

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA



TESIS

**EFFECTO DEL AGUA DE REGADÍO SOBRE LA SALINIDAD DE LOS
SUELOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE PISAC – CUSCO 2023**

PRESENTADO POR:

BACH. ERICK RONALDO ROJAS MANOTUPA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE QUÍMICO**

ASESOR:

Mgt. CIRO TOMAYLLA CRUZ

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: EFECTO DEL AGUA DE REGADÍO SOBRE LA SALUD DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE PISAC - CUSCO 2023

presentado por: ERICK RONALDO ROJAS MANOTUPA con DNI Nro.: 71110303 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de QUÍMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 31 de Octubre de 2024



Firma

Post firma CIRO TOMAYLLA CRUZ

Nro. de DNI 40809688

ORCID del Asesor 0000-0001-6921-1250

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 97259:400152248

NOMBRE DEL TRABAJO

EFFECTO DEL AGUA DE REGADÍO SOBRE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE PISAC – CUSC

AUTOR

ERICK RONALDO ROJAS MANOTUPA

RECUENTO DE PALABRAS

51883 Words

RECUENTO DE CARACTERES

243826 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

218 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

9.2MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 30, 2024 12:01 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 30, 2024 12:04 PM GMT-5

● 5% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Tesis a mis queridos padres: Delia Cecilia Manotupa Quinto e Edgar Rojas Vivas por su apoyo incondicional brindado durante mi formación profesional. Asimismo, este trabajo de Tesis, va dedicado a mis hermanos Daniel Rojas y Edgar Rojas, quienes me dieron todo su apoyo incondicional en mi etapa universitaria. Asimismo, dedico este trabajo a Dios, la Virgen del Carmen de Pisac y al Señor de Huanca quienes, en calidad de fe, me dieron mucha fuerza y voluntad para la culminación de este trabajo de tesis.

Erick Ronaldo.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por acogerme y brindarme todo el conocimiento científico por parte de su plantel de docentes destacados, que me permitieron culminar mi formación profesional. A mis compañeros y amigos por los ratos compartidos durante la convivencia en la Universidad.

De igual forma, quiero expresar mi más sincera gratitud a mi director: Mgt. Ciro Tomaylla Cruz, por apoyarme en el desarrollo de este trabajo de investigación y por confiar en mí persona. Igualmente, Mgt. Luz Aragón Alencastre por sus sabios conocimientos y confianza brindada hacia mi persona, en el periodo que se encontró en calidad de directora de este trabajo de Tesis y al Dr. Leoncio Solís Quispe por permitirme desarrollar algunos análisis en su laboratorio.

Quisiera agradecer a toda mi familia por el continuo apoyo emocional necesario para poder realizar este trabajo. Una vez más a mis padres, Delia y Edgar, por su apoyo condicional y confianza a pesar de todo lo pasado en este proceso, confiando en mí sin duda alguna. A mis hermanos que son todo para mí y a mi enamorada Lucero por todo su apoyo y confianza que puso en mí. Gracias de corazón a todos.

Y finalmente, agradecer al Ing. M.C.C., quien me permitió iniciar este trabajo de investigación, dándome sus comentarios y sugerencias valiosas, permitiéndome encontrar un tema de investigación sumamente importante para el distrito de Pisac. Quedo inmensamente agradecido con su persona, gracias por todo.

RESUMEN

El distrito de Pisac de la provincia de Calca, región Cusco, debido a su climatología, cuenta con amplias extensiones destinadas a actividades agrícolas. Sin embargo, no cuentan con una línea base científica respecto a la salinidad de sus suelos agrícolas, el cual es un factor que comúnmente incide negativamente sobre el correcto desarrollo y crecimiento de las plantas. Por lo que, conocer la salinidad en estos suelos agrícolas es necesario; debido a que en concentraciones altas generan problemas de permeabilidad y baja disponibilidad de agua y aire, así como efectos osmóticos.

En este sentido, el objetivo de este estudio ha sido “evaluar el efecto del agua de riego sobre la salinidad de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac - Cusco 2023”. Para ello, se recolectaron 10 muestras de los suelos en el periodo seco y 10 muestras en el periodo lluvioso, donde se ha analizado los parámetros principales como la CE, pH, PSI y Clase textural; para con ello, determinar su clasificación en base a la salinidad y contenido de sodio, así como otros parámetros complementarios. En el agua de riego se recolectaron 10 muestras en el periodo seco y 10 muestras en el periodo lluvioso, para conocer el efecto del agua de riego sobre la salinidad de los suelos agrícolas, así como en el contenido de sodio. Para ello, se ha analizado los parámetros como la CE, pH y RAS, así como otros parámetros tales como la dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, fosfatos, acidez, calcio, magnesio, potasio y sodio.

Los resultados de los parámetros indicadores de la salinidad han mostrado que los suelos agrícolas en el distrito de Pisac se encuentran clasificados como suelos normales sin exceso de salinidad ni de sodio en ambos periodos, de acuerdo a los valores de CE, pH y PSI que se encontraron de 0.419 a 2.140 dS/m, 7.2 a 7.9 y 0.57 a 1.47 % respectivamente, estando por debajo de los valores de CE (4 dS/m), pH (8.5) y PSI (15 %). No obstante, las muestras S7 y S8 evidenciaron tener una salinidad ligera, observándose una diferencia con respecto a las demás muestras. En este sentido,

los problemas reportados de desarrollo y crecimiento óptimo estarían siendo generados por otros factores. Los resultados fisicoquímicos en el agua de riego como la CE (285 a 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (6.8 a 8.4), calcio, magnesio, sodio, dureza total, alcalinidad, cloruros y sulfatos, se encontraron por debajo de los valores establecidos en los ECA categoría 3, siendo clasificada como agua de calidad para riego en ambos periodos.

Asimismo, los valores de CE y del catión sodio (RAS), han oscilado de 285 a 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 0.36 a 0.65 meq/L respectivamente, por lo que el agua de riego no está generando procesos de salinización, ni aumento de sodio en los suelos agrícolas. Sin embargo, al estar clasificada como C2S1 (salinidad moderada y bajo contenido de sodio) puede afectar a cultivos sensibles a las sales. De tal modo, al ser el maíz un cultivo que siembran en el distrito de Pisac, puede provocar efectos negativos en su desarrollo, debido a que es un cultivo sensible a la salinidad.

El agua ha demostrado que está contribuyendo con un aporte adecuado de sales y del catión sodio sobre los suelos agrícolas, de acuerdo a los valores de CE y PSI en el suelo. No obstante, manejar inadecuadamente el agua puede generar problemas de permeabilidad, efectos tóxicos, efectos osmóticos y aumento de pH en el suelo. Asimismo, los problemas reportados de anomalías en sus productos podrían deberse a la baja fertilidad, baja retención de agua y alcalinidad.

Como parte del estudio, se ha aplicado la prueba estadística (T de student), mediante el paquete estadístico Minitab, donde se ha evidenciado que existe una diferencia de los valores de CE, pH y RAS en el agua y pH en los suelos en ambos periodos; mientras que, la CE y PSI en los suelos agrícolas, no ha existido una diferencia de sus concentraciones en ambos periodos.

Palabras clave: Salinidad, suelo, RAS, agrícola, análisis fisicoquímico, conductividad eléctrica, PSI.

ABSTRACT

The district of Pisac in the province of Calca, Cusco region, due to its climate, has vast expanses dedicated to agricultural activities. However, they do not have a scientific baseline regarding the salinity of their agricultural soils, which is a factor that commonly negatively affects the proper development and growth of plants. Therefore, knowing the salinity in these agricultural soils is necessary; because at high concentrations they cause permeability issues and low availability of water and air, as well as osmotic effects.

In this sense, the objective of this study has been "to evaluate the effect of irrigation water on the salinity of agricultural soils in the district of Pisac - Cusco 2023." For this purpose, 10 soil samples were collected during the dry period and 10 samples during the rainy period, where the main parameters such as EC, pH, PSI, and textural class were analyzed; to determine their classification based on salinity and sodium content, as well as other complementary parameters. In the irrigation water, 10 samples were collected during the dry period and 10 samples during the rainy period, to understand the effect of irrigation water on the salinity of agricultural soils, as well as on the sodium content. To this end, parameters such as EC, pH, and SAR have been analyzed, as well as other parameters such as hardness, alkalinity, chlorides, sulfates, phosphates, acidity, calcium, magnesium, potassium, and sodium.

The results of the salinity indicator parameters showed that the agricultural soils in the district of Pisac are classified as normal soils without excess salinity or sodium in both periods, according to the EC, pH, and PSI values found to be 0.419 to 2.140 dS/m, 7.2 to 7.9, and 0.57 to 1.47%, respectively, being below the EC (4 dS/m), pH (8.5), and PSI (15%) values. However, samples S7 and S8 showed a slight salinity, indicating a difference compared to the other samples. In this sense, the reported problems of development and optimal growth would be generated by other

factors. The physicochemical results in the irrigation water such as EC (285 to 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (6.8 to 8.4), calcium, magnesium, sodium, total hardness, alkalinity, chlorides, and sulfates were found below the values established in the ECA category 3, being classified as quality water for irrigation in both periods.

Likewise, the values of EC and sodium cation (SAR) have ranged from 285 to 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 0.36 to 0.65 meq/L respectively, indicating that the irrigation water is not causing salinization processes or an increase in sodium levels in agricultural soils. However, being classified as C2S1 (moderate salinity and low sodium content) can affect salt-sensitive crops. In this way, since corn is a crop grown in the district of Pisac, it can cause negative effects on its development, due to the fact that it is a crop sensitive to salinity.

Water has proven to be contributing an adequate supply of salts and sodium cation to agricultural soils, according to the values of EC and PSI in the soil. However, improper water management can cause permeability issues, toxic effects, osmotic effects, and an increase in soil pH. Likewise, the reported problems of anomalies in their products could be due to low fertility, low water retention, and alkalinity.

As part of the study, the statistical test (Student's T-test) was applied using the Minitab statistical package, where it was evidenced that there is a difference in the values of EC, pH, and SAR in the water and pH in the soils in both periods; whereas, the EC and PSI in the agricultural soils showed no difference in their concentrations in both periods.

