salino de Tiquillaca (Días V., Carpio, R. & Ramírez C., 2012), estos puntos de muestreo se ubican en el afluente Coltamayo, a excepción del PM-10, que corresponde a la desembocadura del río en estudio. Sin embargo, en el resto de los puntos de muestreo PM-1, PM-2, PM-3, PM-6, PM-7 y PM-9, no ha superado los ECA, por lo tanto, puede ser utilizado para el riego y no resultan tóxicos para la planta (Castellanos, 2004).

Este parámetro en altas concentraciones en el agua es peligroso para el riego, para la estructura del suelo y para la planta (Ayers & Westcot, 1985). La mayor concentración de Na^+ se registró en los meses de enero, marzo y abril, principalmente en los puntos de muestreo ubicados en el afluente Coltamayo.

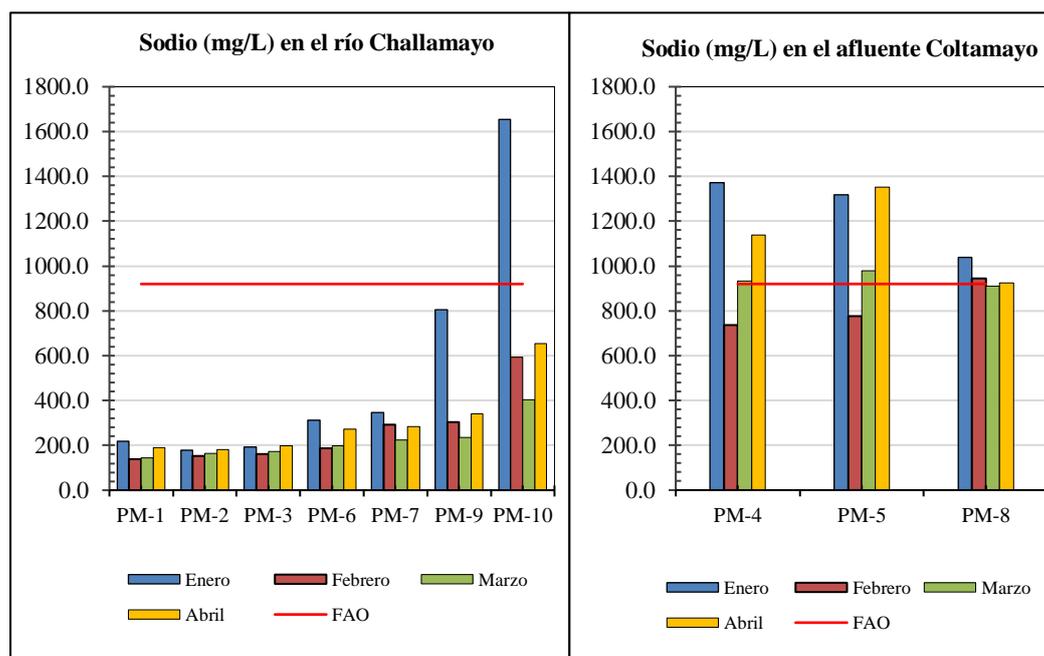


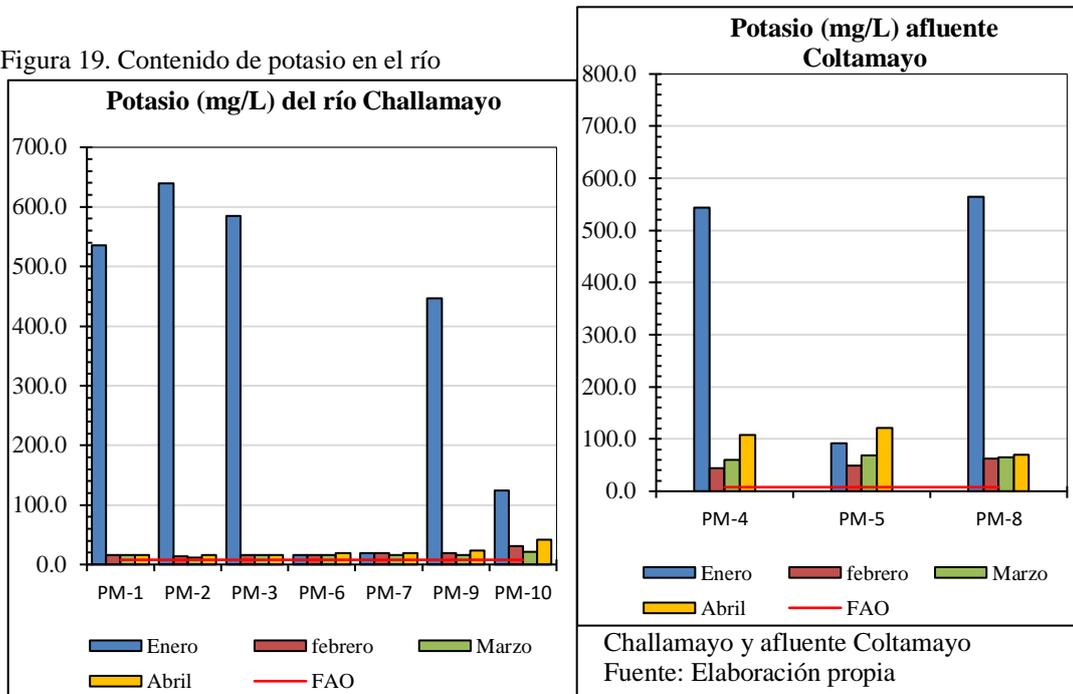
Figura 18. Contenido de sodio en el río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Potasio

En la figura 19, el valor de K^+ ha superado el límite 7.82 mg/L implementado por la FAO, en los 10 puntos de muestreo y durante los cuatro meses de monitoreo. Los valores más altos se registraron en los meses de enero y abril, principalmente en los puntos de muestreo ubicados en el afluente Coltamayo PM-4, PM-5 y PM-8. Esto se debe

a la presencia de un depósito de sal denominado Salinas ubicado en la naciente del afluente Coltamayo dentro del límite distrital de Tiquillaca. Los componentes salinos principales de los depósitos son los cloruros de sodio y potasio, sulfatos de sodio y magnesio. Dentro de las cuales, la halita es el mineral de mayor ocurrencia tal como se observa en el depósito salino de Tiquillaca (Días V., Carpio, R. & Ramírez C., 2012), así mismo la presencia excesiva de potasio se debe a la aparición de rocas sedimentaria con presencia de feldespatos potásicos, leucita, Silvita (Zhen Wu, 2009). Altas concentraciones de potasio causan deficiencia de magnesio y clorosis férrica asimismo, un desbalance de Mg^{++} y K^+ puede resultar tóxico para las plantas (Lopez, 2004).

Figura 19. Contenido de potasio en el río



4.2.6. Calcio

En la figura 20, el contenido de Ca^{++} en los 10 puntos de muestreo, durante los cuatro monitoreos de agua, no ha superado el valor 400 mg/L, establecido por la FAO,

por lo tanto, significa que el agua del río Challamayo, posee pequeñas concentraciones de calcio en sus aguas, su contenido bajo se debe a la poca presencia de roca caliza, en las nacientes del río (Días V., Carpio, R.& Ramírez C., 2012), entonces es poco beneficioso, teniendo en cuenta que el Ca^{++} fortalece la permeabilidad en el suelo y mantiene la estructura del suelo. Según los cuatro meses evaluados los valores fluctuaron entre 14.16 mg/L y 145.49 mg/L. Asimismo, los valores más altos se registraron en el afluente Coltamayo, que corresponde a los PM-4, PM-5 y PM-8, consecuentemente el valor se incrementó en la desembocadura del río Challamayo.

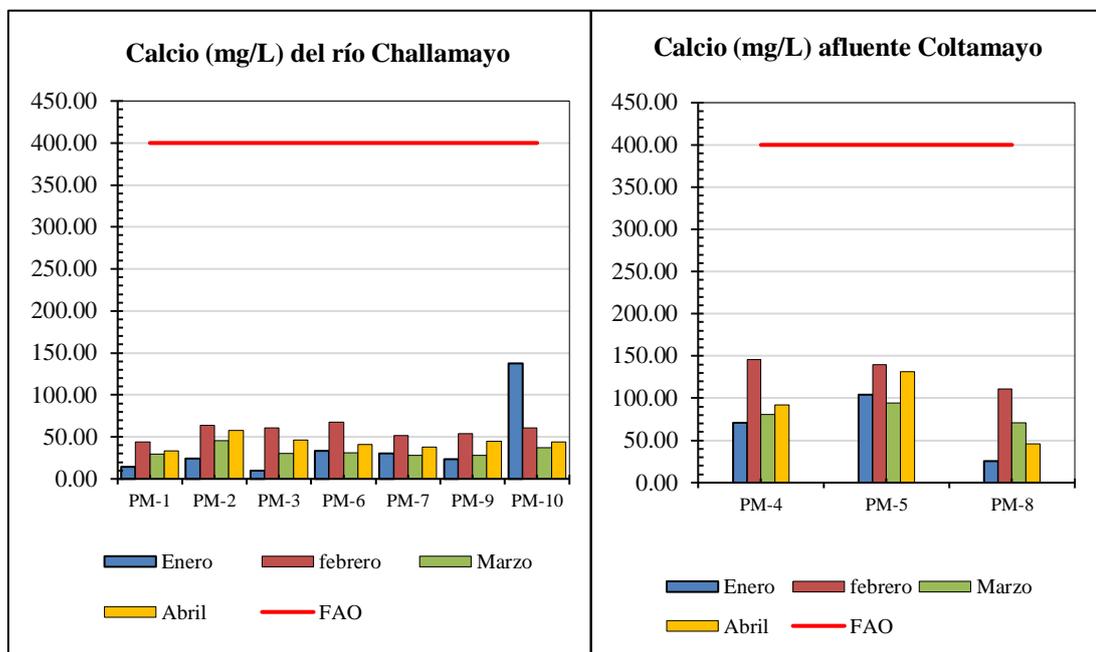


Figura 20. Contenido de calcio en el río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

4.2.7. Magnesio

En la figura 21, los valores obtenidos en los 10 puntos de muestreo, durante los cuatro monitores, no ha superado el valor máximo de 60.8 mg/L señalado por la FAO, a excepción del PM-10 en el mes de enero, superó el rango establecido.

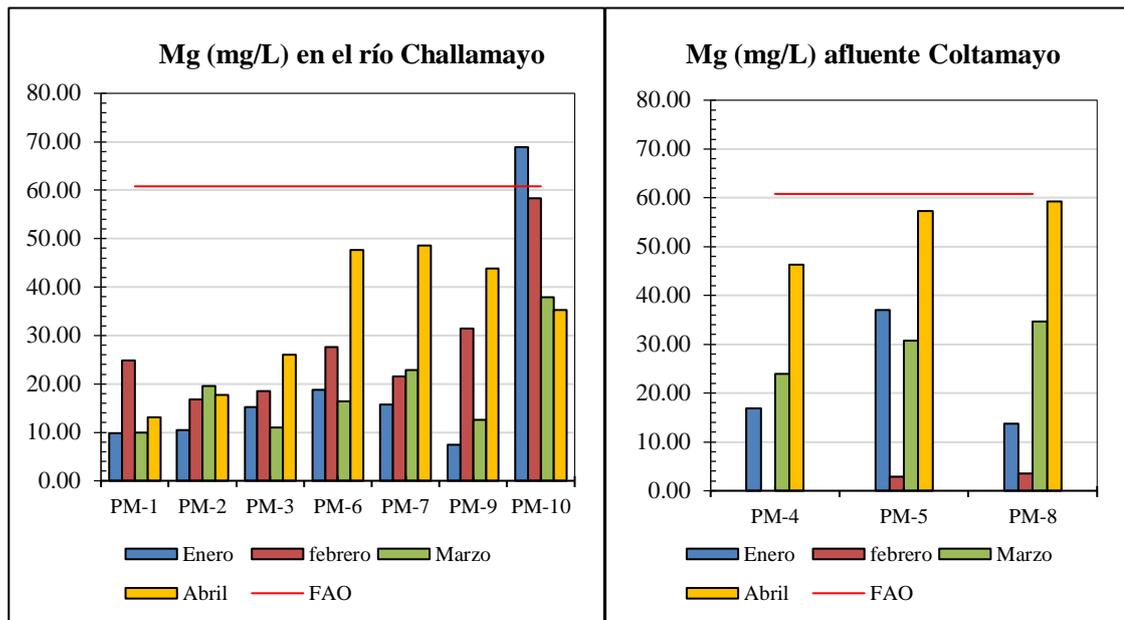


Figura 21. Contenido de magnesio en el río Challamayo y afluyente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

El Mg^{++} en grandes cantidades, es el elemento perjudicial al igual que el sodio en aguas para riego, este parámetro se manifiesta, al determinar la relación de adsorción de sodio del agua para riego o dureza del agua, si el valor es demasiado alto, afecta a la estructura del suelo (Gonzales, 2000).

4.2.8. Carbonatos

En la figura 22, los valores de CO_3^- más altos se han registrado en el primer monitoreo, principalmente en los PM-6, PM-7 y PM-10, superando el máximo valor de 3 mg/L establecido por la FAO. Sin embargo, la poca presencia de CO_3^- en el resto de los puntos de muestreo, está expresada en trazas es decir, el contenido es menor a 0.1 mg/L. Este parámetro es un indicador para estimar la alcalinidad de las aguas o la reacción alcalina que puede producir algunos fertilizantes. Cuando el agua entra en contacto con las rocas calizas se denomina aguas calcáreas (Tevez, 2016). Del mismo modo, cuando los CO_3^- y CO_3H^- son mayores que el Ca^{++} y Mg^{++} existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio (Gomez, 2014), sin embargo, no sucede con nuestros datos.

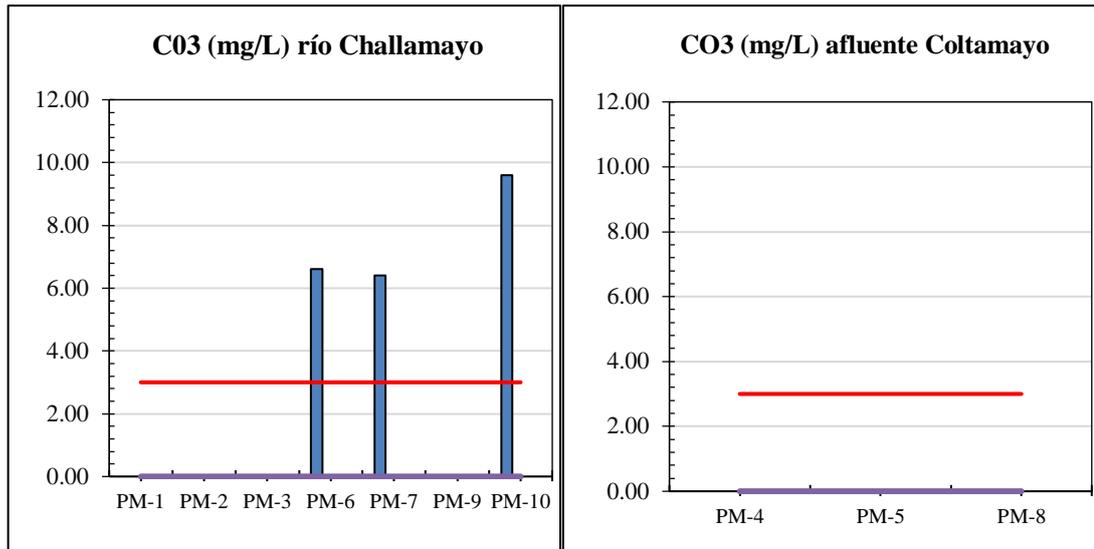


Figura 22. Contenido de carbonatos en el río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

4.2.9. Bicarbonatos

En la figura 23, el contenido de CO_3H^- , en los 10 puntos de muestreo, durante los cuatro monitoreos de agua, no ha superado el valor 610 mg/L, establecido por la FAO, por lo tanto, significa que el agua del río Challamayo, son aptas para ser utilizadas en la agricultura. Este parámetro proviene más del lavado de las rocas calizas que hace que parte del carbonato que la contiene, pase al agua aumentando de forma natural el pH. Los CO_3H^- al igual que los CO_3^{2-} son indicadores de alcalinidad en las aguas para riego (Tevez, 2016).