Keywords: Salinity, irrigation water, RAS, cation exchange, physicochemical analysis, electrical conductivity.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	III
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
Problema General.....	4
Problemas Específicos	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6
HIPÓTESIS.....	7
Hipótesis General	7
Hipótesis Específicas	7
CAPÍTULO I.....	8
1 MARCO TEÓRICO	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.1.1 Antecedentes internacionales	8
1.1.2 Antecedentes nacionales	10
1.2 BASES TEÓRICAS	12
1.2.1 Salinidad.....	12

1.2.2 Fuentes de sales solubles.....	13
1.2.3 Tipos de salinidad	14
1.2.4 Alcalinidad	15
1.2.5 El suelo.....	16
1.2.6 Efecto de las sales sobre el suelo	18
1.2.7 Efecto de las sales en la planta	19
1.2.8 Efecto osmótico.....	19
1.2.9 Definición de suelos salinos y sódicos.....	20
1.2.10 Clasificación de suelos según la salinidad y sodicidad.....	22
1.2.11 Parámetros principales indicadores de salinidad en suelos.....	25
1.2.12 Parámetros fisicoquímicos complementarios para suelos	31
1.2.13 Agua	36
1.2.14 Calidad de agua para riego	37
1.2.15 Efecto del agua de riego en suelos	38
1.2.16 Parámetros físico químicos del agua.....	38
1.2.17 Clasificaciones de la inocuidad del agua para riego	44
1.2.18 Técnicas de análisis químico.....	51
CAPÍTULO II.....	56
2 METODOLÓGIA.....	56
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
2.2.1 Descriptivo y correlacional	56
2.2 VARIABLES.....	56
2.2.1 Variable independiente.....	56

2.2.2 Variable dependiente.....	56
2.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	56
2.4 LOCALIZACIÓN	59
2.5 MUESTREO DE SUELO AGRÍCOLA Y AGUA DE REGADÍO	60
2.6 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS, FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO.....	63
2.6.1 Humedad	64
2.6.2 Materia orgánica.....	64
2.6.3 Textura	65
2.6.4 Densidad aparente	67
2.6.5 Densidad real.....	68
2.6.6 Conductividad eléctrica.....	69
2.6.7 pH.....	70
2.6.8 Calcio y magnesio soluble	70
2.6.9 Cloruros.....	72
2.6.10 Fosfatos	73
2.6.11 Extracción de cationes intercambiables	75
2.6.12 Calcio y magnesio intercambiable	77
2.6.13 Potasio intercambiable	78
2.6.14 Sodio intercambiable.....	80
2.6.15 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	82
2.6.16 Capacidad de intercambio catiónico	83

2.7 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA DE REGADIO.....	83
2.7.1 pH.....	83
2.7.2 Conductividad eléctrica.....	84
2.7.3 Dureza total	84
2.7.4 Cloruros.....	86
2.7.5 Alcalinidad	87
2.7.6 Acidez	88
2.7.7 Fosfatos	89
2.7.8 Sulfatos.....	92
2.7.9 Potasio.....	94
2.7.10 Sodio	96
2.7.11 Relación de adsorción de sodio (RAS)	98
CAPÍTULO III.....	99
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	99
3.1 PARÁMETROS FÍSICOS, FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS.....	99
3.1.1 Conductividad eléctrica.....	106
3.1.2 pH.....	107
3.1.3 Clase textural.....	109
3.1.4 Humedad	111
3.1.5 Materia orgánica.....	112
3.1.6 Densidad aparente	112

3.1.7 Densidad real.....	113
3.1.8 Iones solubles	114
3.1.9 Cationes intercambiables	117
3.1.10 Fertilidad del suelo.....	122
3.1.11 Salinidad y contenido de sodio	123
3.1.12 Prueba estadística en los suelos agrícolas	126
3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LAS AGUAS DE RIEGO	131
3.2.1 Conductividad eléctrica.....	135
3.2.2 pH.....	137
3.2.3 Dureza total	139
3.2.4 Alcalinidad	140
3.2.5 Cloruros.....	141
3.2.6 Sulfatos.....	142
3.2.7 Fosfatos	144
3.2.8 Aptitud del agua para riego	147
3.2.9 Relación de las aguas de riego y los suelos agrícolas	155
3.2.10 Prueba estadística en el agua de regadío	157
CONCLUSIONES	162
RECOMENDACIONES	163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	164
ANEXOS.....	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación del suelo de acuerdo a la salinidad y sodicidad.</i>	25
Tabla 2 <i>Categorías de un suelo en función del pH según la USDA (1971).</i>	26
Tabla 3 <i>Clasificación de la salinidad en suelos (extracto de pasta saturada).</i>	28
Tabla 4 <i>Clasificación del suelo según la salinidad en un extracto de agua.</i>	29
Tabla 5 <i>Clasificación de la fertilidad en los suelos según su capacidad de intercambio.</i>	35
Tabla 6 <i>Parámetros necesarios para evaluación la inocuidad del agua de riego.</i>	47
Tabla 7 <i>Grados de restricción para el uso del agua para riego.</i>	48
Tabla 8 <i>Estándar Nacional de la Calidad Ambiental del Agua para irrigación.</i>	50
Tabla 9 <i>Resultados de los parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos de los suelos agrícolas en ambos periodos.</i>	99
Tabla 10 <i>Patrones de calibración para la determinación de fosfatos en suelos.</i>	115
Tabla 11 <i>Absorbancias de suelos en la determinación de fosfatos.</i>	116
Tabla 12 <i>Patrones de calibración para la determinación de potasio en suelos.</i>	118
Tabla 13 <i>Absorbancias de suelos en la determinación de potasio.</i>	119
Tabla 14 <i>Patrones de calibración para la determinación de sodio en suelos.</i>	120
Tabla 15 <i>Absorbancia de suelos en la determinación de sodio.</i>	121
Tabla 16 <i>Clasificación de los suelos agrícolas en función de la salinidad.</i>	123
Tabla 17 <i>Prueba T de student de la conductividad eléctrica en los suelos agrícolas.</i>	126
Tabla 18 <i>Prueba T de student de pH en los suelos agrícolas.</i>	128
Tabla 19 <i>Prueba T de student del PSI en los suelos agrícolas.</i>	129
Tabla 20 <i>Parámetros fisicoquímicos y químicos de las aguas para riego (seco y lluvioso).</i>	131
Tabla 21 <i>Patrones de calibración para la determinación de sulfatos.</i>	142

Tabla 22 <i>Absorbancias del agua en la determinación de sulfatos.</i>	143
Tabla 23 <i>Patrones de calibración para la determinación de fosfatos en el agua.</i>	145
Tabla 24 <i>Absorbancias del agua en la determinación de fosfatos.</i>	146
Tabla 25 <i>Patrones de calibración para la determinación de potasio en el agua.</i>	147
Tabla 26 <i>Absorbancias del agua en la determinación de potasio.</i>	148
Tabla 27 <i>Patrones de calibración para la determinación de sodio en el agua.</i>	149
Tabla 28 <i>Absorbancias del agua en la determinación de sodio.</i>	150
Tabla 29 <i>Cálculo del RAS y Clase del agua de regadío en ambos periodos.</i>	151
Tabla 30 <i>Prueba T de student de la conductividad eléctrica en el agua de regadío.</i>	157
Tabla 31 <i>Prueba T de student del pH en el agua de regadío.</i>	159
Tabla 32 <i>Prueba T de student de la relación de adsorción de sodio en el agua de regadío.</i>	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Presencia de costras en la superficie del suelo por un exceso de sales FAO (2023).</i> ..	12
Figura 2 <i>Fuentes de salinización en los suelos Jordán (2005).</i>	13
Figura 3 <i>Desestructuración del suelo por un exceso de sodio Sabatés (2019).</i>	16
Figura 4 <i>Representación y distribución de las fases del suelo (Jordán, 2005).</i>	17
Figura 5 <i>Perdida de agua en la raíz por un exceso de salinidad en el suelo Jordán (2005).</i>	20
Figura 6 <i>Diagrama de la escala de pH del suelo Jordán (2005).</i>	26
Figura 7 <i>Disponibilidad de nutrientes en el suelo Huamaní (2018).</i>	27
Figura 8 <i>Triangulo textural según la USDA (1993) para determinar la textura del suelo Zavaleta and Edafología (1992).</i>	31
Figura 9 <i>Ilustración de la CIC entre la solución del suelo y la arcilla (Jordán, 2005).</i>	33
Figura 10 <i>Diagrama para la determinación de la calidad de agua de riego normas de Riverside Huamaní (2018).</i>	46
Figura 11 <i>Restricción del agua para riego según la CE y RAS Ayers and Westcot (1985).</i>	49
Figura 12 <i>Componentes del espectrofotómetro UV-Visible (Díaz et al., 2010).</i>	52
Figura 13 <i>Partes principales de un espectrómetro de absorción atómica de llama (Nochez, 2014).</i>	55
Figura 14 <i>Ubicación geográfica del distrito de Pisac (ArcGIS).</i>	59
Figura 15 <i>Zona de muestreo de agua y suelo en el distrito de Pisac.</i>	60
Figura 16 <i>Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de los suelos agrícolas (ArcGIS).</i>	61
Figura 17 <i>Mapa de ubicación de los puntos de muestreo del agua de regadío (ArcGIS).</i>	62
Figura 18 <i>a) y b) Realizando la molienda y tamizado, c) Secando los suelos a temperatura ambiente.</i>	63

Figura 19 a) Muestras de suelos posterior a la dilución de iones solubles por calentamiento en la estufa, b) Muestras de suelos centrifugadas para la obtención de una solución incolora.....	69
Figura 20 a) Equipo Espectrofotómetro UV – VIS, b) Estándares de calibración de fosfatos. ..	75
Figura 21 a) Extrayendo los iones solubles de los suelos con agua destilada, b) Lixiviando los cationes intercambiables de los suelos con una solución de acetato de amonio 1N.....	76
Figura 22 a) Equipo Espectrofotómetro UV-VIS, b) Estándares de calibración de potasio y muestras de suelos formando precipitado.	80
Figura 23 a) Aspirando extracto intercambiable de suelo, b) y c) Coloración amarilla por presencia del catión sodio intercambiable en los suelos agrícolas.....	82
Figura 24 a) y b) Estándares de fosfatos para la determinación de fosfatos en el agua de regadío.	92
Figura 25 a) Solución madre e intermedia de sulfato, b) Estándares de calibración de sulfato y muestras del agua de regadío precipitando.....	94
Figura 26 a) Estándares de calibración de potasio para las muestras de agua, b) Precipitado de las muestras del agua de regadío.	96
Figura 27 a) Aspirando el blanco en el fotómetro de llama, b) Calibrando el fotómetro de llama mostrando una coloración azul libre de impurezas, c) Determinando sodio en el agua de regadío.	98
Figura 28 Comparación de la CE en ambos periodos de los suelos agrícolas.	107
Figura 29 Comparación del pH en ambos periodos de los suelos agrícolas.	108
Figura 30 Clasificación textural de los suelos agrícolas en ambos periodos.	110

Figura 31 <i>Curva de calibración de fosfatos para suelos, generada de una solución patrón intermedia de 10 mg/L, mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 760 nm, con el software visión pro realizado el 12/04/24.</i>	115
Figura 32 <i>Curva de calibración de potasio para suelos, generada de una solución patrón intermedia de 50 mg/L, mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 650 nm, con el software visión pro realizado el 26/04/24.</i>	118
Figura 33 <i>Curva de calibración de sodio para suelos, generada de una solución patrón intermedia de 20 mg/L, mediante el método de espectroscopia de absorción atómica a 589 nm, con el software Sistema SOLAAR AA realizado el 07/05/24.....</i>	120
Figura 34 <i>Clasificación de los suelos de acuerdo al PSI, pH y CE.....</i>	125
Figura 35 <i>a) Valores individuales de CE en ambos periodos del suelo, b) Representación de caja de CE en ambos periodos del suelo.</i>	127
Figura 36 <i>a) Valores individuales de pH en ambos periodos del suelo, b) Representación de caja de pH en ambos periodos del suelo.</i>	129
Figura 37 <i>a) Valores individuales de PSI en ambos periodos del suelo, b) Representación de caja de PSI en ambos periodos del suelo.</i>	130
Figura 38 <i>Comparación de la CE en ambos periodos en el agua de regadío.</i>	135
Figura 39 <i>Comparación de la CE en ambos periodos con los ECA y criterios de Ayers y Westcot.</i>	136
Figura 40 <i>Comparación de pH en ambos periodos en el agua de regadío.</i>	137
Figura 41 <i>Comparación del pH de ambos periodos con los ECA y criterios de Ayers y Westcot.</i>	138

Figura 42 <i>Curva de calibración de sulfato para aguas, generada de una solución patrón intermedia de 50 mg/L mediante el método espectrofotométrico UV - Visible a 420 nm, con el software visión pro realizado el 22/04/24.</i>	143
Figura 43 <i>Curva de calibración de fosfatos para aguas, generada de una solución patrón intermedia de 10 mg/L, mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 760 nm, con el software visión pro realizado el 12/04/24.</i>	145
Figura 44 <i>Curva de calibración de potasio para aguas, generada de una solución patrón intermedia de 50 mg/L mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 650 nm, con el software visión pro realizado el 26/04/24.</i>	148
Figura 45 <i>Curva de calibración para sodio en aguas, generada de una solución patrón intermedia de 20 mg/L, mediante el método espectroscopia de absorción atómica a 589 nm, con el software Sistema SOLAAR AA realizado el 07/05/24.....</i>	150
Figura 46 <i>Clasificación del agua de regadío según la CE y RAS.</i>	153
Figura 47 <i>Clasificación del agua en base al riesgo de infiltración del suelo.</i>	155
Figura 48 <i>a) Valores individuales de CE en ambos periodos en el agua de regadío, b) Representación de caja de CE en ambos periodos en el agua de regadío.</i>	158
Figura 49 <i>a) Valores individuales de pH en ambos periodos en el agua de regadío, b) Representación de caja de pH en ambos periodos en el agua de regadío.</i>	159
Figura 50 <i>a) Valores individuales de RAS en ambos periodos en el agua de regadío, b) Representación de caja de RAS en ambos periodos en el agua de regadío.</i>	161

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CE: Conductividad Eléctrica

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

CSR: Carbonato de Sodio Residual

ECA: Estándares de Calidad Ambiental

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

LMP: Límites Máximos Permisibles

MINAM: Ministerio del Ambiente

MO: Materia Orgánica

OD: Oxígeno Disuelto

PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable

RAS: Relación de Adsorción de Sodio

STD: Sólidos Totales Disueltos

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, la salinidad es una problemática que ha persistido en los suelos hasta la actualidad, aumentando año tras año en zonas secas y semisecas del mundo, debido a la escasez de lluvias, el inadecuado manejo del agua de riego y los fertilizantes (Rueda, 2019). El estrés salino o las altas concentraciones de sales generan modificaciones fisiológicas y bioquímicas en el metabolismo de las plantas, debido a que genera una degradación del suelo, como la disminución de infiltración de agua y aire hacia las raíces. Además, la salinidad trae consigo otras problemáticas como el estrés osmótico, restringiendo la entrada de agua y nutrientes para la raíz. Estos problemas generados por un exceso de sales dependerán de su concentración y constituyentes que presente, ya que un elevado contenido de sodio y bicarbonatos ocasionará mayor obstrucción de los poros del suelo y a su vez un aumento de pH, provocando la indisponibilidad de la mayoría de nutrientes (Lamz & González, 2013). Por todo ello, un exceso de salinidad afectará sobre la calidad del suelo, condicionando su crecimiento y desarrollo de sus sembríos; por consiguiente, su productividad agrícola (Guida, 2021).

El riego artificial es el principal factor que provoca y genera procesos de salinización secundaria en los suelos, debido a que el agua que ingresa al sistema puede infiltrarse al subsuelo causando el ascenso del agua subterránea o se dé una acumulación de la concentración de iones en la superficie debido a la evaporación o el sedimento de estas sales en el suelo por la deficiencia de drenaje, así como la falta de flujos de agua que ayuden a transportar las sales presentes. En definitiva, estos cambios causan una disminución del desarrollo y rendimiento de los productos. No obstante, los constituyentes que conforman estas sales como el nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, entre otros, son necesarias e importantes en los suelos agrícolas debido a que, en

concentraciones optimas, muchos de estos elementos participan como nutrientes esenciales para las plantas (Camacho & Baños, 2019).

Aquellos suelos que contengan sales solubles en altas concentraciones (salinidad) o presenten valores altos del catión sodio intercambiable o bien uno de los dos, serán clasificados como una clase de suelos problemáticos, los cuales necesitarán medidas correctivas y prácticas de manejo especiales. Para entender estos suelos problemáticos, las dos causas son definidas como “suelo salino” cuando presentan suficientes sales solubles como para afectar la productividad y “suelo alcalino”, cuando el sodio intercambiable afecta negativamente en la productividad del suelo. Normalmente, los suelos agrícolas suelen presentar valores altos de iones solubles y sodio intercambiable, siendo denominados como suelos salino-alcalinos (Richards, 1954).

Por otra parte, cuando hablamos de un suelo destinado a la agricultura, conocer la aptitud de intercambio catiónico es importante en la producción de alimentos, ya que, gracias a este proceso natural en el suelo se puede dar el intercambio de cationes entre las partículas del suelo (complejo de intercambio) y la radícula de las plantas promoviendo la fertilidad y la vida vegetal. Esta aptitud del intercambio catiónico (CIC) está dada por los nutrientes necesarios que las plantas necesitan para desarrollarse adecuadamente (Bueno & Fernández, 2019). Esta CIC en el suelo está dada por la arcilla y MO, debido a que presentan propiedades de intercambio catiónico para que ocurra esta reacción química, entrando en la parte soluble del suelo para estar disponibles para las raíces; sin embargo, dependerá del tipo de cationes intercambiables que esté presente, ya que estos actúan sobre las propiedades físicas y químicas de la tierra (Richards, 1954).

El propósito de este estudio es evaluar el efecto del agua de regadío sobre la salinidad de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac-Cusco 2023. Para lo cual se determinará si el agua de regadío está generando un proceso de salinización en los suelos agrícolas; y este sea el factor que

está incidiendo en el correcto desarrollo de sus cultivos. En ese sentido, mediante los análisis de los parámetros fisicoquímicos necesarios en el agua de riego se podrán conocer las concentraciones de sus sales, así como en los suelos agrícolas; y con todo ello, poder relacionar el suelo/agua y determinar su efecto del agua de irrigación sobre la salinidad de los suelos destinados a la agricultura.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la salinidad sobre el suelo sigue siendo un factor que incide negativamente sobre la producción de alimentos a nivel mundial, en la cual la actividad humana ha contribuido a que se aumenten las áreas de suelos salinos con las malas prácticas de riego, generando cambios en la concentración de sal en el suelo. De modo que, no se tiene dato alguno sobre el rango de áreas afectadas, observándose de que esta problemática crece cada vez más con el pasar del tiempo en áreas de cultivo a nivel mundial (Courel, 2019).

En el distrito de Pisac, la agricultura ha sido una de las actividades primordiales para la economía desde tiempos antiguos y que hasta ahora sigue siendo de gran importancia, debido a que casi todas las familias siguen cultivando en sus suelos agrícolas cada año. Una problemática es que la calidad de sus productos agrícolas se puede deber a la salinización de los suelos. Según indagaciones, los agricultores del distrito indicaron que varios de estos terrenos han ido teniendo problemas en cuanto al desarrollo de sus cultivos. Por ello, es necesario realizar los análisis correspondientes y fijar una línea base para años posteriores.