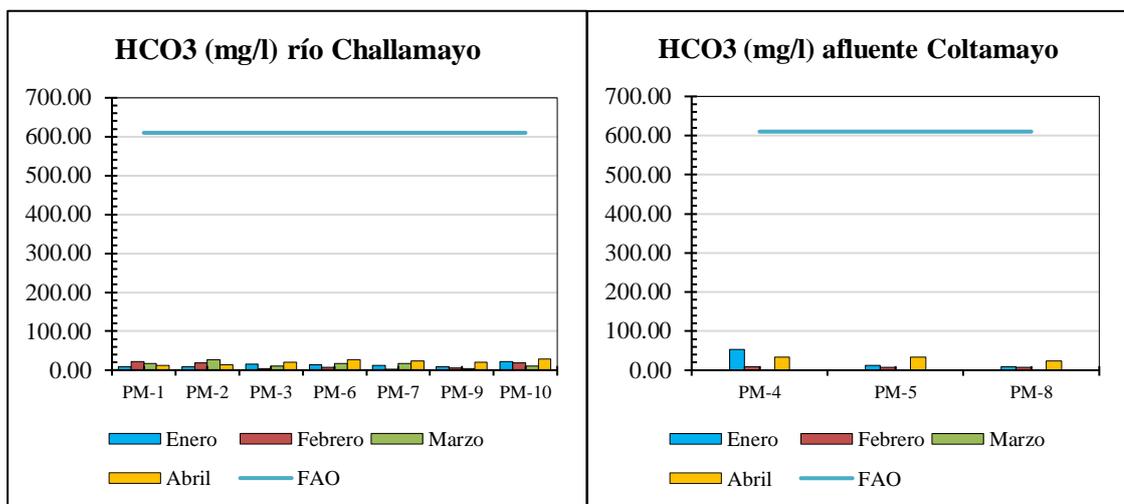


Figura 23. Contenido de bicarbonatos en el río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración Propia

4.2.10. Cloruros

En la figura 24, los valores más altos se registraron en los meses de enero y abril, principalmente en los PM-5 y PM-10, superando el valor máximo de 1100 mg/L instaurado por la FAO, lo cual significa que las aguas pueden generar problemas de toxicidad en los cultivos, si se regara con estas aguas (Gómez, 2014).

En los demás puntos de muestreo los Cl^- no superan el rango establecido por la FAO. Las mayores concentraciones de ion cloruro se manifestaron en los puntos de muestreo, ubicados en el afluente Coltamayo es decir PM-4, PM-5 y PM-8. Esto se debe a la presencia de un depósito de sal denominado Salinas ubicado en la naciente del afluente Coltamayo dentro del límite distrital de Tiquillaca (Días V., Carpio, R. & Ramírez C., 2012), del mismo modo, la presencia de los Cl^- principalmente, se debe a la disolución de depósitos minerales, como la halita (Tevez, 2016). Asimismo, la toxicidad más común en el agua de riego, es la del cloruro (Kaletová & Jurík, 2018).

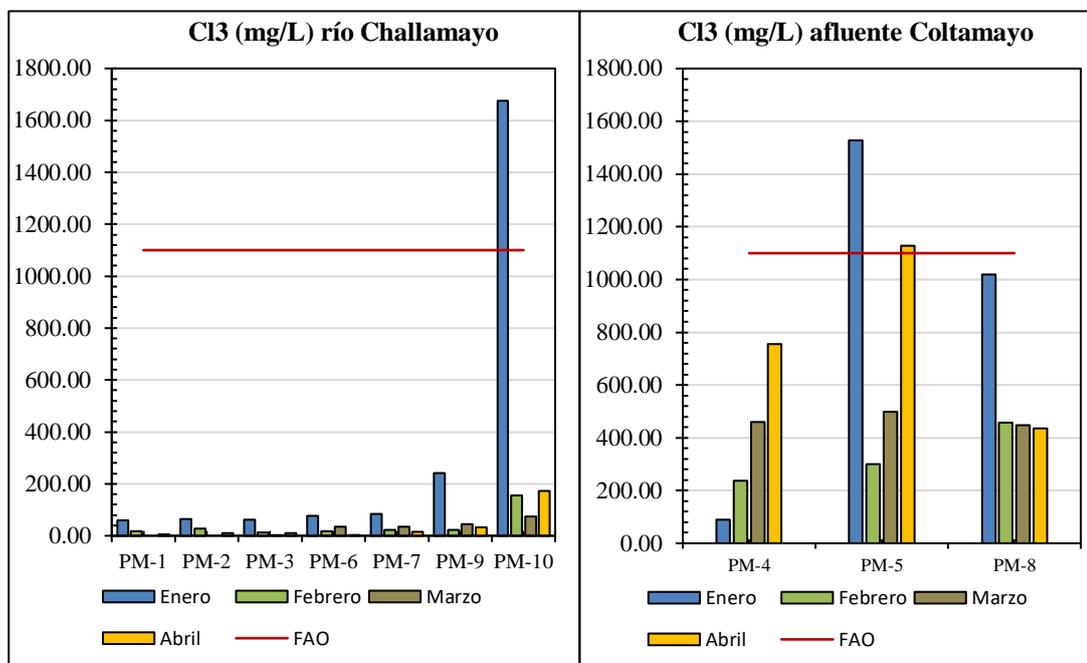


Figura 24. Contenido de cloruros en el río Challamayo y afluente Coltamayo

Fuente: Elaboración propia

4.2.11. Nitratos

En la figura 25, el único valor más alto de NO_3^- , se registró en el mes de abril en el PM-1, superando el máximo valor de 310 mg/L. Sin embargo, en el resto de los puntos de muestreo los valores de NO_3^- no han superado los contenidos máximos, para aguas de riego. Del mismo modo, en el resto de los meses de enero, febrero y marzo, los valores no han superado el límite máximo, en ningún punto de muestreo.

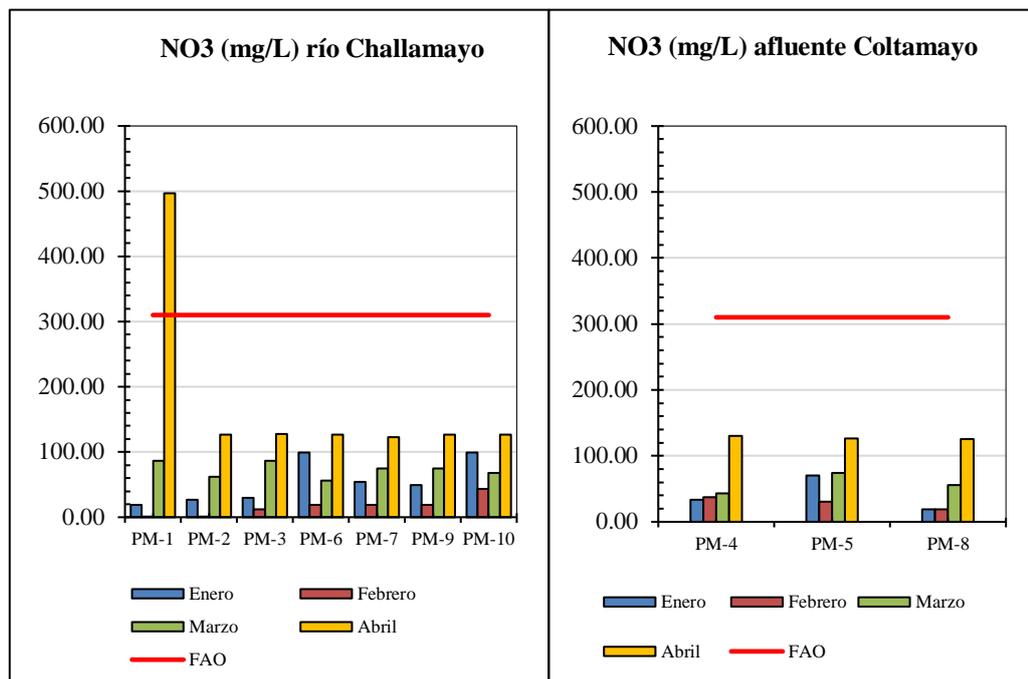


Figura 25. Contenido de nitratos en el río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

Los valores más altos de NO_3^- se registraron, en el mes abril en todos los puntos de muestreo, debido a la presencia de algas. Este parámetro es un indicador de contaminación orgánica proveniente de la nitrificación del nitrógeno orgánico, así mismo proviene de la disolución de los terrenos que lo contienen u oxidación completa del amoníaco (Tevez, 2016).

4.2.12. Sulfatos

En la figura 26, los valores de SO_4^- no han superado el máximo valor de 960 mg/L, establecido por la FAO asimismo, se notó un pequeño incremento en el mes de abril, para todos los puntos de muestreo.

Los SO_4^- son parámetros que no son convenientes, en aguas para riego, es uno de iones que contribuye a la salinidad, este parámetro proviene de la disolución de los yesos, oxidación de los sulfuros existentes en el agua (Romero, 2000).

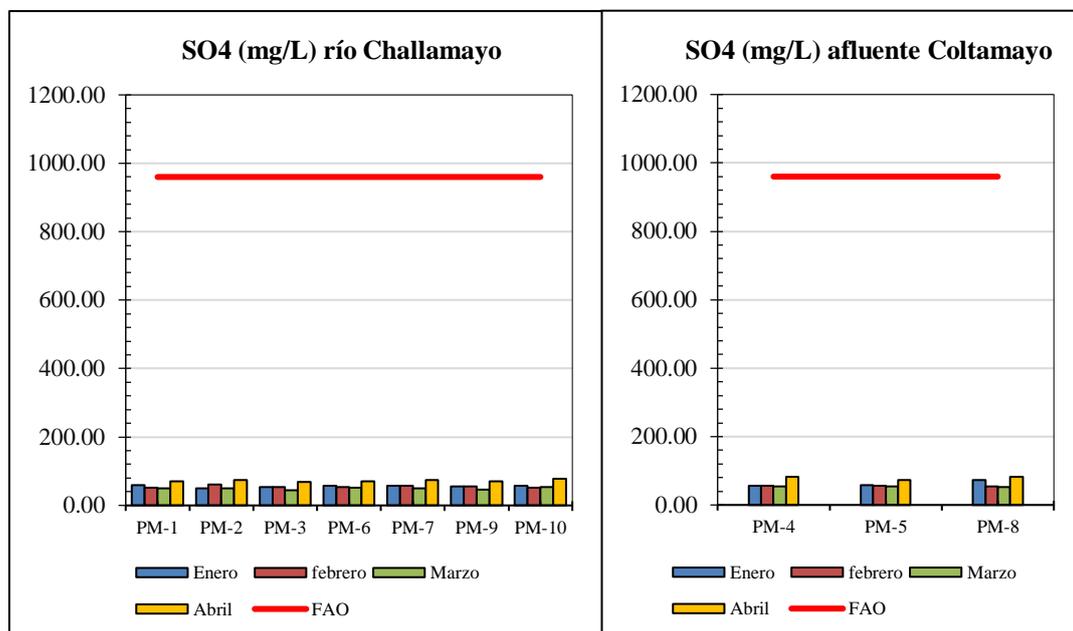


Figura 26. Contenido de sulfatos en el río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

4.2.13. Sólidos totales disueltos

En la figura 27, los valores más altos de sólidos totales disueltos se registraron en los puntos de muestreo PM-4, PM-5 y PM-8, ubicado en el afluente Coltamayo. Sin embargo, estos valores no superan el límite máximo de 2000 mg/L, establecido por la FAO, por lo tanto, son aptos para el uso agrícola. Parámetro que no se encuentra en los ECAs para la categoría tres riegos de vegetales, suscrito el decreto supremo 004-2017 MINAM.

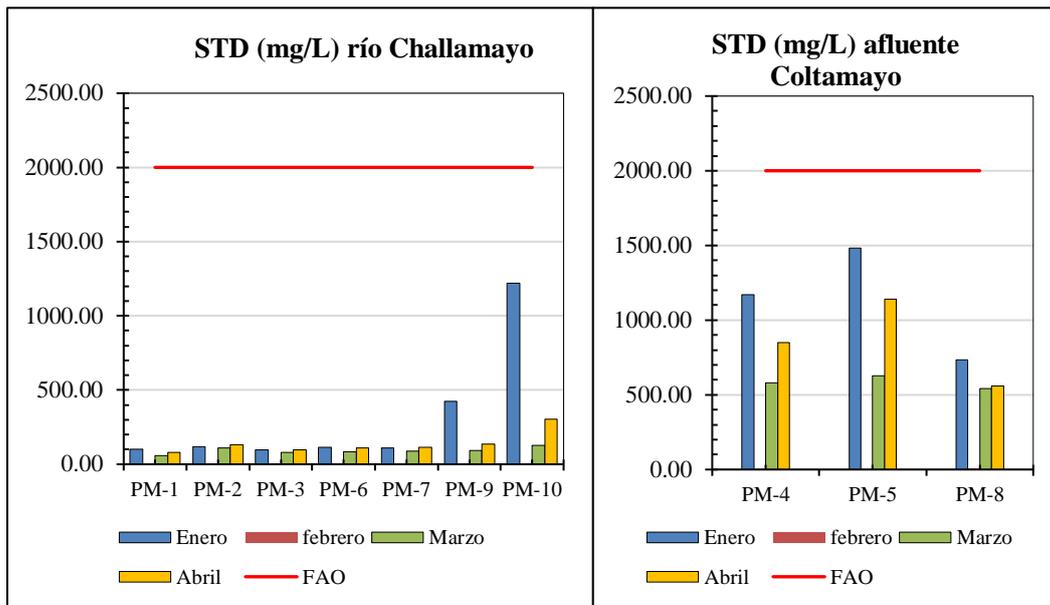


Figura 27. Sólidos totales disueltos del río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

Los valores de sólidos totales disueltos, son el resultado de la suma de las sales más los minerales, metales disueltos en el agua (Tevez, 2016), por lo tanto, estos valores se ven reflejados en los puntos de muestreo, ver figura 28. Del mismo modo, la concentración de sales, es directamente proporcional al contenido de sólidos totales disueltos, por esta razón, la CE se relacionó con los STD, teniendo en cuenta la aproximación del equivalente ($1 \text{ mg/L} = 0.00156 \text{ dS/m}$).