En este trabajo se estudiará el efecto del agua de riego sobre la salinidad de los suelos agrícolas, mediante un análisis fisicoquímico de los suelos y del agua utilizada para riego. En la cual, mediante la CE, RAS, pH, PSI se determinará la cantidad de sal en los suelos y el agua; así como la relación agua/suelo permitiéndonos conocer la contribución de sales de las aguas de

regadío sobre estos suelos agrícolas. Con todo ello, identificar si uno de estos dos factores presenta un exceso de salinidad, siendo el motivo de los problemas generados en el correcto desarrollo de los cultivos agrícolas; caso contrario, se deban a otros factores. De esta forma, dar a conocer las características del agua y suelo a los agricultores, para que con ello mejoren la rentabilidad de sus productos agrícolas.

Problema General

- ❖ ¿El efecto del agua de regadío estará aumentando la salinidad sobre los suelos agrícolas en el distrito de Pisac-Cusco en base a sus parámetros fisicoquímicos y químicos?

Problemas Específicos

- ❖ ¿Los índices de la salinidad tales como la CE, pH y PSI en los suelos agrícolas del distrito de Pisac, se encontrarán en concentraciones adecuadas?
- ❖ ¿Los parámetros fisicoquímicos y químicos del agua de regadío en el distrito de Pisac, presentará valores por encima de los límites máximos permisibles según el ECA siendo de mala calidad para la irrigación?
- ❖ ¿El agua utilizada en el distrito de Pisac para la irrigación, presentará riesgo de sales y de sodio para los suelos agrícolas?
- ❖ ¿El agua utilizada para riego, estará generando un aumento de salinidad y con ello problemas de crecimiento y desarrollo en sus cultivos agrícolas?

JUSTIFICACIÓN

Los problemas de crecimiento en la producción de alimentos a partir de los suelos comúnmente son debidos a las altas concentraciones de salinidad, donde la irrigación artificial es el principal factor que genera cambios en la composición de suelos agrícolas aumentando la concentración de sales.

Motivo por el cual, se ha realizado el presente trabajo de tesis, con el objetivo de evaluar la salinidad de estos suelos, así como la salinidad del agua utilizada para riego, debido a que actualmente el distrito de Pisac, sus suelos agrícolas no cuentan con una línea base de datos registrada en bibliografía especializada respecto a su salinidad, así como sus características fisicoquímicas. En ese sentido, es necesario realizar los correspondientes análisis del agua de irrigación, para conocer su efecto sobre la salinidad de los suelos agrícolas y con ello determinar si estos suelos agrícolas son suelos salinos y este sea el factor que esté afectando al desarrollo y crecimiento adecuado de sus productos agrícolas.

Por tal razón, este trabajo de investigación contribuirá a conocer si los problemas reportados de que algunos productos de sus cultivos no están creciendo y desarrollándose fisiológicamente normal, evidenciándose anomalías, se deban a un exceso de salinidad y sodicidad aportados por el agua de regadío sobre los suelos agrícolas. Además; este estudio también contribuirá a que los pobladores conozcan las características de sus suelos y del agua que utilizan; y con ello, puedan emplear un adecuado uso del agua de riego, ayudando a tener una mayor rentabilidad en sus cultivos.

OBJETIVOS

Objetivo General

- ❖ Evaluar el efecto del agua de regadío sobre la salinidad de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac-Cusco en base a sus parámetros fisicoquímicos y químicos.

Objetivos Específicos

- ❖ Analizar los parámetros fisicoquímicos en los suelos destinados al cultivo en el distrito de Pisac, dentro de ellos los índices de salinidad como la CE, pH y PSI.
- ❖ Determinar si los parámetros fisicoquímicos y químicos del agua de regadío presentan valores por encima del límite máximo permisible según el ECA, y con ello conocer su calidad para la irrigación.
- ❖ Determinar mediante la CE y RAS del agua de regadío, el riesgo de salinidad y sodio en los suelos agrícolas.
- ❖ Interpretar el efecto del agua de regadío sobre la salinidad de los suelos agrícolas.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

- ❖ El agua de regadío en el distrito de Pisac, está aumentando la salinidad de los suelos agrícolas, generando problemas de crecimiento en sus cultivos en base a sus parámetros fisicoquímicos y químicos.

Hipótesis Específicas

- ❖ Los índices de la salinidad como la CE, pH y PSI de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, se encuentran por encima de los valores normales.
- ❖ Los valores de los parámetros fisicoquímicos y químicos en el agua de regadío en el distrito de Pisac, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles según el ECA, siendo de mala calidad para la irrigación.
- ❖ El agua de regadío presenta riesgo de salinidad y sodicidad, causando problemas sobre los suelos agrícolas en el distrito de Pisac.
- ❖ El agua de regadío está aumentando la salinidad sobre los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, causando problemas de desarrollo y crecimiento en sus cultivos agrícolas.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Antecedentes internacionales

Delgado (2021) ha estudiado la calidad de agua para riego en suelos agrícolas en la parroquia rural Colonche, provincia de Santa Elena-Ecuador, mediante los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, CE, SDT, dureza, textura del suelo, salinidad y sodicidad, mencionando que cumplen con la normativa dados por la FAO, a excepción del catión potasio y ion carbonato. Por tanto, ha indicado que el agua presenta cierta restricción respecto a la salinidad por valores de CE de 1.01 a 1.03 dS/m, pero con un bajo riesgo de sodio debido a los valores de Na^+ de 4.76 a 4.99 meq/L, con valores de pH de 7.86 a 8.51. Los suelos han presentado una clase textural arcillosa y arcillosa-limosa, indicando que presentan riesgo de sodio por la mayor superficie de CIC, un pH de 8.0 a 8.2 y una CE de 1.61 a 3.45 dS/m, clasificándolos como suelos normales. Concluyendo que son aguas con un ligero grado de restricción por la alta salinidad, pero que no reducirían el ingreso del agua en el suelo.

Pérez et al. (2019) han analizado pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- para evaluar la calidad de las aguas residuales utilizadas para riego agrícola en Hidalgo-México. Los resultados han mostrado que el agua es bicarbonatada-sódica, con un pH alcalino variando de 6.95 a 9.86, clasificándolas como C2, C3 y C4 (aguas con alta salinidad), mientras que la CE se osciló de 0.278 a 3.684 dS/m, siendo clasificada como S1, S2 y S3 (aguas con alto contenido de sodio). Concluyeron que no es recomendable su uso, por el riesgo de salinización y sodio que presenta, generando una acumulación en la superficie, dañando así la estructura del suelo.

Ramírez (2017) en su estudio, ha evaluado la caracterización fisicoquímica y la abundancia microbiana de aquellos suelos agrícolas que presentan baja productividad en el noreste de Guanajuato-México. Para ello, ha determinado el pH, CE, textura, materia orgánica y densidad, indicando que son suelos ligeramente ácidos por valores de pH de 5.73 a 6.67, una CE que ha oscilado de 0.38 a 0.47 dS/m, siendo valores por debajo de 4 dS/m. Concluyendo que son suelos normales sin ningún problema respecto a la salinidad, debiéndose los problemas de productividad a otros factores.

Medina et al. (2016) han estudiado la calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, en Jalisco-México, según los siguientes parámetros: pH, CE, CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y B^{3+} ; salinidad, sodicidad y fertilidad del suelo. Los resultados mostraron valores de pH de 7 a 8.4 y una CE de 0.220 a 1.750 dS/cm en las aguas, mientras que la mayoría de los suelos obtuvieron valores de pH mayores a 8 con una CE que se encontró entre 0.130 hasta 0.550 dS/cm. De modo que, las clasificaron como aguas y suelos con baja salinidad (C1S1), aguas y suelos con salinidad media afectando a cultivos sensibles (C2S1), así como aguas y suelos con alta salinidad que requieren de un manejo y drenaje adecuado (C3S1), pero con bajo contenido de sodio. Por tanto, concluyeron que ambos recursos son buenos para las actividades agrícolas siempre y cuando haya un drenaje eficiente; de lo contrario habrá problemas por la salinidad.

Pérez et al. (2013) determinaron la composición y caracterización química del suelo en Montecillo-México, mediante los siguientes parámetros: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , pH y CE. Los resultados han revelado una alta concentración de Na^+ (oscilando de 5.03 a 8.92 meq/L), CO_3^{2-} , Cl^- y SO_4^{2-} , así como una elevada CE que ha oscilado de 2.99 a 16.13 dS/m, con un pH que ha variado de 8.8 a 9.7, aumentando a mayor profundidad. Por tanto, concluyeron que son suelos alcalinos con valores altos de RAS y PSI, siendo un suelo salino-sódico.

Salgado et al. (2012) en México, han determinado el efecto de las aguas del acuífero del valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas, mediante los siguientes parámetros: pH, CE, SDT, HCO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ y B^{3+} en el suelo y los principales iones en el agua, mencionando que existe salinidad en algunos suelos, llegando a valores altos de CE, siendo de 17.24 dS/m; por lo que afectará sobre la calidad de sus cosechas. En cuanto al agua, lo clasificaron como C3S1 y C4S1 (aguas con salinidad alta y muy altas con bajo contenido de Na^+); concluyeron que el contenido alto de sales del agua está influyendo sobre la salinidad del suelo, donde algunos terrenos no presentan salinidad en la superficie, de modo que también la salinidad se deba al mal uso del agua, así como la aplicación de fertilizantes.

1.1.2 Antecedentes nacionales

Ojeda (2019) en el distrito de Cupi-Puno, ha determinado la calidad del agua de irrigación y su aptitud agrícola, según los siguientes parámetros fisicoquímicos: T° , pH, CE, dureza total, CO_3^{2-} , RAS, SCR, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- . Los resultados han mostrado que el agua contiene valores de CE por debajo de 0.5 dS/m, clasificándolo como C1 (salinidad baja), pero con altas concentraciones de Na^+ que han oscilado de 9.20 a 19.20 meq/L, siendo de clase S2 (contenido medio de sodio) por los valores de RAS que han oscilado de 8.04 y 8.29. Por tanto, ha concluido que estas aguas son aptas para riego, pero no es recomendable su uso sobre suelos con una textura fina, alta CIC y baja infiltración de agua.