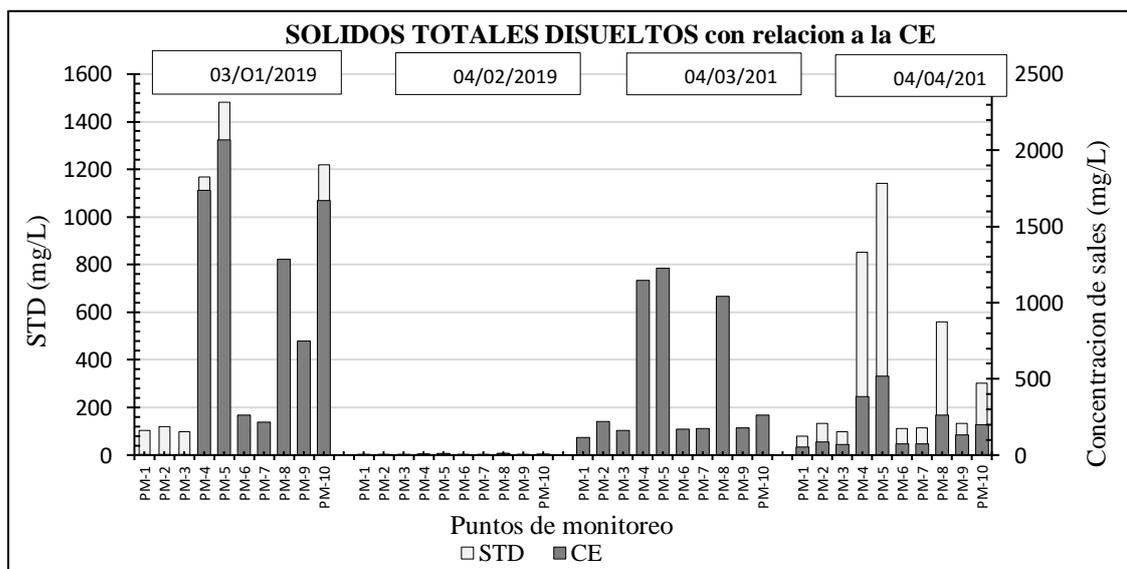


Figura 28. Sólidos totales disueltos con relación a la CE en el río Challamayo
Fuente: elaboración propia

4.3. EVALUACIÓN DEL ICA DEL RÍO CHALLAMAYO

4.3.1. Índice de calidad de los recursos hídricos superficiales (ICA –PE)

En la tabla 30, se muestra el resumen de resultados de cuatro monitoreos de agua, en la cual el índice de calidad del agua, es favorable a regular en los PM-4, PM-5 y PM-8, sin embargo, en el PM-10, la calidad del agua es mala, estos resultados corresponden al primer monitoreo (03 de enero) en donde hubo retraso de precipitaciones pluviales. En los demás monitoreos (04 de febrero, 04 de marzo y 04 de abril) el índice de la calidad del agua es de buena a regular (MINAGRI, 2017).

Tabla 30. Resumen del índice de la calidad del agua del río Challamayo

Puntos de muestreo	Tipo	enero	febrero	marzo	abril
PM-1	Río Challamayo	Buena	Buena	Excelente	Excelente
PM-2	Río Challamayo	Buena	Buena	Buena	Buena
PM-3	Río Challamayo	Buena	Buena	Excelente	Excelente
PM-4	Afluente Coltamayo	Favorable	Buena	Buena	Buena
PM-5	Afluente Coltamayo	Regular	Buena	Buena	Regular
PM-6	Río Challamayo	Buena	Buena	Buena	Buena
PM-7	Río Challamayo	Buena	Buena	Buena	Buena
PM-8	Afluente Coltamayo	Regular	Buena	Buena	Buena
PM-9	Río Challamayo	Buena	Buena	Buena	Buena
PM-10	Río Challamayo	Mala	Buena	Buena	Buena
		primer monitoreo	segundo monitoreo	tercer monitoreo	cuarto monitoreo

Fuente: elaboración propia

4.3.2. Relación de adsorción de sodio

En la figura 29, los valores de relación de adsorción de sodio más alto, se registraron en los PM-4, PM-5 y PM-8, ubicados en los centros poblados de Chaca Pata Umalso, Vercuyo, San Antonio respectivamente. Superando el valor máximo de 15 establecido por la FAO. Por lo tanto, predomina más el sodio en relación al calcio y magnesio (Gómez, 2004). Asimismo, los resultados en estos puntos nos conducen a tener problemas de toxicidad en las plantas (Lopez, 2004), incremento de la presión osmótica y alteración de la estructura del suelo, como la permeabilidad (Gonzales, 2000). Sin

embargo, en los PM-1, PM-2, PM-3, PM-6 y PM-7, los valores se encuentran dentro de rango 0-15 para uso agrícola, estos resultados, son comprobados con el contenido de sodio (Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985).

Fuente: Elaboración propia

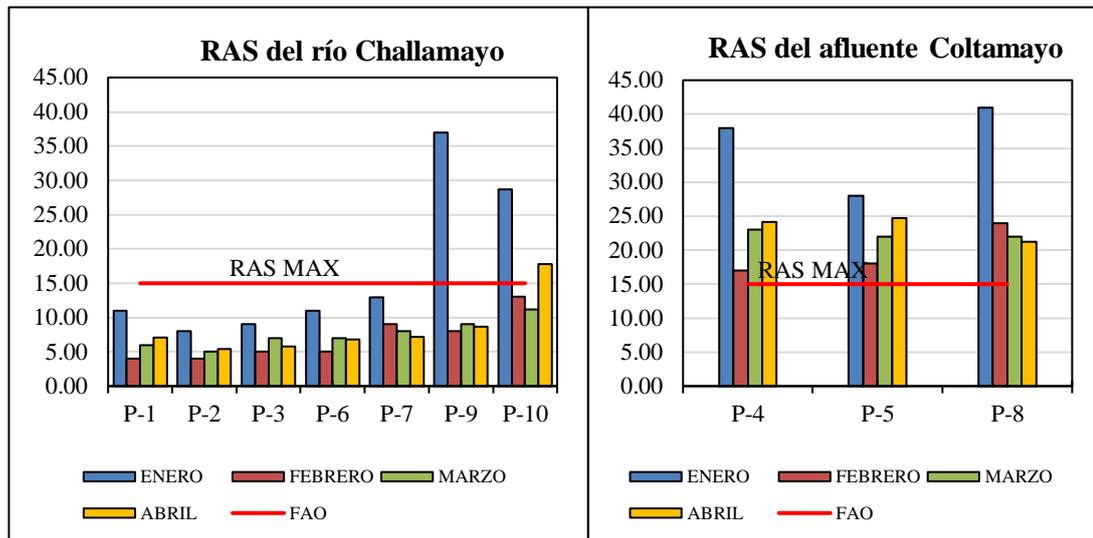


Figura 29. Relación de adsorción de sodio del río Challamayo y afluente Coltamayo

En la figura 30, se establece una relación inversa del sodio respecto a la suma del calcio y magnesio. Por consiguiente se tiene valores superiores de RAS, principalmente en el afluente Coltamayo y en la desembocadura del río Challamayo, por lo tanto, la predominancia del sodio en el agua es perjudicial en el suelo y en la planta.

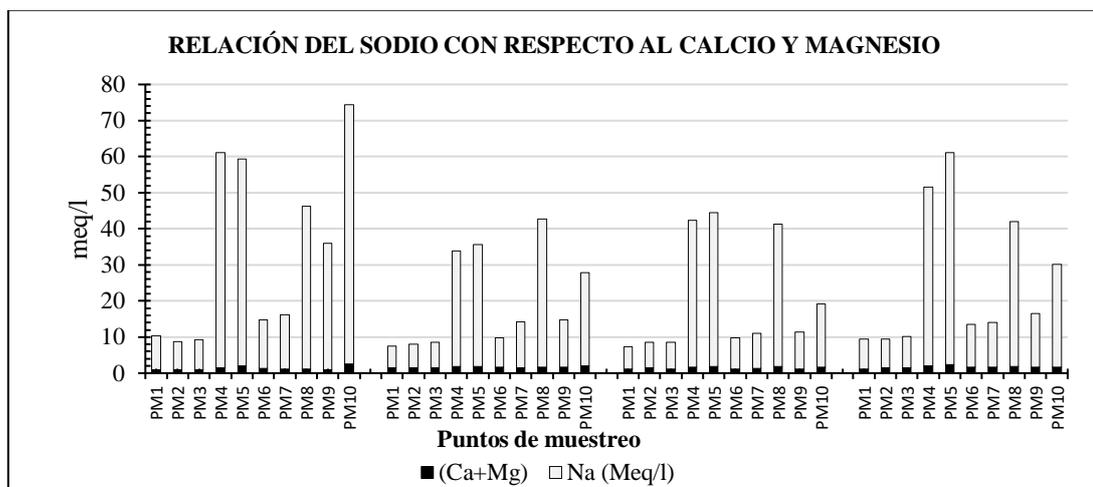


Figura 30. Relación del sodio con respecto al calcio y magnesio del río Challamayo

Fuente: Elaboración propia



4.3.3. Clasificación del agua para riego según Riverside

En la figura 31, conciertan los valores de CE y RAS, a medida que aumenta la concentración salina en el agua (CE) de riego, disminuye el riesgo de sodificación y por consiguiente se mantiene la estabilidad coloidal (Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985), no habiendo un efecto negativo sobre la infiltración. Según los cuatro monitoreos realizados en los meses de enero a abril los valores variaron según los puntos de muestreo ubicados en diferentes centros poblados, los resultados se muestran a continuación para cada punto de muestreo y durante los cuatro monitoreos.

PM-1, la clasificación del agua se incluyó dentro del grupo C1-S2 para el mes de enero por lo tanto, son aguas de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Así mismo son aguas con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo. En el resto de los meses corresponde al grupo C1-S1, es decir son Agua de baja salinidad y con bajo contenido en Na^+ , apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

PM-2, El agua para riego se incluyó dentro del grupo C1-S1, para los meses de enero, febrero y abril por lo tanto, son aguas de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. En el único mes más crítico es en el mes de marzo donde las aguas se incluyen dentro del grupo C2-S1, significa que son aguas de salinidad media, apta para el riego con bajo contenido en sodio.

PM-3, ubicado en el centro poblado Salinas Chico las aguas par riego se incluyen dentro del grupo C1-S1 para los meses de enero, febrero y abril por lo tanto, son aguas de baja salinidad, y con bajo contenido en sodio apta para el riego. En el único mes más crítico es en el mes de marzo, donde las aguas se incluyen dentro del grupo C2-S1, significa que



son aguas de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad así mismo son aguas con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos.

PM-4, ubicado en el puente Coltamayo del centro poblado de Chaca Pata Umalso, las aguas para riego se clasifican dentro del grupo C4-S4 para el mes de enero, significa que son aguas de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad así mismo son aguas con contenido muy alto de sodio. Para el mes de febrero se clasifican como C1-S2 significa que son aguas de baja salinidad aptas para el riego y con contenido medio en sodio con cierto peligro de acumulación de sodio. Para el mes de marzo las aguas se clasificaron como C3-S3 significa que son aguas de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje así mismo son aguas con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. En el mes de abril las aguas se clasificaron como C2-S3 significa que son aguas con salinidad media y con alto contenido de sodio.

PM-5, en el mes de enero la calidad del agua para riego se clasificó como C4-S4, significa que son aguas de son aguas de salinidad muy alta, se emplea solo en cultivos muy tolerantes a la salinidad, así mismo son aguas con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general. En el mes de febrero la calidad el agua se clasifica como C1-S2 que significa que son aguas de baja salinidad, con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo. En el mes de marzo las aguas se clasificaron como C3-S3 significa que son aguas de salinidad alta y con alto



contenido de sodio. Para el mes de abril las aguas se clasifican como C1-S3 significa que son aguas con baja salinidad y alto contenido de sodio.

PM-6, las aguas se clasificaron como C2-S2 significa que son aguas de salinidad media con contenido medio en sodio. Para el mes de febrero las aguas se incluyen dentro del grupo C1-S1 significa que el río presentó bajo contenido de sales y bajo contenido en sodio. Para el mes de marzo las aguas para riego se clasificaron como C2-S1 significa que se comportaron como aguas con salinidad media y bajo contenido de sodio. Del mismo modo, para el mes de abril las aguas se clasificaron como C1-S1 significa que las aguas tuvieron bajo contenido de sales y bajo contenido de sodio.

PM-7, se encuentra en el centro poblado de Chusamarca el agua para el mes de enero se incluye dentro grupo C2-S2 significa que son aguas de salinidad media y con contenido medio de sodio concierto riego de acumulación. Asimismo, en el mes febrero las aguas se clasificaron como C1-S1 significa que son aguas con bajo contenido en sales y en sodio. Del mismo modo, para el mes de marzo el agua para riego se clasificó como C2-S1 que significa que son aguas con contenido de salinidad media y bajo contenido de sodio. También en el mes de abril las aguas para riego se clasificaron como C1-S1 significa que son aguas de bajo contenido de salinidad y sodio.

PM-8, en el centro poblado de San Antonio, en el mes de enero sus aguas se integran al grupo C3-S4 significa que son aguas de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad así mismo son aguas con contenido muy alto de sodio. Asimismo, en mes de febrero las aguas se clasifican como C1-S3 significa que en este mes las aguas son con bajo contenido de salinidad y alto contenido de sodio. Seguidamente en el mes de marzo las aguas se incluyen dentro del grupo C3-



S3 significa que en este mes las aguas presentan alto contenido de sales y de sodio. Posteriormente en el mes de abril las aguas para riego se clasifican dentro del grupo C2-S3, significa que son aguas con salinidad media y alta contenido de sodio.

PM-9, ubicado en el centro poblado de San Antonio en la intersección con afluente Coltamayo, en enero las aguas se clasifican como C3-S4, significa que son aguas de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo asimismo, posee contenido muy alto de sodio, por otra parte en el mes de febrero las aguas se clasifican como C1-S1 significa que son aguas con baja concentración en sales y bajo contenido de sodio. Para el mes de marzo las aguas para riego se clasifican como C2-S1 significa que las aguas presentan concentración media de sales y bajo contenido de sodio. Por último, en el mes de abril las aguas para riego se clasificaron como C1-S1 significa que las aguas tienen baja concentración de sales y bajo contenido de sodio.

PM-10, cercano a la desembocadura del río Challamayo ubicado en el centro poblado de Cacachupa, para el mes de enero las aguas para riego se clasifican como C4-S4, significa que son aguas de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Asimismo, son aguas con contenido muy alto de sodio. Del mismo modo, en el mes de febrero se clasificaron como C1-S2 significa que son aguas con baja concentración de sales y con un contenido medio de sodio. Para los meses de marzo y abril se clasificaron como C2-S2 significa que son aguas de salinidad media, apta para el riego, así mismo tienen contenido medio en sodio, por lo tanto, existe el peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de

baja permeabilidad. En la figura 31, se realizó la clasificación de riesgo de salinidad y sodicidad, para ello fue necesario, tomar los datos de RAS y CE.

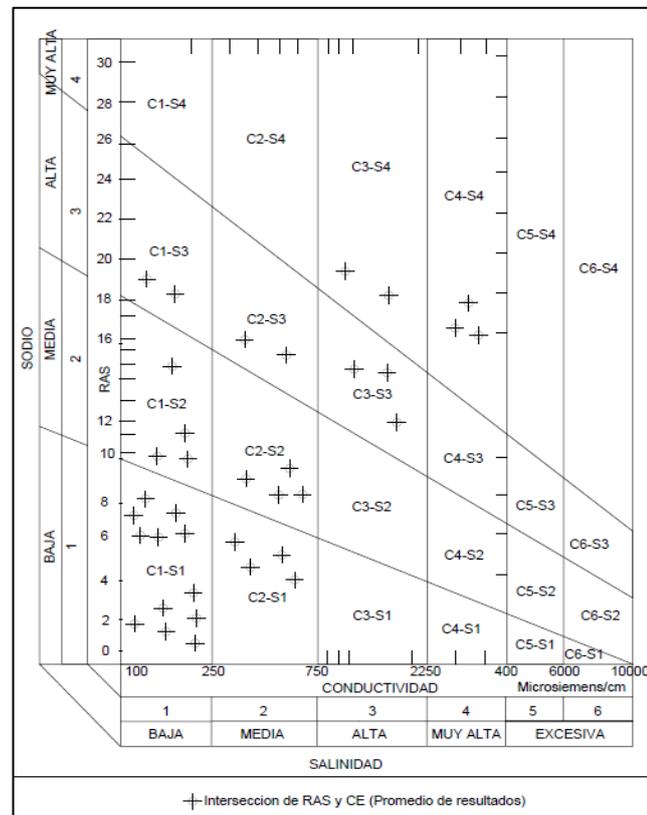


Figura 31. Clasificación del agua según Riverside de los 4 meses de monitoreo
Fuente: Elaboración propia

En la figura 32, se observa que en el mes de febrero a abril se tienen mayores problemas de sodio que de salinidad, por lo tanto, en estos meses hay riesgo de sodicidad del agua.