Huamaní (2018) ha determinado el efecto de las aguas servidas sobre el suelo y los cultivos en el canal de regadío de las Salinas Bajo-Chancay-Lima, mediante un análisis fisicoquímico del agua y de los cultivos. Los resultados mostraron que la CE ha variado de 0.89 a 1.3 dS/m, siendo aguas ligeramente salinas con un pH que ha oscilado de 8.13 a 8.54 con tendencia a la alcalinidad, clasificándola como C3S1 (salinidad media con bajo contenido de sodio), siendo duras-alcalinas.

Los suelos presentaron una CE, que ha oscilado de 0.35 a 0.93 dS/m, con un pH que ha variado de 8.07 a 8.83, siendo clasificados como suelos salinos y calcáreos, con valores mínimos de MO que variaron de 1.37 a 1.89 % y un alto contenido de fósforo que variaron de 42.77 a 57.43 mg/kg. Concluyendo que el agua está influenciando negativamente en los suelos agrícolas, por lo que sugiere realizar un tratamiento previo al agua antes de regar sobre los cultivos.

Pinto (2018) ha estudiado la calidad de agua superficial en el río Chili-Arequipa para riego de vegetales, determinando los siguientes parámetros: pH, OD, T°, CE, DBO, DQO, SO_4^- , NO_3^- , Al, B, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, etc. Los resultados mostraron una CE menor a 0.8 dS/m, con un pH que ha variado de 7.43 a 8.33 en diferentes meses, indicando que son resultados que no exceden según el ECA-2015; por lo que, ha concluido que el agua es apta para uso de riego.

Aguirre (2016) ha realizado un estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cacara-Yauyos-Lima destinado al riego de cultivos agrícolas, considerando los siguientes parámetros: T°, pH, CE, OD, DQO, ST, CO_3^- , SO_4^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y metales Cu, Cd, Fe, Pb, Zn. Los resultados mostraron que estas aguas presentan una CE por debajo de 0.5 dS/m, con un pH que ha variado de 7.22 a 7.87, siendo aguas ligeramente alcalinas con tendencia a la neutralidad, con valores que no exceden los niveles dados por el ECA para el regadío de vegetales, siendo aguas aptas para riego.

Fox (2013) ha estudiado la pérdida de uso del suelo por salinización en San Pedro de Lloc-Libertad, según los siguientes parámetros: textura, CE, pH y MO. Los resultados de CE han oscilado de 0.40 a 89.60 dS/m, siendo suelos de ligero a extremadamente salino, con un pH que ha variado de 7.21 a 9.86, siendo suelos entre alcalinos a fuertemente alcalinos, con textura arenosa a franco arenosa. Afirmando que existe un proceso de salinidad en estos suelos influenciado por la cercanía marina, por lo que ha sugerido emplear un riego adecuado.

1.2 BASES TEÓRICAS

1.2.1 Salinidad

La salinidad químicamente es definida como la medición de sal presente y disuelta en una solución, teniendo una relación con la CE, debido a que cuando aumenta los valores de las sales disueltas, su valor de la conductividad eléctrica también se ve incrementado (Water, s.f). Esta salinidad está conformada por iones de mayor solubilidad que el carbonato de calcio y yeso; encontrándose principalmente como cationes el: Na^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} ; y como aniones los, Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} y HCO_3^- (Rueda, 2019).

La cantidad de sal en el agua y en el suelo se obtiene en función del valor de la CE. En el suelo se puede obtener por medio de la solución intermicelar (cationes y aniones son iguales) o en la solución de suelo. Se le considera un suelo como suelo salino cuando su valor de CE es mayor a 4 dS/m a 25°C, caracterizándose por formar costras blancas en la superficie del suelo (figura 1) (Courel, 2019).

Figura 1

Presencia de costras en la superficie del suelo por un exceso de sales FAO (2023).



1.2.2 Fuentes de sales solubles

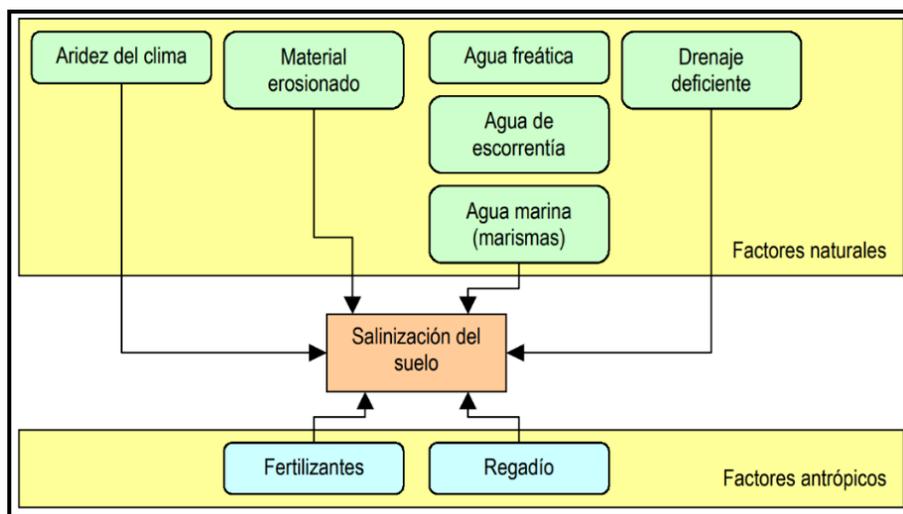
Los minerales primarios son considerados como la fuente principal de los constituyentes de aquellas sales presentes en un suelo, así como las rocas de la superficie expuestas a cambios, donde por procesos de meteorización química, comprendido por reacciones como hidrolisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación, van liberándose lentamente siendo más solubles (Richards, 1954).

Esto se da porque el suelo está expuesto a factores geomórficos, climáticos, hidrológicos, litológicos y antrópicos (regadío). Por otra parte, un inadecuado manejo del suelo, así como la utilización de aguas con mala calidad también conllevan a que se acumulen las sales (Jordán, 2005).

El origen de todas las sales es geológico, de rocas madres que son descompuestas química y físicamente, produciendo o generando partículas nuevas en el suelo, las cuales contienen compuestos iónicos tanto en su matriz como en sus superficies (Ponce, 2022).

Figura 2

Fuentes de salinización en los suelos Jordán (2005).



Por otra parte, los iones sodio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato son los iones solubles que están presentes en mayor proporción en un suelo, mientras que los iones potasio, bicarbonato, carbonato y nitrato son los que están presentes pero en menores proporciones en el suelo (Richards, 1954).

1.2.3 Tipos de salinidad

1.2.3.1 Salinidad primaria o natural

Es una salinización natural, generada por la alteración física o química o por el movimiento de sales desde yacimientos geológicos o aguas subterráneas, la cual dependerá del tipo de suelo para presentar alto contenido de salinidad, tales como los minerales carbonato y/o feldespato, que dependen primordialmente de los constituyentes de la roca madre. Este tipo de salinidad primaria juega un papel importante sobre las capas del suelo, así como en las características físicas y químicas del perfil del suelo, tales como estructura, porosidad, textura, permeabilidad, aptitud de retención de humedad y bases catiónicas intercambiables (Lamz & González, 2013).

Por otro lado, la composición natural, composición de mineral de la arcilla, conductividad hidráulica y el potencial salino también son factores causantes del aumento de sales en el suelo. Por tanto, en lugares áridos y semiáridos, la presencia de periodos secos genera procesos de salinización, como también la presencia de aguas subterráneas con altas sales o por la cercanía a zonas costeras (Lamz & González, 2013).

1.2.3.2 Salinidad secundaria

Este tipo de salinidad es generado por actividades antropogénicas, como el inadecuado uso del agua de regadío, donde aumenta el transporte de la sal al interior del suelo y la migración de estas sales a nuevos lugares conllevando a la pérdida de sales (Lamz & González, 2013). Cuando se usan aguas que presentan alta cantidad de sales en la irrigación, es considerado como una

inadecuada práctica de riego y a esto se suman también las malas condiciones de drenaje. De ahí que el riego toma un papel primordial en la salinización secundaria (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

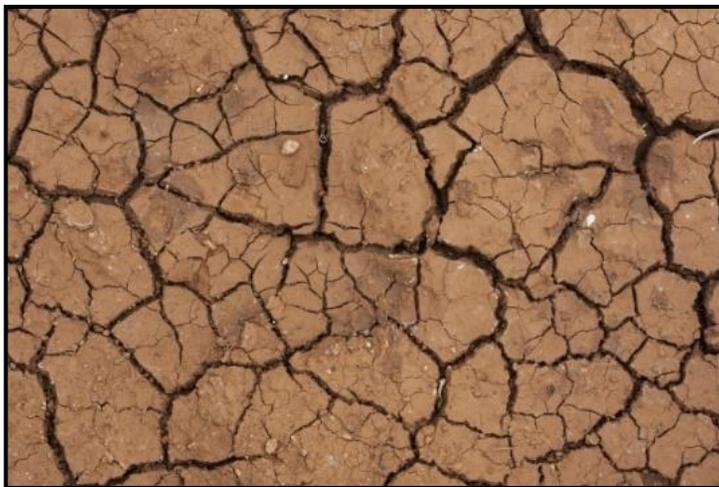
Por otra parte, en regiones secas, la lixiviación y la movilidad de las sales no se da con facilidad como en regiones húmedas; esto no solo se debe a que hay menos lluvia para lixiviar y avancen las sales, sino también a la evaporación que se da en climas secos, concentrándose en suelos y aguas superficiales (Richards, 1954). Por todo ello, la salinidad es un parámetro importante que se debe de considerar para el estudio de un suelo agrícola, debido a que nos permite estimar si está habiendo una adecuada producción en los cultivos, así como el desarrollo de la agricultura (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

1.2.4 Alcalinidad

La alcalinidad químicamente viene a ser la medición de la capacidad del agua para contrarrestar los ácidos dados por los carbonatos, bicarbonatos e hidroxilos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , mientras que en los suelos está referida al contenido de sodio que se encuentra en mayor cantidad en relación al Ca^{2+} y Mg^{2+} . Al presentar valores altos de Na^+ , en la solución del suelo, es absorbido y al ocurrir esto, el Na^+ intercambiable es acumulado como Na_2CO_3 , donde puede darse una hidrólisis del sodio intercambiable o una formación de Na_2CO_3 dando un aumento del pH cercano a 10, provocando la dispersión de arcillas y MO, como se observa en la figura 3 (Rueda, 2019).