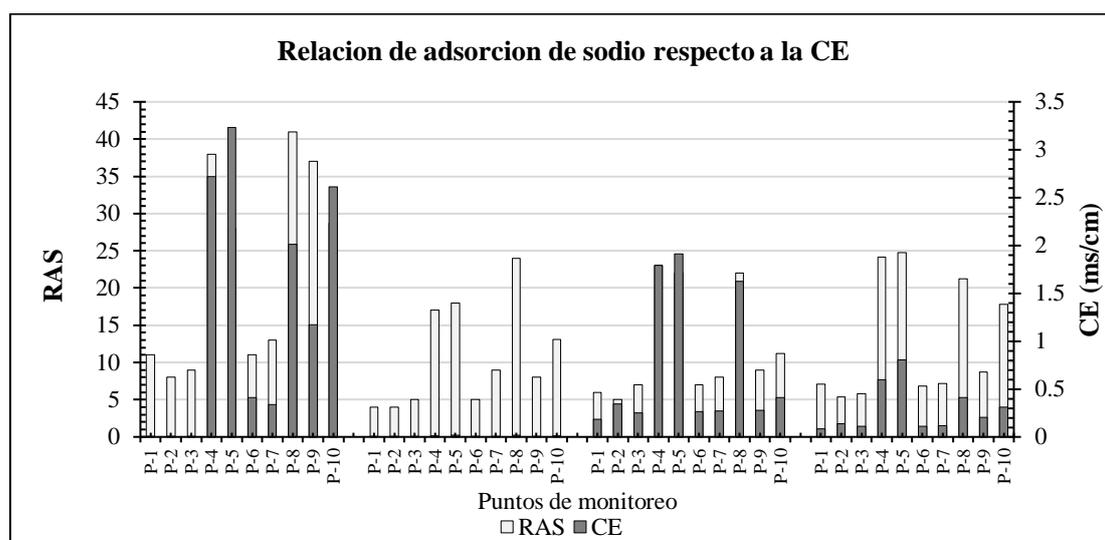


Figura 32. Relación de adsorción de sodio respecto a CE
Fuente: elaboración propia



4.3.4. Dureza del agua

En la figura 33, nos referimos a la concentración de compuestos minerales que hay en el agua, en particular sales de magnesio y calcio (Arcos, 2010). Según los análisis realizados en los cuatro monitoreos, se tuvo los siguientes resultados

En el **primer monitoreo** del mes de enero, en los PM-1, PM-2, PM-3, y PM-7, PM-8 y PM-9 se clasifican como **aguas blandas**. Sin embargo, en el PM-4 ubicado en centro poblado de Chaca Pata Umalso la dureza del agua fue de 24.68 que corresponde a **aguas semidura**. No obstante en el PM-5 ubicado en el centro poblado de Vercuyo la dureza del agua fue de 41.35, que corresponde **aguas duras**. Por último, en la desembocadura del río Challamayo que corresponde al PM-10, las aguas **son muy duras** por que el valor supera los 54 grados hidrométricos franceses.

En el **segundo monitoreo** de mes de febrero, el resultado del PM-1, ubicado en el centro poblado de Sonsuri Pata, se clasifican como aguas **semiblandas**, sin embargo, en los PM-2, PM-3, PM-6, PM-7, PM-8 y PM-9 ubicados en la zona de Sonsuri Pata, Salinas Chico, Vercuyo, Chusamarca, San Antonio respectivamente, el agua se clasificaron como **semiduras**. Por último, en los PM-4, PM-5 y PM-10 ubicados en los centros poblados de Chaca Pata Umalso, Vercuyo, Cacachupa respectivamente se clasificaron como aguas **duras**.

En el tercer monitoreo del mes de marzo, el resultado del PM-1 ubicado en el centro poblado de Sonsuri Pata el agua se clasifica como **blanda**. Asimismo, en los PM-2, PM-6 y PM-7 ubicados en el C.P. de Sonsuri Pata Vercuyo, Chusamarca respectivamente las aguas son **semiblandas**. Por el contrario en los PM-4, PM-8 y PM-10 se clasifican como aguas **semidura**. Por último, en el PM-5, ubicado en el centro poblado

de Vercuyo clasifica como aguas **dura**, es decir predomina considerablemente las concentraciones de magnesio y calcio.

En el cuarto monitoreo del mes de abril el PM-1 ubicado en el centro poblado de Sonsuri Pata la dureza del agua fue de 13.66 grados hidrométricos franceses ($^{\circ}$ HF) por lo tanto, se clasifica como **agua blanda**. Sin embargo, en el PM-2, ubicado en el centro poblado de Sonsuri Pata la dureza del agua se clasificó como **semiblanda**. Por el contrario, en los PM-3, PM-6, PM-7 y PM-10 ubicados los centros poblados de Salinas Chico, Vercuyo, Chusamarca y Cacachupa respectivamente la dureza del agua fluctuó entre 21.64 y 29.83 grados hidrométricos franceses que corresponde a aguas **semidura**. No obstante, en los PM-4 y PM-8 ubicados en los centros poblados de Chaca Pata Umalso y San Antonio respectivamente la dureza del agua se clasifica como aguas **duras**. Por último, en el PM-5 ubicado en el CP de Vercuyo la dureza del agua fue de 56.45 $^{\circ}$ HF lo cual se clasifica como agua **muy dura**.

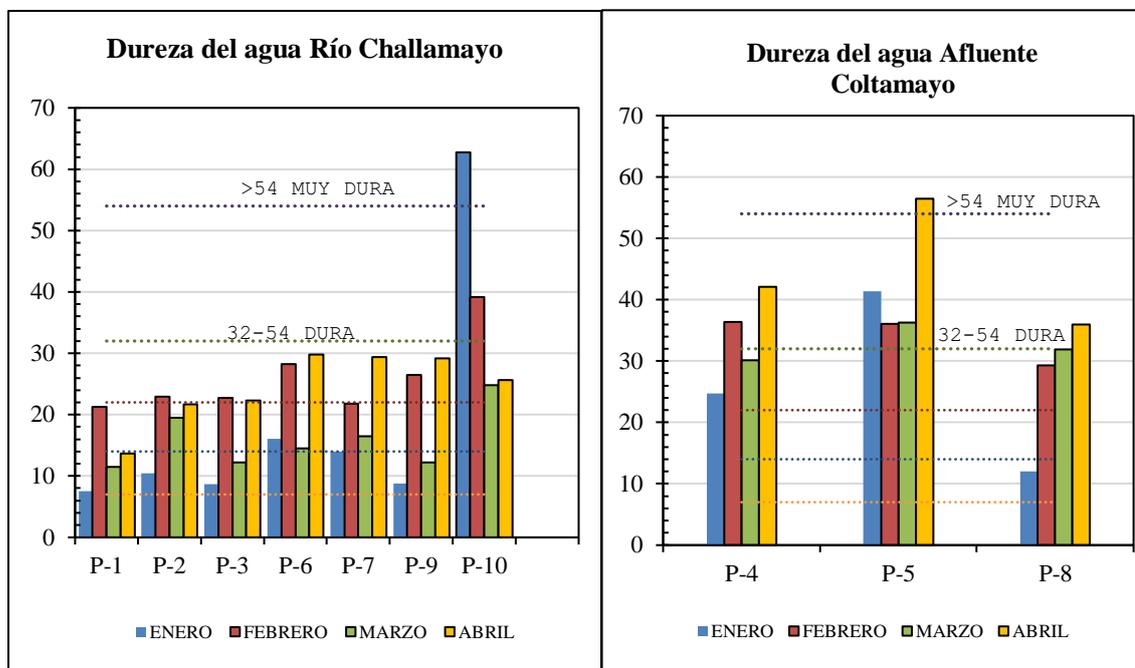


Figura 33. Dureza del agua del río Challamayo y afluente Coltamayo
Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Carbonato de sodio residual

El carbonato de sodio residual CSR indica la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes con los aniones y predice la acción degradante del agua sobre las plantas y el suelo (Arcos, 2010). En la figura 34, en los cuatro monitoreos, las muestras de agua no han reaccionado al indicador fenolftaleína, lo cual indicó que el contenido de carbonatos se encuentra en trazas (<0.1 mg/L) asimismo, los contenidos de bicarbonatos fueron menores en concentración, por lo tanto, fueron superados por los cationes calcio y magnesio al realizar la sustracción. Por esta razón salió negativo al igual que los resultados obtenidos por Bocanegra (2015). Finalmente, las aguas del río Challamayo se clasificaron como recomendables, según el CSR, esto se debe al bajo contenido de carbonatos y bicarbonatos.

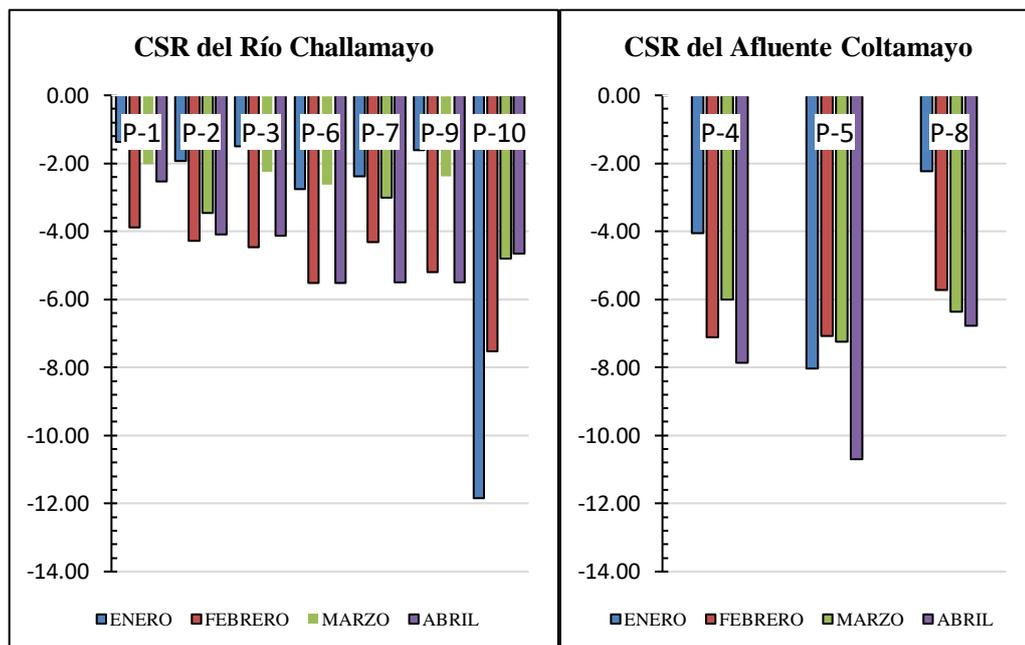


Figura 34. Carbonato de sodio residual del río Challamayo
Fuente: Elaboración propia

4.3.6. Índice Scott

El coeficiente al alcalímetro, índice Scott valora la calidad agronómica del agua en función de las concentraciones de ion Cl^- , Na^+ y $SO_4^{=}$ (Arcos, 2010). En la figura 35,



Según los monitoreos realizados en los cuatro meses, el ion Na^+ es el valor que supera a la suma de los iones de SO_4^- y Cl^- y los resultados obtenidos, es como a continuación se detallan.

En el primer monitoreo del mes de enero el resultado obtenido en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicado en el centro poblado de Salinas Chico el índice Scott clasifica a las aguas como **mediocre**. Sin embargo, en el PM-4 ubicado en el centro poblado de Chaca Pata Umalso y PM-5 ubicado en el centro poblado de Vercuyo el índice Scott es de 0.502 y 0.001 respectivamente por lo tanto, se clasifican como aguas **malas** para ser utilizadas en el riego. No obstante en los PM-6 en Vercuyo y PM-7 ubicados en el centro poblado de Chusamarca el valor que se le asigna a la calidad del agua para riego es **mediocre**. Por el contrario, en los PM-8, PM-9 y PM-10 ubicado en el centro poblado de San Antonio y Cacachupa el valor que se le asigna a la calidad del agua para riego es **mala**.

En el segundo monitoreo del mes de febrero el resultado obtenido en el PM-1 ubicado en el CP de Sonsuri Pata la calidad del agua para riego fue **tolerable**. Por el contrario, en los PM-2 y PM-3, ubicados en los centros poblados de Sonsuri Pata y Salinas Chico respectivamente, la calidad del agua para riego es **mediocre**. Sin embargo, en los PM-4 y PM-5, la calidad de agua para riego es **mala**. No obstante en los PM-6 y PM-7 ubicados en los centros poblados de Vercuyo y Chusamarca respectivamente califican como agua **mediocre**. Asimismo, en el PM-8 ubicado en el centro poblado de San Antonio, las aguas para riego califican como **mala**. Por último, en los PM-9 y PM-10 ubicados en el centro poblado de San Antonio y Cacachupa las aguas para riego se clasifican como **mediocre**.

En el tercer monitoreo del mes de marzo, los resultados obtenidos en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en el centro poblado de Sonsuri Pata y Salinas Chico, la calidad de agua para riego es **mediocre**. Sin embargo, en los PM-4 y PM-5 ubicados en los centros poblados de Chaca Pata Umalso y Vercuyo la calidad del agua para riego es **mala**. En los PM-6 y PM-7 ubicados en los centros poblados de Vercuyo y Chusamarca la calidad del agua para riego es **mediocre**. Por el contrario, en el PM-8 ubicado en el centro poblado de San Antonio la calidad del agua para riego es **mala**. Por último, en los PM-9 y PM-10 ubicados en el centro poblado de San Antonio y Cacachupa la calidad del agua para riego es **mediocre**.

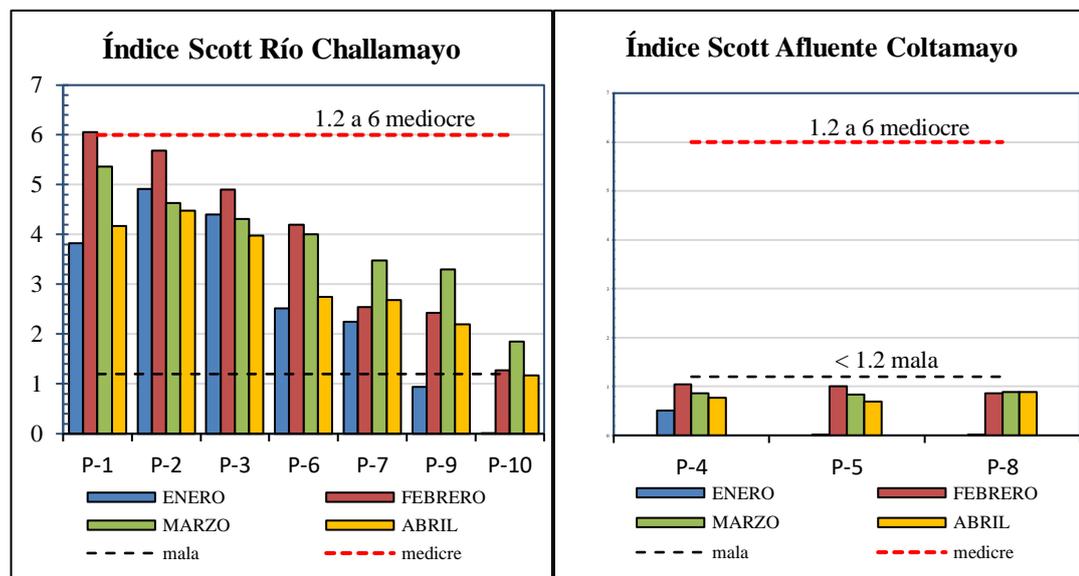


Figura 35. Clasificación del agua del río Challamayo según índice Scott
Fuente: Elaboración propia

En el cuarto monitoreo los resultados obtenidos en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en los centros poblados de Sonsuri Pata y Salinas Chico, los valores de índice Scott obtenidos fluctúan entre 3.97 y 4.48 calificando como aguas **mediocre**. Sin embargo, en los PM-4 y PM-5 ubicados en los centros poblados de Chaca Pata Umalso y Vercuyo la calidad del agua para riego es **mala**. Asimismo, en los PM-6 y PM-7 ubicado en los centros poblados de Vercuyo y Chusamarca la calidad de agua para riego es



mediocre. No obstante, en el PM-8 ubicado en el centro poblado de San Antonio la calidad de agua para riego es **mala.** En el PM-9 ubicado en el centro poblado de San Antonio la calidad de agua para riego es **mediocre.** Por último, en el PM-10 ubicado en el centro poblado de Cacachupa la calidad del agua para uso agrícola es mala.

4.3.7. Porcentaje de sodio según índice Wilcox

El efecto adverso en el agua de riego sobre el suelo, está más estrechamente relacionado con la relación de sodio respecto a los cationes totales, que a la concentración absoluta de sodio (Arcos, 2010), en la figura 36 se muestra el resultado del primer monitoreo de agua del mes de enero, y los resultados muestran que, en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en los centros poblados de Sonsuri Pata, Salinas Chico las aguas se clasifican como aguas de **buena** calidad para uso agrícola. Asimismo, en los PM-4 y PM-5 ubicados en los centros poblados de Chaca Pata Umalso y Vercuyo respectivamente, la calidad de agua para riego es **inadecuada.** Asimismo, en el PM-6, ubicado en el centro poblado de Vercuyo la calidad del agua para riego es **dudosa.** Sin embargo, en el PM-7 ubicado en el centro poblado de Chusamarca la calidad del agua para riego es **inadecuada.** Por último en los PM-8 y PM-9 ambos ubicados en el centro poblado de San Antonio, la calidad de agua para riego es **dudosa.** Del mismo modo, en el PM-10 ubicado en el centro poblado de Cacachupa, la calidad de agua para riego es **inadecuada.**

En el segundo monitoreo de agua del mes de febrero, los resultados en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en los centros poblados de Sonsuri Pata y Salinas Chico, la calidad de agua para riego es **permisible.** Pero en el PM-4 ubicado en el centro poblado de Chaca Pata Umalso, la calidad de agua para riego es **dudosa.** Sin embargo, en el PM-5 ubicado en el centro poblado de Vercuyo la calidad de agua para riego es **inadecuada.** Por el contrario, en el PM-6 ubicado en el centro poblado de Vercuyo la calidad de agua

para riego es **permisible**. Asimismo, en el PM-7 ubicado en el centro poblado de Chusamarca, la calidad de agua para riego es **dudosa**. Aunque en el PM-8 ubicado en el centro poblado de San Antonio la calidad de agua para riego es **inadecuada**. Por último, en los PM-9 y PM-10 ubicados en los centros poblados de San Antonio y Cacachupa la calidad de agua para riego es **dudosa**.

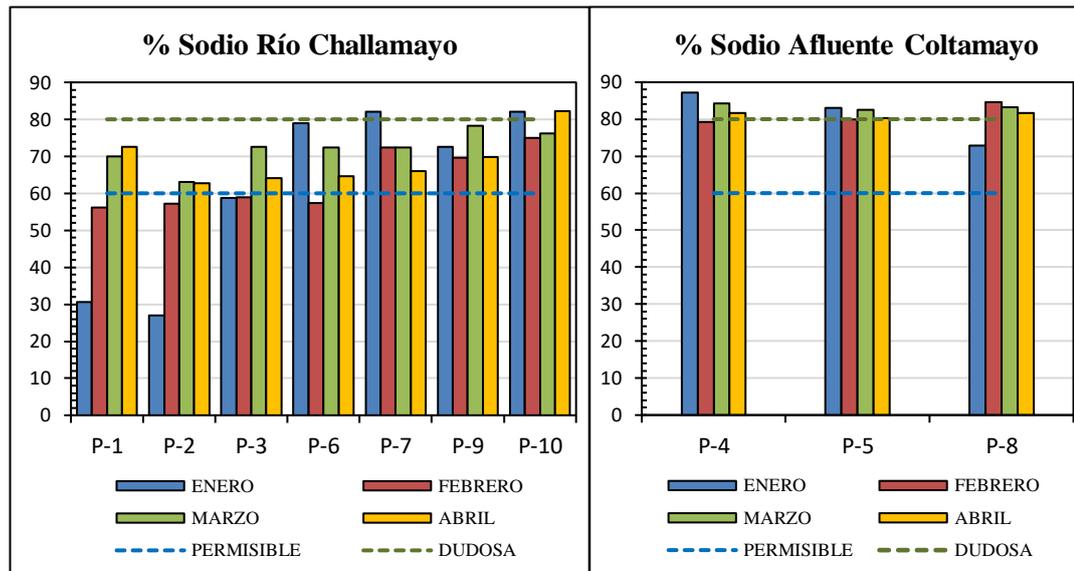


Figura 36. Clasificación del agua según Wilcox
Fuente: Elaboración propia

En el tercer monitoreo de agua del mes de marzo los resultados en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en los centros poblados de Sonsuri Pata, Salinas Chico la calidad de agua para riego es **dudosa**. Sin embargo, en los PM-4 y PM-5 correspondientes al afluyente Coltamayo la calidad de agua para riego es inadecuada. Del mismo modo, en los PM-6 y PM-7 ubicados en los centros poblados de Vercuyo y Chusamarca respectivamente, la calidad de agua se clasifica como **dudosa**. Por el contrario, en el PM-8 ubicado en el centro poblado de San Antonio, la calidad de agua para riego agrícola se clasifica como **inadecuada**. Finalmente se determinó que en los PM-9, PM-10 ubicados en el San Antonio y Cacachupa respectivamente la calidad de agua para riego se clasifica como **dudosa**.



En el cuarto monitoreo de agua del mes de abril los resultados en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en el centro poblado de Sonsuri Pata y Salinas Chico la calidad de agua para riego se clasifica como **dudosa**. Sin embargo, en los PM-4 y PM-5 ambos propios del afluente Coltamayo la calidad de agua para riego se clasifica como **inadecuada**. Por el contrario, para los PM-6 y PM-7 ubicados en los centros poblados de Vercuyo y Chusamarca las aguas para riego se clasifican como **dudosas**. Así mismo en el PM-8 del afluente Coltamayo la calidad de agua para riego es **inadecuada**. Del mismo modo, para el PM-9 ubicado en el centro poblado de San Antonio, la Calidad de agua para riego es **dudosa**. Por último, en el PM-10 ubicado en el centro poblado de Cacachupa la calidad de agua para el riego es inadecuada según la clasificación Wilcox.

4.3.8. Salinidad efectiva

La salinidad efectiva es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo. Considera la precipitación de los carbonatos de calcio, magnesio y de los sulfatos de calcio; que por lo tanto, dejan de tener efecto en la presión osmótica de la solución del suelo (Lucas, 2014).

En la figura 37, según el primer monitoreo del mes de enero, los resultados en los PM-1 y PM-2 ubicados en el centro poblado de Sonsuri Pata la calidad de agua **no son recomendables** para el riego. Sin embargo, en el PM-3 ubicado en el centro poblado de Salinas Chico el agua para riego se clasifican como **condicionada**, es decir se pueden utilizar con ciertas restricciones. Del mismo modo, en los PM-4, PM-5, PM-6, PM-7, PM-8, PM-9 y PM-10 las aguas se clasifican como **no recomendables** para uso agrícola.

En el segundo monitoreo de aguas del mes de febrero, los resultados en los PM-1 y PM-2 ubicados en el centro poblado de Sonsuri Pata, la calidad de agua para uso agrícola es **condicionada**. Sin embargo, en los PM-4 y PM-5 propios del afluente



Coltamayo ubicados en el centro poblado de Chaca Pata Umalso y Vercuyo respectivamente, la calidad de agua para riego se clasifica como aguas **no recomendables** para el uso agrícola. De igual modo para el PM-6 ubicado en el centro poblado de Vercuyo, la calidad de agua para riego es **condicionada**. Por último, en los PM-7, PM-8, PM-9 y PM-10 ubicados en el centro poblado de Chusamarca, San Antonio y Cacachupa el agua para riego se clasifica como **no recomendables**.

En el tercer monitoreo de aguas se determinó que en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en los centros poblados de Sonsuri Pata y Salinas Chico, las aguas para riego son clasificadas como aguas **condicionadas**. Asimismo, en los PM-4 y PM-5 ubicados en el afluente Coltamayo la calidad de agua para riego se clasifica como aguas **no recomendables**. Del mismo modo en los PM-6 y PM-7 la calidad de agua para riego es **condicionada**. De igual modo en el PM-8 ubicado en el centro poblado de San Antonio el agua se clasificó como **no recomendable** para la agricultura. En el PM-9 ubicado en el centro poblado de San Antonio la calidad de agua para uso agrícola se clasifica como aguas **condicionadas**. Por último, en el PM-10 en la parte baja de la sub cuenca Challamayo, la calidad de agua para riego se clasifico como, aguas **no recomendables** para la actividad agrícola.

En el cuarto monitoreo de aguas se determinó que en los PM-1, PM-2 y PM-3 ubicados en el centro poblado de Sonsuri Pata y Salinas Chico la calidad de agua para riego es **condicionada**. Por el contrario, en los PM-4, PM-5 y PM-6 la calidad de agua para riego **no es recomendable**. Aunque en el PM-7 ubicado en el centro poblado de Chusamarca la calidad de agua para riego es **condicionada**. Asimismo, en los PM-8, PM-9 y PM-10 las aguas **no son recomendables** para el uso agrícola, debido a que los valores de

salinidad efectiva superaron el valor de 15. Por lo tanto, el comportamiento de la salinidad efectiva en cada punto de muestreo, se muestra en la figura 37.

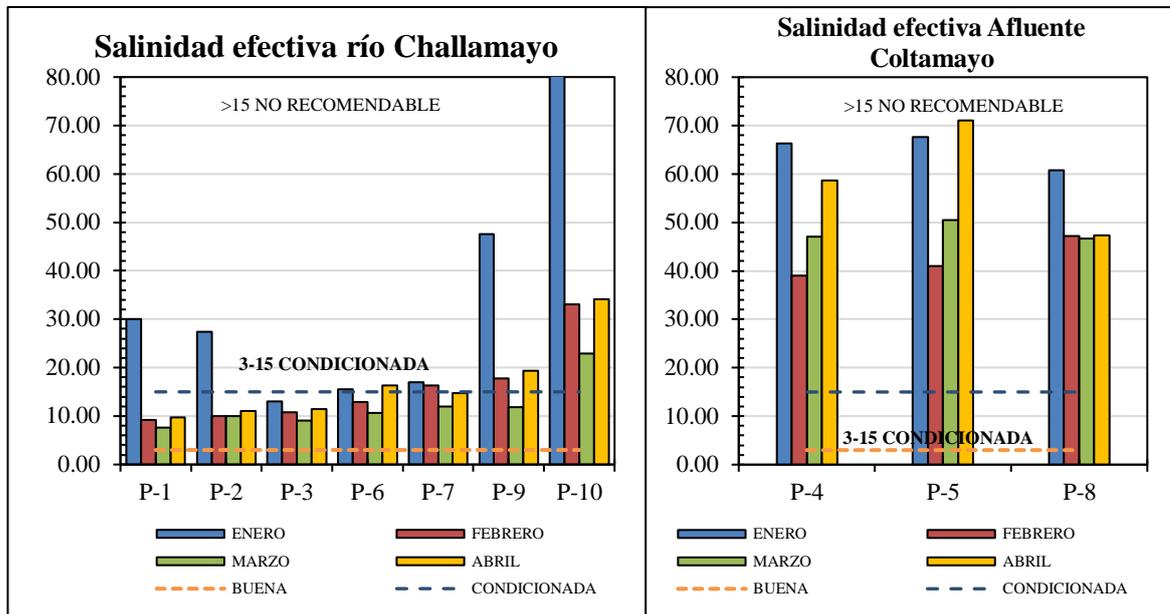


Figura 37. Salinidad efectiva del río Challamayo
Fuente: Elaboración propia

4.3.9. Comparación entre el río principal Challamayo y el afluente Coltamayo

La figura 38, considerando los meses más críticos, se muestra la relación de adsorción de sodio y el índice de calidad del agua en el río Challamayo, según el punto de muestreo y la altura sobre el nivel del mar.

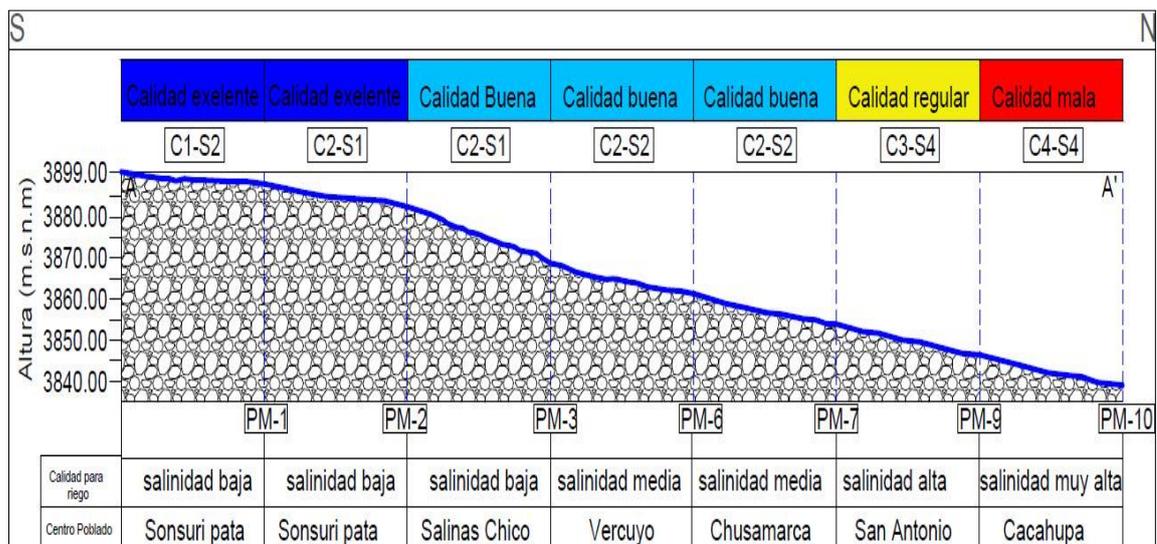


Figura 38. Calidad del agua en los puntos de muestreo del río Challamayo
Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, en la figura 39 se muestra el perfil de afluente Coltamayo, con los resultados de índice de calidad del agua y la relación de adsorción de sodio según el punto de muestreo y la altura.

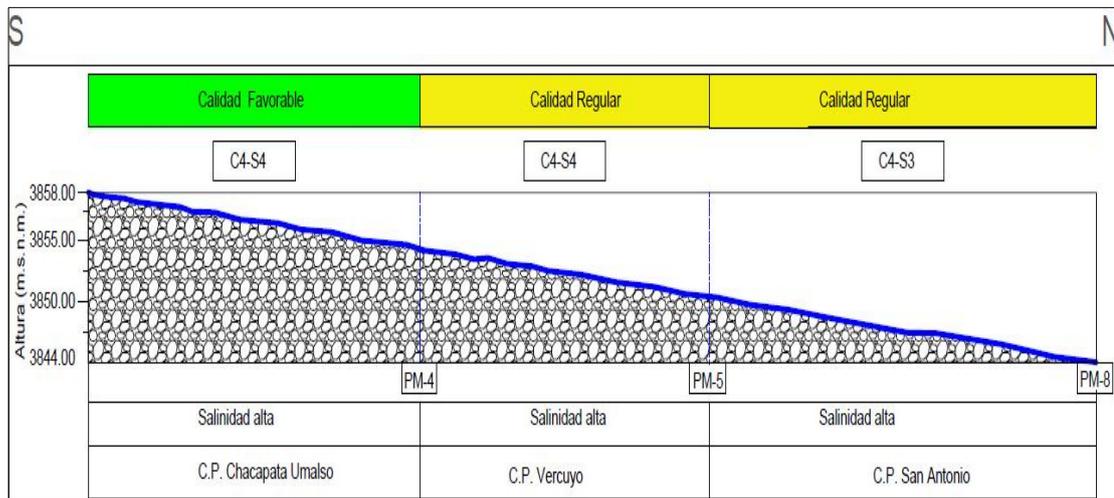


Figura 39. Calidad del agua del afluente Coltamayo

Fuente: Elaboración propia

En ambos ríos la calidad del agua, disminuye en cuanto a su calidad conforme el flujo se desplaza de la parte alta de la subcuenca hacia la desembocadura. Asimismo, el riesgo de salinidad es alta muy alta al igual que el riesgo de sodio C4-S4, según Riverside, el afluente Coltamayo, presenta aguas con presencia alta de sales, que son perjudiciales para la agricultura ver figura 40. Sin embargo, en el río principal Challamayo, la calidad del agua es buena a regular a partir de la parte media hacia la parte alta de la subcuenca. De lo contrario su calidad se perjudica frente al ingreso del afluente Coltamayo con el punto de muestreo ocho (PM-8), por lo que su calidad se reduce a mala según el ICA-PE, además presenta la concentración alta de sales y con riesgo de problemas de toxicidad para ser usadas en la agricultura.