Figura 3

Desestructuración del suelo por un exceso de sodio Sabatés (2019).

**1.2.5 El suelo**

El suelo es conocido como la estructura básica del desarrollo agrícola, que se compone de materia orgánica, materia mineral, aire y agua; convirtiéndose en la parte de la nutrición y desarrollo de las raíces debido a los nutrientes disponibles y la humedad que proporciona a las plantas (Gallart, 2018).

Los suelos permiten que las personas cultiven sus propios alimentos y lleven a cabo actividades socioeconómicas, principalmente en áreas lejanas o rurales, donde la agricultura es una actividad primordial; por lo tanto, un recurso importante para la humanidad (Torres & Rojas, 2018). Al suelo se le considera un sistema dinámico porque en ella se desarrollan numerosas interacciones y que, en los últimos tiempos, el crecimiento poblacional, generó cambios relevantes sobre la calidad del suelo, causando problemas en sus productos agrícolas (Zanor et al., 2018). Igualmente, a un suelo se le puede denominar como un almacén de nutrición para disponibilidad de las raíces. Por ejemplo, el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , solamente se abastecen a las plantas por medio de las

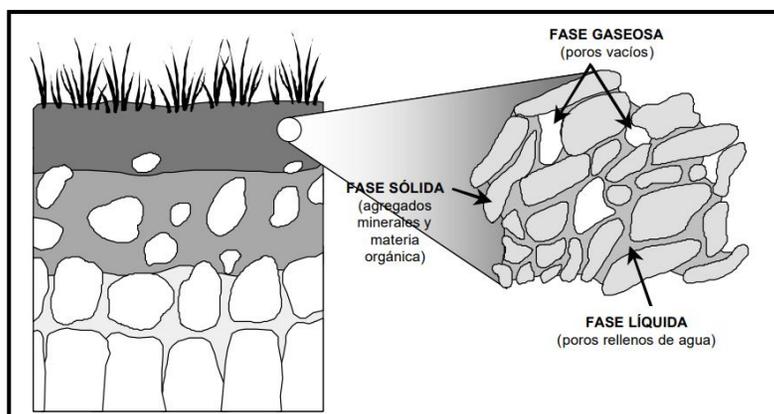
reservas que están en el suelo; en cambio, el potasio se puede aumentar sus concentraciones en los suelos con fertilizantes con el fin de ser removido según sea requerido por los cultivos (Guevara, 2018).

1.2.5.1 Composición del suelo

La composición de un suelo está dada por tres fases; la fase dura o sólida está formada por los agregados minerales y orgánicos, la fase soluble está formada por el agua presente en el suelo, mientras la fase gaseosa está formada por el aire contenido en los poros del suelo. La fase sólida ocupa en volumen, un 50 % aproximadamente y el resto del espacio lo conforma la fase líquida y gaseosa. La parte sólida del suelo es la más estable y representativa, siendo muy estudiada. Es heterogénea porque lo forman constituyentes orgánicos e inorgánicos. Normalmente los suelos agrícolas suelen poseer alrededor de un 45 % de materia mineral, un 5 % de materia orgánica, un 15 a 35 % de agua y el resto aire, siendo la fase líquida y la parte gaseosa muy variables. La parte líquida sufre cambios por consecuencia de la evaporación, adsorción por la raíz, precipitación, irrigación, etc.; mientras que la parte gaseosa cambia de acuerdo a como se distribuyan los gases y se desplace el aire por el suelo (Jordán, 2005).

Figura 4

Representación y distribución de las fases del suelo (Jordán, 2005).



La composición de un suelo cambia según la naturaleza de la roca madre, así como las modificaciones producidas por la meteorización, materia orgánica y prácticas de manejo. En el caso de la arena y el limo, el cuarzo es el que se encuentra en mayor proporción; mientras que las arcillas presentan en su estructura silicatos aluminicos, teniendo la capacidad de realizar intercambios catiónicos (Rucks et al., 2004).

1.2.6 Efecto de las sales sobre el suelo

Los problemas ocasionados por la salinización en el suelo generan una desestructuración, elevan la densidad aparente, así como la obstrucción de agua en el suelo, disminuyendo el ingreso de agua por la alta concentración del catión sodio; y con ello una reducción de fertilización fisicoquímica (Rhoades et al., 1992).

También los niveles o concentraciones altas de sales, inciden negativamente sobre la fertilidad del suelo. Principalmente se le atribuye al catión sodio, generando como consecuencia una alteración entre los constituyentes iónicos que son adsorbidos y el desequilibrio en las reacciones ácido-base (Otero et al., 2013).

Los efectos provocados por un alto contenido de salinidad en los suelos generan un descenso de la actividad biológica, limitando los elementos esenciales, produciéndose el degrado y despoblación de tierras y por ende modificaciones en la parte física (Zúñiga et al., 2011).

Estos efectos negativos provocados por las sales, son dados por la reacción electroquímica de los cationes con la arcilla, haciendo que se expanda la arcilla al estar húmeda y se contraiga al estar seca, en la que concentraciones altas de sodio intercambiable provocan una expansión inadecuada, produciéndose una ruptura en las partículas, conllevando a la separación de la arcilla y estructura de los suelos (Rueda, 2019).

1.2.7 Efecto de las sales en la planta

Los problemas en las plantas por cantidad altas de sales dentro del suelo, son causadas por una dificultad de absorber el agua (estrés osmótico), iones que causan toxicidad, poca disponibilidad de agua y oxígeno por la obstrucción de poros; así como la incidencia negativa de las sales en los procesos biológicos, impidiendo el adecuado desarrollo y el crecimiento de las raíces en los cultivos (Rueda, 2019).

Otro efecto negativo sobre las plantas es el estrés provocado por la alcalinidad, debido a que un suelo sódico suele tener un pH mayor a 8.5, mientras que las plantas deben tener un pH entre 5.5 y 7.0 para poder desarrollarse óptimamente. Además, a pH altos muchos nutrientes metálicos precipitan, generando defectos sobre ellas, tal es el caso del hierro. Sin embargo, las plantas tienen la capacidad de producir ácidos orgánicos mediante sus raíces y con ello solubilizan los constituyentes presentes, liberando nutrientes de manera que pueden sobrevivir en suelos alcalinos (Daliakopoulos et al., 2016).

Estos efectos negativos en las plantas no se darán de igual forma para todas las plantas, debido a que cada especie tiene una diferente tolerancia, así como también su crecimiento de la misma. Físicamente, puede provocar un crecimiento inadecuado, muerte de sus hojas y por ende el marchitamiento de la planta antes de llegar al final de su desarrollo (Courel, 2019).

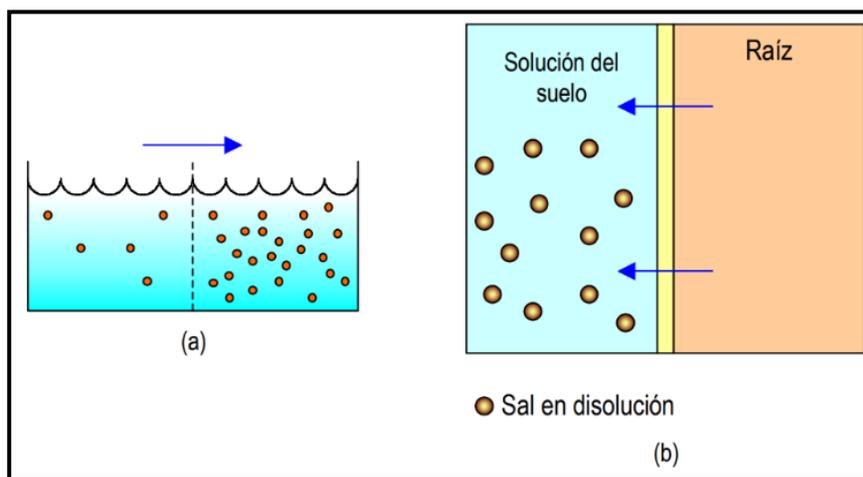
1.2.8 Efecto osmótico

Este fenómeno físico está dado por el traslado entre dos compartimientos y las sales presentes, y si hablamos de un suelo agrícola, normalmente la planta debería presentar mayor concentración de sales en sus tejidos radiculares, lo que generaría una adsorción del agua y las sales solubles en el suelo y de esta manera se alimenta la planta. Sin embargo, cuando se tiene alta presencia de sales en la solución, tal es el caso de un suelo salino, la planta tendrá que ejercer una

fuerza mayor para vencer la presión osmótica y poder disponer tanto de agua como de nutrientes. En consecuencia, los cultivos tendrán problemas de desarrollo normal (Laboratorio de Análisis Agrícolas, 2020).

Figura 5

Perdida de agua en la raíz por un exceso de salinidad en el suelo Jordán (2005).



1.2.9 Definición de suelos salinos y sódicos

Aquellos suelos con un exceso de sales por procesos de salinización y sodificación se les llama suelos problemáticos, por lo que es importante conocer sus concentraciones, debido a que cantidades excesivas de iones como el catión sodio generan problemas en un suelo, por lo que el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos clasifica mediante la siguiente manera a estos suelos problemáticos (Richards, 1954).

1.2.9.1 Suelo salino

La salinidad del suelo es un término que está referido a la elevada concentración iones presentes en los suelos agrícolas que generan problemas, afectando en el desarrollo de sus

productos por su efecto tóxico y un decrecimiento de la capacidad osmótica del suelo (Lamz & González, 2013).