- **Análisis estadístico**

Aplicando el software SPSS en la figura 40 se observa que las dos diagramas de cajas que muestran una representación visual que describe la diferente dispersión de medianas, nos indica que la salinidad efectiva del afluente Coltamayo (A) es superior al

río principal Challamayo (P), por lo tanto, la mayor presencia de sales en el agua no aptos para para la agricultura lo tiene el afluente Coltamayo que converge con el río Challamayo.

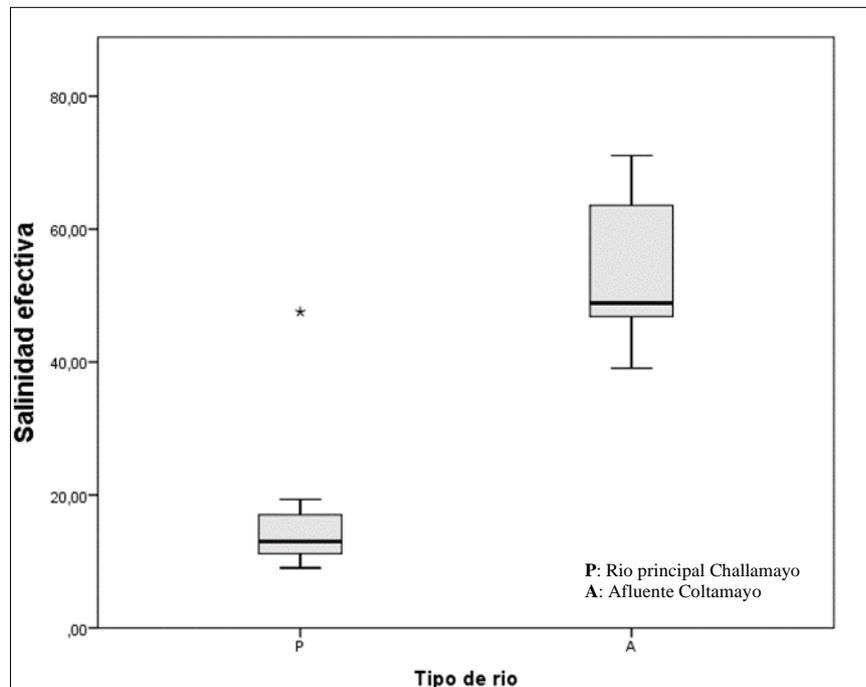


Figura 40. Comparativo de la sanidad efectiva del afluente Coltamayo y el río principal Challamayo

- **Método comparativo**

Con la finalidad de establecer una comparación entre los puntos de muestreo ubicados en el río principal Challamayo y el afluente Coltamayo se establece la hipótesis utilizando la prueba estadística de Tukey, para ello se estableció dos hipótesis nula y adversa.

H₀: No existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo

H_a: Existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo

En la tabla 31, realizando el análisis estadístico ANOVA entre los dos ríos Challamayo y el afluente Coltamayo el P valor es 2.5E-06 es menor que el nivel de significancia 0.05 por lo tanto, los resultados muestra que si existe diferencia significativa

entre los puntos de muestreo de ambos ríos, por lo tanto, con la prueba Tukey se realizó la comparación de cada punto de muestreo con el resto, resultó que los puntos de muestreo ubicados en el afluente Coltamayo muestran diferencia significativa entre los puntos de muestreo ubicados en el río principal Challamayo por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula.

Tabla 31: Prueba ANOVA de los puntos de muestreo del río Challamayo

Fuentes	SS	df	MS	F	P valor	F crit	RMSSE	Omega Sg
Entre grupos	13035.39	9.00	1448.38	8.77	2.56E-06	2.21	1.48	0.64
Dentro de los grupos	4955.57	30.00	165.19					
Total	17990.96	39.00	461.31					

Fuente: Elaboración propia con la aplicación IBM SPSS statistics

4.4. DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos encontrados, nuestros resultados no guardan relación con lo que sostiene Maynas (2018), quien sustenta que las aguas de la naciente del río Challamayo en el centro poblado de Sonsuri Pata, son ligeramente alcalinas, con una concentración baja en sales y contenido bajo de sólidos totales disueltos, por lo tanto, son considerados aptas para el riego, a enero del 2016. Pero en la presente tesis, las aguas se evalúan como alcalinas, no aptas para el riego, en los meses de enero y febrero porque no cumplen con los ECA para aguas, asimismo, al comparar nuestros resultados con los datos de Marín (2015) del río Salado ubicado en el Departamento de Apurímac, considera que sus aguas son ligeramente alcalinas y tan solamente el 8.33% de sus muestras no cumplen con el ECA, estos resultados obtenidos corresponden a un solo monitoreo, no obstante Kaletová & Jurík (2018), mencionan que es importante controlar regularmente el agua de riego durante varios monitoreos.

Del mismo modo, la CE y sólidos totales disueltos a enero del 2019, si cumplen con los ECA, además Tevez (2016), confirma que las concentraciones de sales y sólidos



totales disueltos guardan relación proporcional y disminuyen en épocas de precipitaciones. Con relación a la temperatura se obtuvo datos variados principalmente en el mes de enero, que fluctuaron desde 8 a 21 °C, datos que al ser comparados con Bocanegra (2015), quien obtuvo valores menores a 19°C, no guardan relación, por lo tanto, con estos resultados se afirma que la temperatura varía según la hora de muestreo, asimismo, influye directamente en la CE tal como menciona Rhoades (1999), por lo tanto, ha influido en nuestros resultados del primer monitoreo, sin embargo, el incremento no es significativo teniendo en cuenta que por cada 1°C incrementa de 2 a 3 % de la CE.

En la presente tesis los resultados de potasio y sodio en cationes, del mismo modo, valores de nitratos y carbonatos en aniones, superan los criterios e indicadores de calidad del agua para riego, principalmente en el mes de enero y abril, que al ser comparados con Shammi (2016) los cationes se encuentran dentro de los límites, sin embargo, estos resultados provienen de pozos, asimismo, muestra valores bajos de RAS, esto se debe a la diferencia de cuerpos de agua. Los parámetros necesarios, para obtener la calidad del agua para riego, se consideró el pH, CE, contenido de aniones, cationes y RAS tal como recomienda Balsameda (2013) del mismo modo, Gómez & Muñoz (2015), determinaron que todas sus muestras cumplen con el parámetro de CE, ya que los valores son menores a 0.7 dS/m, mientras que sólo 07 puntos de muestreo de 26, cumplen con el parámetro de pH, paralelamente los niveles de sodio y cloruros no representan restricción, datos que al ser comparados con los nuestros, no guardan relación, debido a que los valores encontrados en la presente tesis, el cloruro y el sodio principalmente son muy altos, entonces si genera problemas en la estructura del suelo y funciones de la planta tal como menciona Moreno & Moral (1996).

Al evaluar la calidad del agua para riego, los resultados obtenidos en la figura 39, evidencian aguas de salinidad alta, con un contenido muy alto de sodio, por lo tanto, no



es aconsejable para el riego. Principalmente el afluente Coltamayo se clasifica como C4-S4 significa que son aguas de salinidad muy alta y con un contenido alto de sodio, datos que al ser comparados con Bocanegra (2015) en la cual, realizó la evaluación de la calidad del agua del Río Moche en los meses de julio a diciembre, menciona que sus aguas pertenecen a la clases tipo C3-S1, significa que son, bajo en sodio y media en salinidad por lo tanto, concluyó que las aguas de las estaciones monitoreadas son aptas para uso agrícola, con estos resultados podemos afirmar que; nuestros resultados del río Challamayo no son aptas para riego incluso en épocas de lluvia.

A partir de los hallazgos encontrados, nuestros resultados guardan relación con Balsameda & Garcia (2013), quien sostiene que, en el período seco se incrementó el pH, debido al aumento de las concentraciones de todos los iones, a excepción de magnesio y potasio. La tendencia a la alcalinidad de las aguas debe estar relacionada con la elevación de las concentraciones de los iones bicarbonato y sodio, coincidiendo con que plantean que si el bicarbonato es el ion predominante implicará un aumento de pH. Del mismo modo, en la presente tesis los valores de pH también son muy altos, específicamente hasta el 03 de enero, que consideramos época seca. Sin embargo, en las posteriores evaluaciones los valores de pH se han disminuido.

Asimismo, a partir de los hallazgos encontrados por Balsameda & Garcia (2013), quienes sostienen que sus resultados de salinidad efectiva aguas se clasifican como condicionadas para su empleo en el riego, según su clasificación sus valores fluctúan de 3 a 15, ya que pueden pasar a formar parte del agua del suelo en forma de sales menos solubles como carbonato de calcio y magnesio o sulfato de calcio. Al ser comparados con los resultados de la presente tesis, las aguas del río Challamayo no son recomendables para el uso agrícola en todos los casos los valores son mayores a 15 según la clasificación



de aguas para riego tabla 10. Estos resultados se atribuyen a las concentraciones excesivas de cationes respecto a los aniones.

A partir de los descubrimientos encontrados por Gomez y Muñoz (2015), la presencia de Na^+ , Cl^- y SO_4^- no son restrictivos en la gran mayoría de sus aguas analizadas, por lo que se pueden utilizar en agricultura protegida de manera confiable, sin embargo, al ser comparados con nuestros resultados, la calidad del agua del agua del río Challamayo es mala para ser utilizada en la agricultura como se muestra en la figura 36, estos resultados se atribuyen a la presencia del Na^+ y Cl^- principalmente, lo que genera un riesgo de toxicidad para ser utilizadas en el riego.

A partir de los hallazgos encontrados por Sarabia M. et. al., (2011), en cuanto a RAS y CE ambos recursos fueron clasificados como S1 y C1 lo que significa que sus contenidos de sales y sodio son bajos, en el caso particular de fertilidad del suelo, los nutrientes principales (N, P, K y materia orgánica) se encuentran bajos respecto a los reportados en otras investigaciones. Los valores de CSR para las muestras tanto de agua como de suelo se encuentran entre -12 y -1.3. El contenido de boro no alcanza los niveles de toxicidad, por el contrario, representa un aporte como micronutriente para los cultivo. Cabe señalar que en la presente tesis el agua del río Challamayo registró una clasificación de S4-C4, en el mes más crítico, lo cual significa que el contenido de sodio y sales es muy alto lo que conlleva a ser aguas de riego peligrosas para el riego.



V. CONCLUSIONES

Se evaluó los parámetros de pH y CE en los 10 puntos de muestreo del río Challamayo, es por ello que el potencial de hidrogeno en los meses enero y febrero supera los ECA con fines de uso agrícola, por lo tanto, no son aptos para el riego. Del mismo modo, en el mes de marzo el 80 % no cumplen con el ECA y en el mes de abril el 70% no cumplieron con los ECA. En relación a la CE, en los únicos puntos que superó los ECA para aguas de riego, fue en los PM-4 con 2.72mS/cm y PM-5 con 3.23mS/cm, ambos ubicados en el afluente Coltamayo, consecuentemente en el PM-10 con 2.61mS/cm, ubicado en la parte baja de la sub cuenca.

Se evaluó el contenido de cationes en el agua para uso agrícola, por consiguiente el contenido de Ca^{++} y Mg^{++} no superan los rangos permitidos para uso agrícola establecidos por la FAO. Asimismo, los valores de Na^{+} más altos se han registrado en el afluente Coltamayo principalmente en los meses de enero, marzo y abril, debido a los depósitos de sal ubicados en la cabecera de la subcuenca lo cual influye en el río Challamayo, también el K^{+} excede el valor máximo para aguas de riego según la FAO. Por otra parte los aniones como el Cl^{-} se ha excedido los rangos permitidos en enero y abril, asimismo, los NO_3^{-} han excedido los valores permitidos en el mes de abril, también, los valores de CO_3^{-} más altos se han registrado en el primer monitoreo.

Se evaluó la calidad del agua del río Challamayo en la cual presenta problemas de salinidad alta con un contenido muy alto de sodio. Del mismo modo, según el ICA, en la zona de descarga el índice de calidad de agua es mala para el riego en el mes de enero.



VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda proyectos de fertirrigación y osmosis inversa para reducir los efectos perjudiciales de las aguas del río Challamayo. Otro aspecto que consideramos importante es el lavado de suelos con las aguas tanto del río Challamayo como del Coltamayo en los meses de febrero y marzo, en donde se reducen los parámetros de calidad de aguas para riego debido al incremento del caudal y optar por el riego por inundación, para tener un mejor lavado de sales continuo y eficiente. Del mismo modo, se recomienda construir canales de drenaje, para aprovechar el lavado de sales con las aguas del río Challamayo principalmente, en los meses de febrero y marzo.
2. Se recomienda sembrar cultivos tolerantes a la salinidad y sodicidad como alfalfa (*Medicago sativa*) que tolera hasta 6 dS/m, quinua (*Chenopodium quinoa*) que soporta hasta 12 dS/m, cebada (*Hordeum vulgare*) que tolera hasta 8 dS/m, trigo (*Hordeum vulgare*) que resiste hasta 6 dS/m. Asimismo, se recomienda la construcción de cochas, para aprovechar las aguas y embalsar en el mes de marzo y ser aprovechados posteriormente debido a que las precipitaciones pluviales en los últimos años se ha reducido.
3. Recomendamos utilizar el yeso y abonos naturales como el estiércol de ovino en estos suelos ubicados a lo largo del afluente Coltamayo en las zonas de Chacapata Umalso, Vercuyo, Chusamarca, San Antonio y Cacachupa para mejorar la estructura de los suelos, debido a que en estas zonas los suelos tienen una textura de franco limoso, la CE de los suelos en la parte media y baja de la subcuenca es de 14.38 dS/m y el pH fluctúa de 8 a 8.75 y los parámetros que más resaltan son los cloruros con 416.58 mg/L seguido del calcio con 13.8 mg/L.