Este tipo de suelo se presenta generalmente en regiones de clima seco y semiseco, donde las sales solubles no se transportan lejos, debido a que, al no presentar lluvia disponible para lixiviar y transportar, se concentran más las sales por la evaporación. En cambio, en las regiones húmedas, por la meteorización se transportan hacia abajo del suelo o son transportadas por los arroyos hacia los océanos (Richards, 1954).

Los iones que se encuentran participando en los suelos como sales solubles vienen a ser: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , NH_4^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} y HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , SO_3^{2-} , OH^- , F^- , SiO_3^{2-} . Sin embargo, los que se encuentran en mayor cantidad son el Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} y HCO_3^- formando los principales iones solubles en mayor proporción en el suelo (Rueda, 2019).

1.2.9.2 Suelo sódico

Se le denomina suelo sódico a aquel suelo que presenta una acumulación excesiva de Na^+ con respecto al catión Mg^{2+} y Ca^{2+} , generando la alcalinización por un exceso de Na_2CO_3 y los porcentajes de sodio intercambiable. En tal sentido, es otro tipo de suelo problemático común cuando hablamos de un suelo con fines agrícolas, debido a que el sodio genera problemas en la productividad de los suelos agrícolas. Una baja permeabilidad causada por el sodio o cantidades altas de agua provocará charcos sobre la superficie de la zona de cultivo, imposibilitando la reproducción de semillas, así como el desarrollo de las raíces de las plantas por la escasez de aire (Rueda, 2019).

El sodio toma mayor énfasis al conformar el cincuenta o más del total de cationes solubles dentro de la solución, predominando en el total. En estas condiciones, el catión Na^+ desplaza tanto al Ca^{2+} como Mg^{2+} del complejo arcilla-húmica, modificando el orden o forma del suelo dispersándolo, haciendo que pierda su aptitud de infiltración e aireación; y al ser menos solubles el calcio y magnesio, precipitan por la evaporación o una adsorción del agua por las plantas (Courel, 2019). En tal condición, los constituyentes como el CaSO_4 , MgCO_3 y CaCO_3 también disminuyen su solubilidad, de ahí que la concentración de sodio se vea aumentada (Richards, 1954). Al darse esto, el sodio queda como único catión predominante en la solución, siendo más fácil intercambiar en el complejo de intercambio, aun cuando a pesar de que el sodio tiene menor capacidad de intercambiar en el complejo arcillo-húmico, este tiene la capacidad de cambiar con los otros cationes (Rueda, 2019).

1.2.10 Clasificación de suelos según la salinidad y sodicidad

Los principales indicadores químicos como el pH, CE y porcentaje de sodio intercambiable, son los que ayudan a conocer las características de un suelo en cuanto a su salinidad, de tal forma que mediante estos parámetros podremos clasificarlos o dividirlos a los suelos que presentan sales en función de la concentración, como se muestra a continuación (Rueda, 2019).

1.2.10.1 Suelos salinos

Se le considera suelo salino, a aquel suelo que presenta una conductividad por encima de 4 dS/m a 25°C, porcentaje de sodio intercambiable menor al 15% y normalmente un pH inferior a 8.5. Son suelos que suelen presentar costras blanquecinas de sales en su superficie, donde sus cualidades químicas de estos suelos están dadas por el tipo y concentración de iones presentes. El Na^+ soluble e intercambiable normalmente se encuentra en menor proporción referente al Ca^{2+} y

Mg^{2+} , pero se suele dar lo contrario. En estos suelos se encuentran iones no muy solubles, tal es el caso del $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ y $CaCO_3$, donde los principales aniones los conforman los cloruro y sulfato; y raras veces se encuentra el anión nitrato (Richards, 1954).

Al respecto, para clasificar a un suelo como salino, debe contener un CE mayor a 4 dS/m, con un pH menor a 8.5, así como un PSI menor a 15 %, presentando una adecuada infiltración de agua normalmente, ya que no presenta una estructura pobre (O'Geen, 2018). Además, el Ca^{2+} es un catión floculante sobre los coloides del suelo cuando se encuentra en mayor proporción respecto a los otros cationes, ayudando en la estructura del suelo a ser más estable, por ende el suelo se halla poco diferenciado (Jordán, 2005).

1.2.10.2 Suelos salinos-alcálinos

Los suelos salinos-alcálinos presentan una conductividad superior a 4 dS/m a 25°C y un porcentaje de sodio intercambiable por encima de 15 % y el pH muy poco supera los 8.5. Sus propiedades y apariencia suelen ser similar a los suelos salinos; no obstante, pueden volverse similares a un suelo alcálico no salino al infiltrarse el exceso de sales hacia abajo. Al eliminar el exceso de sales del suelo, el sodio intercambiable se hidroliza y forma hidróxido de sodio, lo cual este puede pasar a carbonato de sodio al reaccionar con el CO_2 absorbido de la atmósfera, aumentando su pH. A veces contienen yeso, donde al lixiviar el suelo, el calcio se disuelve y sustituye al sodio, simultáneamente con la pérdida del exceso de sales (Richards, 1954).

Un suelo salino-sódico presenta un porcentaje de sodio intercambiable mayor a 15 % y una salinidad mayor a 4 dS/m con un pH menor, teniendo una estructura física de pobre a buena debido al alto contenido de sal soluble que ayuda en la floculación de los minerales arcillosos, de manera que no se dispersan y mantienen estable la estructura del suelo (O'Geen, 2018).

Cuando un suelo salino contiene una elevada concentración de iones sodio y cloruro, puede impedir la adsorción de nutrientes como el potasio, calcio y nitrato por las raíces de las plantas, llegando a alcanzar niveles tóxicos para el metabolismo celular (Courel, 2019).

1.2.10.3 Suelos alcalinos y no salinos

Un suelo no salino alcalino tiene una conductividad inferior a 4 dS/m a 25°C, un PSI por encima de 15 % y su pH varía de 8.5 hasta 10 según aumente el sodio. Se da usualmente en zonas semisecas y secas. Sin embargo, también ocurre en presencia de yeso tanto en el suelo como en el agua de irrigación, donde el lavado y la lixiviación de los suelos alcalinos salinos ayudan a que se formen suelos sódicos. La materia orgánica sedimentada en la superficie genera un oscurecimiento llamado “álcali negro” en suelos altamente alcalinos debido a la evaporación. El sodio forma una capa densa de baja permeabilidad en niveles más bajos donde se acumula la arcilla. El sodio intercambiable incide sobre las propiedades fisicoquímicas de un suelo. En pH con valores de 10 existen los iones carbonato, donde precipita el Ca^{2+} y Mg^{2+} , conteniendo estos suelos pequeñas cantidades de Ca^{2+} y Mg^{2+} , predominando el sodio (Richards, 1954).

Este tipo de suelos contiene un alto porcentaje de sodio intercambiable, caracterizado por contener un PSI mayor a 15 % con un pH mayor a 8.5 y una CE inferior a 4 dS/m. De modo que al regar con aguas de bajos contenidos de sal, ayudará a que se genere mayor dispersión del suelo y se reduzca la infiltración de un suelo sódico (O'Geen, 2018).

Se considera a un suelo como suelo alcalino cuando presenta un valor porcentual de sodio canjeable mayor o igual al 15 % y un pH igual a 8.5 o superior, causando la dispersión e impidiendo la formación de agregados careciendo de poros, ocasionando un bajo movimiento del agua con una baja conductividad hidráulica (Courel, 2019).

Cuando el catión Na^+ es el dominante en el suelo, ayuda en la separación de las arcillas, por lo que la formación de la estructura del suelo es mínima. También una reacción de carbonatación en las arcillas sódicas provoca un aumento de pH del suelo y una variación mineral; por lo que el suelo se ve afectado en su estructura (Jordán, 2005).

Tabla 1

Clasificación del suelo de acuerdo a la salinidad y sodicidad.

CE (dS/m)	PSI (%)	pH	Clasificación del suelo
> 4	< 15	< 8.5	Salino
< 4	> 15	> 8.5	Sódico
> 4	> 15	< 8.5	Salino - Sódico
< 4	< 15	< 8.5	Normal

Nota. Valores de CE, PSI y pH para clasificar problemas de salinidad y sodicidad en los suelos Richards (1954).

1.2.11 Parámetros principales indicadores de salinidad en suelos

Para estudiar o determinar la cantidad de sales en el suelo, las determinaciones principales de laboratorio son el pH, conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio canjeable (PSI), mientras que para determinar problemas de sodicidad en el suelo por la irrigación, es determinado por el contenido de sodio (RAS); sin embargo, determinar también otros parámetros en el agua ayudará a conocer su calidad de aguas para riego y su influencia en el suelo de acuerdo al contenido de sales que presente (Raj et al., 2016).

1.2.11.1 pH (Potencial de hidrogeniones)

El pH es vital e incide en cada proceso físico, químico y biológico en el suelo. El suelo puede encontrarse en tres condiciones de pH: siendo ácido, neutro y alcalino (figura 6). En la determinación del pH se usa un electrodo llamado pH metro o potenciómetro, el cual mide la actividad de H^+ y nos brinda un valor sin unidad, pero en un rango dentro de las 3 condiciones de pH (Fox, 2013).

Figura 6

Diagrama de la escala de pH del suelo Jordán (2005).

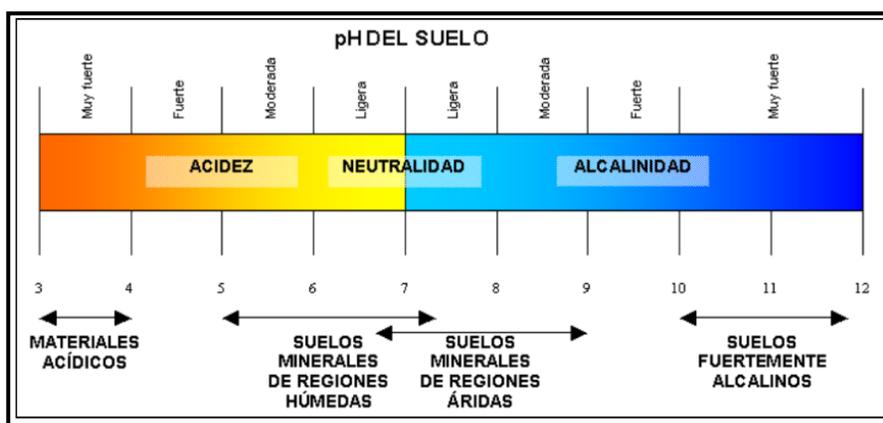


Tabla 2

Categorías de un suelo en función del pH según la USDA (1971).