VII. REFERENCIAS

- Alvaro, A. P. (2010). *Calidad del agua residual de la planta tratadora de agua de CECFOR No. 3 para uso Agrícola*. Tesis pre-grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro. Recuperada de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5602>
- ANA (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/209>
- Asamoah, E., Nketia, K. A., Sadick, A., Gyambibi, D. A., Forkuo, E. K., Ayer, J., & Adjei, E. O. (2015). *Water Quality Assessment of Lake Bosomtwe for Irrigation Purpose, Ghana* 7. Disponible <https://doi.org/10.5755/j01.arem.72.1.13976>
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado de http://www.calwater.ca.gov/Admin_Record/C-110101.pdf
- Balmaseda, E. C., & García, H. Y. (2013). *Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas para el riego*. Cultivos Tropicales, 34(4), 68-73. Recuperado en 12 de mayo de 2019, Recuperada de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400011&lng=es&tlng=es.
- Betancourt, A. C. (2016). *La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan/ Water Quality for Irrigation Water, Main Measurement Indictors and Processes that Affect them*. Agro ecosistemas, 4, 47-61. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/321951119>
- Bocanegra, D. (2015). *Calidad de Agua para uso agrícola y conservación de recursos en la cuenca baja del río Moche, julio-diciembre 2014. La Libertad. Trujillo, Perú*. Tesis pre-grado, Universidad Nacional de Trujillo. Recuperada de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4493>
- Castellanos, J.Z. (2004). *La calidad del agua*. En: J.Z. Castellanos (Ed.). Manual de producción hortícola en invernadero 2ª Edición. INTAGRI. México.
- Decreto Supremo N°004-2017 MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen Disposiciones Complementarias para su aplicación. Lima, Perú.
- Díaz, V., Ronquillo C. & Ramirez C. (2012). *Estudio geológico económico de rocas y minerales industriales en la región de Puno*, boletín N°30 serie B. Recuperado de <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/ingemmet/215/101/B022>



- Gómez, J. J. C., & Muñoz, R. B. (2015). *Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala*. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 19-1, pp. 39-50, ISSN1665-529-X. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924004>
- González, R. (2000). *Fertilidad de los suelos del Valle Cálido del Alto Magdalena*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp. 80-99, Colombia.
- Gonzales, V. A. & Alfaro, R. (2008). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*. Editorial UNA Puno, 126p.
- Kaletová, T., & Jurík, L. (2018). *Quality of Water Required for Irrigation*. En A. M. Negm & M. Zeleňáková (Eds.), *Water Resources in Slovakia: Part I* (Vol. 69, pp. 97-113). Recuperado de http://link.springer.com/10.1007/698_2017_214
- Kenneth, K. T. (2002). Salinity in the Soil Environment. En A. Läuchli & U. Lüttge (Eds.), *Salinity: Environment - Plants - Molecules* (pp. 21-51). Department of Land, Air and Water Resources University of California U.S.A. Recuperado de https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3_2
- López, C. (2004). *Origen y caracterización de las aguas usadas en las actividades agropecuarias de la meseta de la ciudad de Ibagué*. Tesis pregrado, Corporación Universitaria de Ibagué. Recuperada de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3631988.pdf>
- Lucas, J. J. (2014). *Salinidad - sodicidad y presencia de iones solubles asociados a indicadores hidrogeoquímicos del agua de bombeo para navidad, Nuevo León*. Tesis pre-grado, Universidad Autónoma Agraria. Recuperada de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7192/>
- Marín T.D. (2015) *Evaluación de la Calidad de Agua para fines de riego en la sub-cuenca salado de la cuenca alto Apurímac*. Tesis pregrado, Universidad nacional del Altiplano. Recuperada de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/UNAP/4615/1>
- Mayol, M. B., Costa, J. L., Cabria, F. N., & Aparicio, V. C. (2012). *Relación entre la Variabilidad Espacial de la Conductividad Eléctrica y el Contenido de Sodio del Suelo*. Revista científica 11. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v30n2/v30n2a03.pdf>
- Maynas C.O. (2018) *Determinación de los efluentes del proceso de flotación y diseño del proceso de tratamiento en la planta concentradora de Tiquillaca*. Tesis segunda especialización Universidad Nacional del Altiplano Recuperada de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7799>



- Medina V., Edna K. et al. *Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco*, Jalisco. Idesia, Arica, v. 34, n. 6, p. 51-59, 2016.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035>.
- Méndez, D. F., & González, J. (2009). *Evaluación de la calidad del agua de riego usada en los cultivos de arroz de la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué* (Tolima, Colombia). *Revista tumbaga* (2009), 1, 73-84. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3631988>
- MINAGRI. (2017). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú: 3er Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Lima. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files>
- Monteagudo, Q. (2015). *Análisis comparativo de los índices de calidad de agua de los ríos Lampa y Cabanillas*. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperada de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4604>
- Moreno, J. M. D. y M. Moral (1996). *Análisis y calidad del agua para el riego*, Editorial Servicios de publicaciones Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Prieto Celi, M. (1993). Tema I: *Tendencia del uso del agua de calidad marginal en el riego*. Manual tema I Gestión sobre la calidad del agua recuperado de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/docrep/RLC1026s/rlc1026s.001.pdf
- Salvadori, A. A. (2017). *Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados*. Universidad la Pampa. Argentina. Recuperada de http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/a_acoeva602.pdf
- Sarabia, I. F., Cisneros, A.R., Aceves De Alba, J., Durán, G.H. M., & Castro, L. J. (2011). *Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 103-113. Recuperada de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200002&lng=es&tlng=es
- Rhoades, J.D., Chanduvi, F. y S. Lesch. (1999). *Soil salinity assessment. Methods and Interpretation of Electric Conductivity Measurements*. FA-O Irrigation y Drainage Papers 57. Roma, Italy. Recuperado de www.fao.org/3/x2002e.pdf
- Romero, J. A. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano* OPS/CEPIS Lima-Perú recuperado de <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc14574/doc14574-contenido.pdf>
- Sánchez, Q., & Reinerio, J. (2013). *Generación de caudales medios por modelos determinísticos Temez y Lutz Scholz en la cuenca del río Zapatilla - Ilave*. tesis



- pregrado, Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5489>
- Sastriques, F. O. (2007). *Irrigation with low quality in urban agriculture: Points to regard. I. Saline or alkali water*. 16(1), 5. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 16, núm. 1, 2007, pp. 41-44. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93216110>
- Shammi, M., Karmakar, B., Rahman, Md. M., Islam, M. S., Rahman, R., & Uddin, K. (2016). *Assessment of Salinity Hazard of Irrigation Water Quality in Monsoon Season of Batiaghata Upazila, Khulna District, Bangladesh and adaptation strategies*. Artículo científico (Vol. 2). Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/298263302>
- SEMARNAT (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000* que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>
- Tanji Kenneth, K. & U. Lüttge (2002). *Salinity: Environment - Plants - Molecules Springer Netherlands* (Eds.), Department of Land, Air and Water Resources University of California (pp. 21-51).U.S.A.
- Tevez, A.B. (2016). *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cagra, región Lima*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperada de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6797/>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano*. Una Revisión Crítica. Revista Ingenierías, Universidad de Medellín, 8(15), 16. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- USDA (2003). National Water Quality Handbook. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044775.pdf
- USDA (2004). Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No 42. Version 4.0. U.S. Department of Agriculture, Washington DC, USA, 700p. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf
- Zhen Wu, B. Y. (2009). *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008* Costa Rica. Recuperado <http://dx.doi: 10.13140/RG.2.1.3397.0807>

ANEXOS

ANEXO A: Fotografías



Fotografía N°01: Se aprecia aguas en la cabecera de la subcuenca Río Challamayo



Fotografía N°02: Se aprecia el afluente Coltamayo en la zona de descarga (presencia de sales)



Fotografía 03: Se aprecia el caudal máximo registrado del Río Challamayo



Fotografía 04: Medición de la conductividad eléctrica, temperatura y sólidos totales disueltos



Fotografía 05: Se aprecia suelos salinizados a consecuencia del desborde del Río Challamayo



Fotografía 06: Se aprecia la determinación de aniones y cationes junto al jefe de laboratorio del INIA.

ANEXO B: Caudal por el método de Lutz Sholz

Se tomó los datos de precipitación desde 1964 hasta el año 2018, luego se determinó la precipitación media anual tomando en consideración el área de influencia de la estación hidrométrica cercana tal como se observa en la tabla 32.

Tabla 32. Precipitación media anual del río Challamayo

N°	Estación	Área de influencia (Km ²)	Precipitación media anual (mm)	Pi * Ai
1	PUNO	52.21	722.68	37736.91
4	UMAYO	162.43	732.77	119032.63
5	LARAQUERI	18.90	742.81	14041.31
TOTAL		233.56		170810.86
PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm/año)				731.33

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se determinó el coeficiente de escurrimiento y déficit de escurrimiento válido para la región sur. Luego se determinó la precipitación efectiva, retención de la cuenca, gasto de retención y abastecimiento de retención, seguidamente se calibró los caudales. Para los datos de caudal observado se utilizó datos del PRORRIDRE (Presa Illpa).

Tabla 33. Generación de caudales por el método de Lutz Sholz

Mes	Días	P Total mm/mes	Precip. Efectiva (mm/mes)			Gasto		Abastecimiento			Caudal Generado		Caudal observ.
			PE II	PE III	PE	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes	Q mm/mes	Q m3/seg		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)		
ENE	31	173.3	49.5	147.5	62.9			0.5	4.5	58.4	5.1	5.40	
FEB	28	140.0	34.8	111.6	45.4			0.1	0.9	44.5	4.3	7.83	
MA	31	97.6	16.8	53.6	21.8			-0.1	-0.9	22.8	1.9	6.40	
ABR	30	54.5	5.7	15.1	7.0	0.5	4.1	-0.0	-0.4	11.6	1.0	4.38	
MA	31	8.7	0.9	2.2	1.1	0.3	2.2	0.0	0.4	2.9	0.2	1.19	
JUN	30	5.3	0.6	1.3	0.7	0.1	1.2	0.0	0.4	1.5	0.1	0.14	
JUL	31	3.5	0.3	0.8	0.4	0.0	0.6	0.0	0.2	0.8	0.0	0.02	
AGO	31	10.4	1.1	2.6	1.3	0.0	0.3	0.0	0.2	1.4	0.1	0.02	
SEP	30	41.4	4.0	9.6	4.8	0.0	0.2	0.0	0.0	5.0	0.4	0.15	
OCT	31	46.8	4.6	11.6	5.6	0.0	0.1	0.0	0.0	5.7	0.5	0.46	
NOV	30	51.6	5.3	13.7	6.4			0.0	0.4	6.0	0.5	0.84	
DIC	31	94.6	15.7	50.0	20.4			0.3	3.1	17.3	1.5	1.70	
Total		728.3	139.	420.1	178.	1.1	9.0	1.00	9.00			2.38	
Coef. R=9		0.245	0.86	0.14	1.00								
		A=	233		DV=	3.8							

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: Índice de calidad del agua (ICA-PE)

PUNTOS DE MONITOREO	DETERMINACION DEL ICA PARA LA SUBCUENCA DEL RIO CHALLAMAYO - ENERO												ICA (CCME_WQI)				
	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - MÉTODO DE CCME																
	PARAMETROS						Datos		% (excedente respecto al Valor ECA-Agua / Valor ECA-Agua)					F3			
potencial de hidrogeno	Conductividad eléctrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos	N° de parámetros que no cumplen	N° de parámetros por punto	F1	F2	potencial de hidrogeno	Conductividad eléctrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos		nse=Sumatoria de Ex/N total de datos		
pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l					pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l			
ene-19	9.19	2.89	59.10	8.95	60.04	1.00	5.00	20.00	20.00	0.08	--	--	--	0.02	1.60	83	Buena
PM-1	9.77	3.29	65.01	8.95	50.53	1.00	5.00	20.00	20.00	0.15	--	--	--	0.03	2.91	83	Buena
PM-2	9.54	2.96	61.46	14.64	54.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.12	--	--	--	0.02	2.38	83	Buena
PM-3	8.63	2716.67	88.65	53.69	56.04	2.00	5.00	40.00	40.00	0.02	0.09	--	--	0.02	2.01	67	Favorable
PM-4	9.15	3230.00	1528.33	13.02	57.37	3.00	5.00	60.00	60.00	0.53	0.29	2.06	--	0.57	36.50	46	Regular
PM-5	9.50	408.34	75.65	14.24	58.04	1.00	5.00	20.00	20.00	0.58	--	--	--	0.12	10.45	83	Buena
PM-6	9.77	340.25	83.92	11.80	57.37	1.00	5.00	20.00	20.00	0.63	--	--	--	0.13	11.15	83	Buena
PM-7	9.59	2010.20	1020.07	9.76	73.05	2.00	5.00	40.00	40.00	0.13	--	1.04	--	0.23	18.94	64	Regular
PM-8	9.28	1172.35	242.31	9.35	54.53	1.00	5.00	20.00	20.00	0.55	--	--	--	0.11	9.86	83	Buena
PM-9	9.07	2610.00	1674.89	21.96	58.04	3.00	5.00	60.00	60.00	1.20	0.04	2.35	--	0.72	41.82	44	Mala
PM-10	6.5-8.5	2500.00	500.00	518.00	1000.00												
categoria 3-D1																	

Figura 41. Primera evaluación del río Challamayo según el ICA-PE

PUNTOS DE MONITOREO	DETERMINACION DEL ICA PARA LA SUBCUENCA DEL RIO CHALLAMAYO - FEBRERO												ICA (CCME_WQI)				
	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - MÉTODO DE CCME																
	PARAMETROS						Datos		% (excedente respecto al Valor ECA-Agua / Valor ECA-Agua)					F3			
potencial de hidrogeno	Conductividad eléctrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos	N° de parámetros que no cumplen	N° de parámetros por punto	F1	F2	potencial de hidrogeno	Conductividad eléctrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos		nse=Sumatoria de Ex/N total de datos		
pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l					pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l			
feb-19	9.04	1.86	18.08	22.57	51.37	1.00	5.00	20.00	20.00	0.51	--	--	--	0.10	9.19	83	Buena
PM-1	9.48	3.48	28.37	18.91	61.04	1.00	5.00	20.00	20.00	0.58	--	--	--	0.12	10.39	83	Buena
PM-2	9.13	2.55	13.47	4.27	54.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.52	--	--	--	0.10	9.44	83	Buena
PM-3	9.59	13.70	237.23	9.15	55.37	1.00	5.00	20.00	20.00	0.60	--	--	--	0.12	10.70	82	Buena
PM-4	9.68	15.08	300.35	7.32	56.04	1.00	5.00	20.00	20.00	0.61	--	--	--	0.12	10.94	82	Buena
PM-5	8.95	2.74	18.44	7.32	52.70	1.00	5.00	20.00	20.00	0.49	--	--	--	0.10	8.94	83	Buena
PM-6	8.73	3.67	21.99	1.88	58.04	1.00	5.00	20.00	20.00	0.46	--	--	--	0.09	8.35	83	Buena
PM-7	9.87	20.31	458.14	6.71	53.70	1.00	5.00	20.00	20.00	0.65	--	--	--	0.13	11.43	82	Buena
PM-8	8.95	3.75	21.99	5.49	54.70	1.00	5.00	20.00	20.00	0.49	--	--	--	0.10	8.95	83	Buena
PM-9	9.34	8.80	154.25	18.30	51.37	1.00	5.00	20.00	20.00	0.56	--	--	--	0.11	10.00	83	Buena
PM-10	6.5-8.5	2500.00	500.00	518.00	1000.00												
categoria 3-D1																	

Figura 42. Segunda evaluación del río Challamayo según el ICA-PE

DETERMINACION DEL ICA PARA LA SUBCUBENCA DEL RIO CHALLAMAYO - MARZO																		
PUNTOS DE MONITOREO	PARAMETROS						Datos		CÁLCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA- MÉTODO DE CCME									
	potencial de hidrogeno	Conductividad electrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos	N° de parametros que no cumplen	N° de parametros por punto	F1	F2	% (excedente respecto al valor ECA-Agua / Valor ECA-Agua)	Conductividad electrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos	nse=Sumatoria de Ex/N total de datos	F3	ICA (CCME_WQI)	
feb-19	pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l					pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l				
PM-1	8.30	181.79	0.00	17.08	50.03	0.00	5.00	0.00	0.00	0.38	--	--	--	--	0.08	7.12	95	Excelente
PM-2	8.73	343.48	0.00	26.84	50.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.46	--	--	--	--	0.09	8.34	82	Buena
PM-3	8.34	251.38	0.71	10.98	44.03	0.00	5.00	0.00	0.00	0.39	--	--	--	0.08	0.08	7.22	95	Excelente
PM-4	8.62	1793.41	460.80	0.00	54.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.44	--	--	--	0.09	0.09	8.02	83	Buena
PM-5	9.02	1913.00	499.28	0.00	54.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.50	--	--	--	0.10	0.10	9.13	82	Buena
PM-6	8.72	266.98	35.46	16.47	52.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.45	--	--	--	0.09	0.09	8.31	82	Buena
PM-7	8.57	271.55	35.81	17.08	49.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.43	--	--	--	0.09	0.09	7.89	83	Buena
PM-8	9.05	1628.02	447.86	0.00	53.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.51	--	--	--	0.10	0.10	9.23	82	Buena
PM-9	8.50	279.39	45.39	3.66	46.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.42	--	--	--	0.08	0.08	7.69	83	Buena
PM-10	8.65	409.26	73.76	9.76	53.03	1.00	5.00	20.00	20.00	0.02	--	--	--	0.00	0.00	0.35	83	Buena
categoria 3-D1	6.5-8.5	2500.00	500.00	518.00	1000.00													

Figura 43. Tercera evaluación del río Challamayo según el ICA-PE

DETERMINACION DEL ICA PARA LA SUBCUBENCA DEL RIO CHALLAMAYO - ABRIL																		
PUNTOS DE MONITOREO	PARAMETROS						Datos		CÁLCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA- MÉTODO DE CCME									
	potencial de hidrogeno	Conductividad electrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos	N° de parametros que no cumplen	N° de parametros por punto	F1	F2	% (excedente respecto al valor ECA-Agua / Valor ECA-Agua)	Conductividad electrica (CE)	Cloruros	Bicarbonatos	sulfatos	nse=Sumatoria de Ex/N total de datos	F3	ICA (CCME_WQI)	
feb-19	pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l					pH	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l				
PM-1	7.93	80.97	6.15	11.39	70.04	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	--	--	--	--	0.00	0.00	96	Excelente
PM-2	8.15	136.41	8.98	13.83	73.98	0.00	5.00	0.00	0.00	0.16	--	--	--	0.03	0.03	3.18	83	Buena
PM-3	7.94	110.45	9.69	20.34	69.04	0.00	5.00	0.00	0.00	0.13	--	--	--	0.03	0.03	2.62	96	Excelente
PM-4	8.34	597.33	756.24	33.35	82.05	0.00	5.00	0.00	0.00	0.19	--	--	--	0.04	0.04	3.69	83	Buena
PM-5	8.68	806.67	1127.86	34.17	73.71	2.00	5.00	40.00	40.00	0.24	--	1.26	--	0.30	0.30	23.03	64	Regular
PM-6	8.17	113.00	2.60	26.44	70.04	0.00	5.00	0.00	0.00	0.17	--	--	--	0.03	0.03	3.23	83	Buena
PM-7	8.95	114.75	16.08	22.78	75.05	1.00	5.00	20.00	20.00	0.49	--	--	--	0.10	0.10	8.95	82	Buena
PM-8	9.62	411.67	436.63	24.40	81.38	1.00	5.00	20.00	20.00	0.13	--	--	--	0.03	0.03	2.57	82	Buena
PM-9	8.49	204.55	32.27	19.52	70.04	0.00	5.00	0.00	0.00	0.42	--	--	--	0.08	0.08	7.66	83	Buena
PM-10	9.14	310.76	173.28	28.47	77.38	1.00	5.00	20.00	20.00	0.08	--	--	--	0.02	0.02	1.48	82	Buena
categoria 3-D1	6.5-8.5	2500.00	500.00	518.00	1000.00													

Figura 44. Cuarta evaluación del río Challamayo según el ICA-P

ANEXO D: Certificados de análisis de agua

MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Estación Experimental Illpa - Puno

CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno

INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani

DIRECCION :

PROCEDENCIA : Dist. Tiquillaca.

LUGAR : Río Challamayo

MUESTRA : Agua.

N° MUESTRAS : 07

TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.

FECHA DE RECEPCIÓN : 03-01-2019

FECHA DE CERTIFICACIÓN : 04-01-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO:

N° Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
07	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

N° Muestras	PM-1	PM-2	PM-3	PM-6	PM-7	PM-9	PM-10
Temperatura °C.	19.13	20.57	20.57	9.80	10.80	21.50	10.50
pH	9.19	9.77	9.54	9.50	9.77	9.28	9.07
C.E. mmhos/cm (25°C)	0.0029	0.0033	0.003	0.408	0.340	1.172	2.610
Sólidos totales mg/l.	102.33	119.33	99.33	116.33	108.67	425.00	1220.0
Calcio mg/l	14.16	24.58	9.75	33.40	30.06	23.11	137.47
Magnesio mg/l.	9.81	10.46	15.16	18.81	15.73	7.83	68.91
Sodio	217.73	177.10	193.20	312.02	345.77	804.23	1653.70
Potasio	535.67	639.93	585.19	15.64	19.55	447.04	123.81
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00	6.60	6.40	0.00	9.60
Bicarbonatos mg/l.	8.95	8.95	14.64	14.24	11.80	9.35	21.96
Cloruros mg/l	59.10	65.01	61.46	75.65	83.92	242.31	1674.89
Sulfatos mg/l	60.04	50.53	54.03	58.04	57.37	54.53	58.04
Nitratos mg/l	18.60	26.87	30.17	99.20	53.73	49.60	99.20

Métodos utilizados en el Laboratorio:

1. - Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.
2. - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.

Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
 Determinación de Conductividad Electrica Conductimetro de tres anillos.
 Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
 Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
 Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
 Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
 Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:
 La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:
 Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.gob.pe

INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIKUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Rinconada de Salcedo s/n
Puno, Puno, Perú
T: (051) 363-812



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
INTERESADO :
PROCEDENCIA : Tiquillaca
LUGAR : Afluente Coltamayo
MUESTRA : Agua.
Nº MUESTRAS : 03.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.
FECHA DE RECEPCIÓN : 03-01-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 04-01-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO:

Nº Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
03	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

Nº Muestras	PM-4	PM-5	PM-8
Temperatura °C.	22.23	8.53	21.93
pH .	8.63	9.15	9.59
C.E. mmhos/cm (25°C)	2.717	3.23	2.01
Sólidos totales mg/l.	1169.0	1483.0	735.67
Calcio mg/l	70.81	104.48	25.38
Magnesio mg/l.	16.94	36.97	13.78
Sodio	1370.80	1317.90	1037.30
Potasio	543.49	92.53	564.34
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	53.69	13.02	9.76
Cloruros mg/l	88.65	1528.33	1020.07
Sulfatos mg/l	56.04	57.37	73.05
Nitratos mg/l	33.07	70.27	18.60

Métodos utilizados en el Laboratorio:

- 1.- Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.
 - 2.- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Electrica Conductimetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANILUA ROJAS
Jefe Laboratorio Analisis
S.A.L.C.E.S.O

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
DIRECCION :
PROCEDENCIA : Dist. Tiquillaca.
LUGAR : Rio Challamayo.
MUESTRA : Agua.
N° MUESTRAS : 07.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.
FECHA DE RECEPCIÓN : 04-02-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05-02-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO:

N° Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
07	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

N° Muestras	PM-1	PM-2	PM-3	PM-6	PM-7	PM-9	PM-10
Temperatura °C.	5.80	12.75	4.60	6.67	6.07	6.90	6.50
pH	9.04	9.48	9.13	8.95	8.73	8.95	9.34
C.E. mmhos/cm (25°C)	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.009
Sólidos totales mg/l.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00
Calcio mg/l	44.29	64.13	60.52	67.53	51.70	54.11	60.52
Magnesio mg/l.	24.81	16.78	18.48	27.60	21.52	31.37	58.37
Sodio mg/l	137.23	151.80	162.53	186.45	292.10	303.60	593.40
Potasio mg/l	15.64	13.68	15.64	15.64	19.55	19.55	31.28
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	22.57	18.91	4.27	7.32	1.83	5.49	18.30
Cloruros mg/l	18.08	28.37	13.47	18.44	21.99	21.99	154.25
Sulfatos mg/l	51.37	61.04	54.03	52.70	58.04	54.70	51.37
Nitratos mg/l	0.30	0.20	12.40	18.60	18.60	18.60	43.40

Métodos utilizados en el Laboratorio:

1. - Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E. U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 195p.
 2. - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Eléctrica Conductímetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleína Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CAMIÑA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Rinconada de Salcedo s/n
Puno, Puno, Perú
T: (051) 363-812

www.inia.gob.pe



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
INTERESADO :
PROCEDENCIA : Tiquillaca
LUGAR : Afluente Coltamayo.
MUESTRA : Agua.
N° MUESTRAS : 03.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.
FECHA DE RECEPCIÓN : 04-02-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05-02-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO:

N° Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
03	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

N° Muestras	PM-4	PM-5	PM-8
Temperatura °C.	22.23	8.53	21.93
pH.	9.59	9.68	9.87
C.E. mmhos/cm (25°C)	0.014	0.015	0.02
Sólidos totales mg/l.	4.00	5.00	6.00
Calcio mg/l	145.49	139.48	111.22
Magnesio mg/l.	0.00	2.92	3.53
Sodio mg/l	735.23	777.40	943.77
Potasio mg/l	44.31	49.53	62.56
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	9.15	7.32	6.71
Cloruros mg/l	237.23	300.35	458.14
Sulfatos mg/l	55.37	56.04	53.70
Nitratos mg/l	37.20	31.00	18.60

Métodos utilizados en el Laboratorio:

- 1.- Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.
 - 2.- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Electrica Conductimetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Analisis
SALCEDO
Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812

www.inia.gob.pe



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
DIRECCION :
PROCEDENCIA : Dist. Tiquillaca.
LUGAR : Rio Challamayo.
MUESTRA : Agua.
N° MUESTRAS : 07.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.
FECHA DE RECEPCIÓN : 04-03-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05-03-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO:

N° Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
07	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

N° Muestras	PM-1	PM-2	PM-3	PM-6	PM-7	PM-9	PM-10
Temperatura °C.	9.90	11.20	9.90	11.00	11.70	12.00	11.70
pH	8.30	8.73	8.34	8.72	8.57	8.50	8.65
C.E. mmhos/cm (25°C)	0.18	0.34	0.25	0.27	0.27	0.30	0.41
Sólidos totales mg/l.	59.00	111.00	81.00	85.00	90.00	92.00	128.00
Calcio mg/l	29.66	45.89	30.46	30.86	28.26	28.06	36.87
Magnesio mg/l.	9.97	19.58	11.07	16.42	22.86	12.65	37.94
Sodio mg/l	144.90	164.45	172.50	198.95	223.10	234.60	404.80
Potasio mg/l	15.64	11.73	15.64	15.64	15.64	15.64	21.51
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	17.08	26.84	10.98	16.47	17.08	3.66	9.76
Cloruros mg/l	0.00	0.00	0.71	35.46	35.81	45.39	73.76
Sulfatos mg/l	50.03	50.03	44.03	52.03	49.03	46.03	53.03
Nitratos mg/l	86.80	62.00	86.80	55.80	74.40	74.40	68.20

Métodos utilizados en el Laboratorio:

1. - Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.
 2. - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Electrica Conductimetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



www.inia.gob.pe

ING° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
INTERESADO :
PROCEDENCIA : Tiquillaca
LUGAR : Afluente Coltamayo
MUESTRA : Agua.
N° MUESTRAS : 03.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.
FECHA DE RECEPCIÓN : 04-03-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05-03-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO :

N° Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
03	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

N° Muestras	PM-4	PM-5	PM-8
Temperatura °C.	11.00	12.00	13.00
pH.	8.62	9.02	9.05
C.E. mmhos/cm (25°C)	1.79	1.91	1.63
Sólidos totales mg/l.	582.00	627.00	541.00
Calcio mg/l	80.96	94.39	70.54
Magnesio mg/l.	23.96	30.76	34.66
Sodio mg/l	933.80	978.65	910.80
Potasio mg/l	60.61	68.43	64.52
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00
Cloruros mg/l	460.80	499.28	447.86
Sulfatos mg/l	54.03	54.03	53.03
Nitratos mg/l	43.40	74.40	55.80

Métodos utilizados en el Laboratorio:

- 1.- Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 195p.
 - 2.- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Electrica Conductímetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CARRERA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis-
SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno, Puno, Perú
T: (051) 363-812



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
INTERESADO :
PROCEDENCIA : Tiquillaca
LUGAR : Afluente Coltamayo
MUESTRA : Agua.
N° MUESTRAS : 07.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.

FECHA DE RECEPCIÓN : 04-04-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05-04-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO :

N° Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
06	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

N° Muestras	PM-1	PM-2	PM-3	PM-6	PM-7	PM-9	PM-10
Temperatura °C.	11.70	11.10	10.80	12.00	14.60	13.60	13.60
pH	7.93	8.15	7.94	8.17	8.95	8.49	9.14
C.E. mmhos/cm (25°C)	0.081	0.136	0.110	0.113	0.115	0.205	0.311
Sólidos totales mg/l.	79.00	133.00	97.00	111.00	115.00	134.00	303.00
Calcio mg/l	33.00	57.45	46.36	40.75	37.54	44.49	44.36
Magnesio mg/l.	13.13	17.67	26.02	47.67	48.56	43.86	35.26
Sodio mg/l	190.90	182.47	199.33	271.40	283.67	341.17	654.73
Potasio mg/l	15.64	15.64	15.64	19.55	19.55	23.46	41.71
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	11.39	13.83	20.34	26.44	22.78	19.52	28.47
Cloruros mg/l	6.15	8.98	9.69	2.60	16.08	32.27	173.28
Sulfatos mg/l	70.04	73.98	69.04	70.04	75.05	70.04	77.38
Nitratos mg/l	497.24	126.48	127.72	126.48	122.76	126.48	126.48

Métodos utilizados en el Laboratorio:

1. - Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988, 195p.
 2. - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciometro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Electrica Conductimetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Analisis
SALCEDO

Rinconada de Salcedo s/n
Puno, Puno, Perú
T: (051) 363-812

www.inia.gob.pe



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
LABORATORIO DE ANALISIS
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
ANEXO SALCEDO
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Evaluacion de la calidad del agua para uso agrícola del rio
Challamayo, Tiquillaca-Puno
INTERESADO : Jose Manuel Lopez Mamani
INTERESADO :
PROCEDENCIA : Tiquillaca
LUGAR : Afluente Coltamayo
MUESTRA : Agua.
Nº MUESTRAS : 03.
TIPO DE ANALISIS : Físico y Químico.
FECHA DE RECEPCIÓN : 04-04-2019
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05-04-2019

CALIDAD FÍSICO QUÍMICO :

Nº Muestras	Aspecto	Olor	Color	Sabor
03	Transparente	Inodoro	Incoloro	Característico

Nº Muestras	PM-4	PM-5	PM-8
Temperatura °C.	10.70	12.80	13.90
pH.	8.34	8.68	8.49
C.E. mmhos/cm (25°C)	0.597	0.807	0.412
Sólidos totales mg/l.	851.00	1141.00	560.00
Calcio mg/l	92.05	131.46	46.09
Magnesio mg/l.	46.37	57.23	59.26
Sodio mg/l	1139.27	1350.87	923.83
Potasio mg/l	108.18	121.21	70.38
Carbonatos mg/l.	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos mg/l.	33.35	34.17	24.40
Cloruros mg/l	756.24	1127.86	436.63
Sulfatos mg/l	82.05	73.71	81.38
Nitratos mg/l	130.20	126.48	125.24

Métodos utilizados en el Laboratorio:

- 1.- Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.
 - 2.- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report Nº 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
- Determinación de pH Potenciometro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Electrica Conductimetro de tres anillos.
Determinación de Calcio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de magnesio EDTA (método del versenato con Eriocromo Negro).
Determinación de Carbonatos Fenoltaleina Titulación Con Acido Sulfúrico.
Determinación de Bicarbonatos Anaranjado de metilo.
Determinación de Cloruros (Titulación con Nitrato de Plata e indicador cromato de potasio).

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Los resultados son aplicables a esta muestra.



Ing° JORGE CANJUA ROJAS
Jefe Laboratorio Analisis
SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno, Puno, Perú
T: (051) 363-812

ANEXO E: Plano de la sub cuenca Challamayo