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

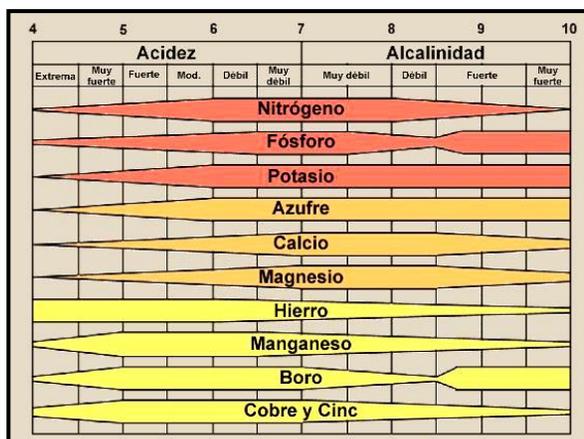
Nota. Clasificación de categoría de un suelo según el pH Fox (2013).

La medición del pH es el parámetro químico principal que se determina en el suelo, debido a que mediante este parámetro podemos saber su capacidad agrícola, conocer la solubilidad de los nutrientes esenciales y conocer el efecto tóxico de los elementos. De igual forma, ayuda a estimar los cationes mayoritarios en los coloides de un suelo (Huamaní, 2018).

El pH en el suelo es una determinación que también nos ayuda a conocer la movilidad de los nutrientes, la toxicidad que pueda generar en las plantas y la actividad microbiana (García et al., 2004). El rango de pH en el suelo, que no dan problemas oscila de 6.0 hasta 7.5, donde los valores de los elementos esenciales están en mayor solubilidad para la planta; de no ser así, generan efectos negativos de toxicidad y asimilación de nutrientes (Monge, 2020). Sin embargo, también consideran que el pH óptimo en el suelo debe ser de pH 5 a 7.5, donde la mayoría de los nutrientes del suelo se encuentran solubles. Por ende, están más disponibles para ser adsorbidos por las plantas y tengan un desarrollo adecuado. Los valores de pH de un suelo ácido o alcalino permitirán tener una idea de los iones presentes disponibles para las plantas. En suelos ácidos, se encuentran en su máxima solubilidad el Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+4} , y en un suelo alcalino el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ (figura 7) (Huamaní, 2018).

Figura 7

Disponibilidad de nutrientes en el suelo Huamaní (2018).



1.2.11.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es igual al número de iones en el suelo como su movilidad, de modo que ayuda a conocer la cantidad de sales que está conforma. La CE en el suelo mide la cantidad de iones, así como la virtud que tiene para conducir corriente eléctrica, por lo que mide el contenido de iones solubles y su unidad es (dS/m) en el suelo (Rueda, 2019). Mediante la conductividad eléctrica, se pueden obtener las unidades de salinidad, donde se le multiplica la conductancia (604 umhos/cm) del NaCl 0.05N a 25°C (Fox, 2013).

Tabla 3

Clasificación de la salinidad en suelos (extracto de pasta saturada).

Categoría del suelo	Conductividad eléctrica (dS/m)	Características
Normal	< 2	Ningún cultivo es afectado
Ligeramente salino	2 – 4	Afectan los cultivos ligeramente tolerantes
Salino	4 – 8	Afectan a los cultivos moderadamente tolerantes
Fuertemente salino	8 – 16	Posible solo cultivos tolerantes
Extremadamente salino	> 16	Pocos cultivos son posibles

Nota. Rangos de salinidad que pueden tolerar los cultivos recuperado de FAO-UNESCO (1999).

Se tiene una clasificación dada por Dahnke y Whitney (1988), donde se determina la CE mediante una relación de 1:1, 1:2 o 1:5 de suelo y agua. De modo que se puede clasificar la conductividad eléctrica de acuerdo al extracto de agua (tabla 4). No obstante, de acuerdo a la CE, el progreso de los cultivos es modificado por la textura del suelo. De igual forma, menciona que en los suelos que contienen un exceso de sales se observa un decrecimiento escalonado en el

proceso de desarrollo, así como en la productividad a medida que aumenta la salinidad (Porta & López, 2005).

Tabla 4

Clasificación del suelo según la salinidad en un extracto de agua.

Categorías	CE (dS/m)
No salino	0 – 1.2
Ligeramente salino	1.3 – 2.4
Moderadamente salino	2.5 – 4.7
Fuertemente salino	4.8 – 9.4
Extremadamente salino	< 9.5

Nota. Dahnke y Whitney, 1988 citado por (Porta & López, 2005).

Por otra parte, una salinización en los suelos afecta negativamente a las plantas, como sus hojas, tallos y frutos, reduciendo su aptitud sin que la persona se dé cuenta de que la salinidad es el parámetro causante de estos cambios negativos (Leidi & Pardo, 2002).

1.2.11.3 Textura

La textura del suelo se obtiene mediante la diferencia de tamaño de partículas de arena, limo y arcilla, menores a 2 mm. La arena es más grande, de tamaño irregular y moldeable cuando está mojada, pero se seca rápidamente y tiene una textura rugosa. Debido al tamaño de sus poros, tiene una alta permeabilidad al agua y al aire. El limo presenta un tamaño mediano (0.05 - 0.002 mm) con limitada plasticidad y pegajosidad al estar húmedo. Son moldeables, pero cuando se seca, es fácil de desmontar y puede contener mucha agua por su retención. La arcilla tiene partículas

diminutas con tamaño menor a 0.002 mm que son observadas por microscopio electrónico. Es plástica y pegajosa al estar húmeda, pero al secarse se endurece. Este retiene una gran cantidad de agua debido a que posee microporos (Fox, 2013).

1.2.11.3.1 Clase textural

Las diversas proporciones de arena, limo y arcilla dan como resultado 12 clases texturales diferentes. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1993) enumeró estas 12 clases texturales fundamentales, que se clasifican en orden creciente del porcentaje de partículas de arena, limo y arcilla. (Zavaleta & Edafología, 1992). De modo que los tipos de suelo clasificados como suelos arenosos, francos y arcillosos se dividen en tres categorías dentro de las clases texturales. Los suelos arenosos se definen por presentar más del 80 % de arena, presentando baja materia orgánica y retención de agua. Los suelos francos se definen por contener 40 % de limo, 15 % de arcilla y 45 % de arena. Así mismo, si presenta más del 45 % de arena, se le denomina franco arenoso; si contiene más del 15 % de arcilla, se denomina franco arcilloso. Los altos contenidos de arena y arcilla, tienen una alta productividad agrícola y una gran capacidad para retener la humedad, mientras los suelos arcillosos son conocidos por su alta aptitud de retención de agua. Sin embargo, se convierte en una capa compacta e impermeable cuando se seca (Soil Survey Division Staff, 1999).

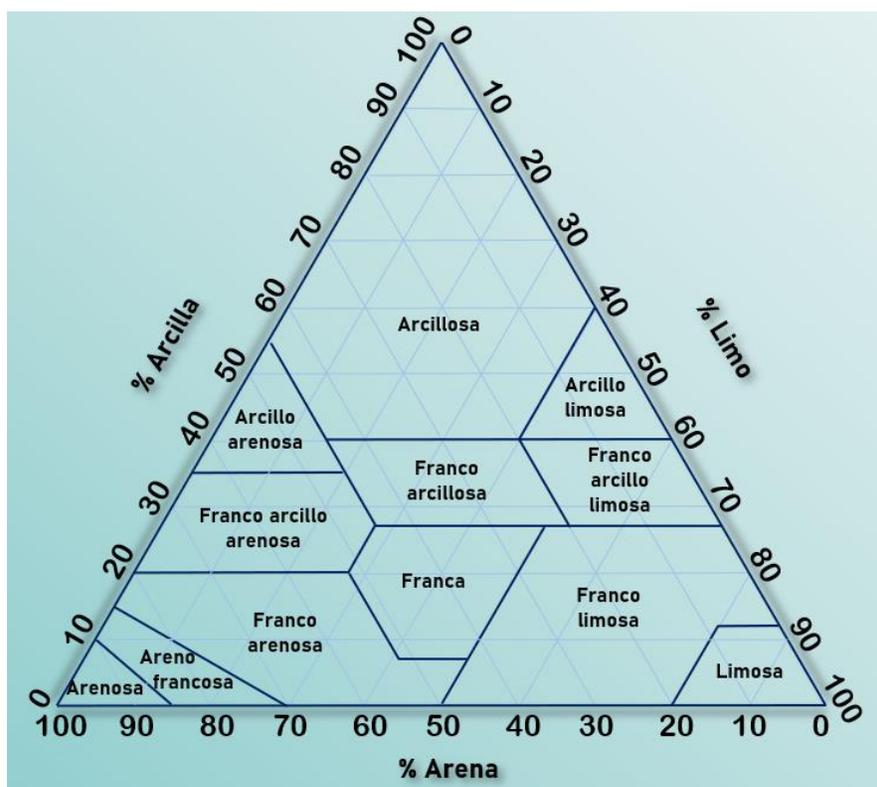
1.2.11.3.2 Triángulo textural

El triángulo textural se utiliza para identificar las clases texturales. La arena se representa en la parte inferior en porcentajes que van del 0 % al 100 %, mientras que el limo se representa a la derecha en porcentajes que van del 0 % al 100 % y el lado izquierdo representa la arcilla de 0 a 100 % (Fox, 2013). A todo ello, la clase textural en el suelo se determina sumando las tres fracciones (arena, limo y arcilla) encontradas en el análisis de granulometría, donde la suma de los

porcentajes de los tres componentes debe ser igual al 100 por ciento (Zavaleta & Edafología, 1992).

Figura 8

Triangulo textural según la USDA (1993) para determinar la textura del suelo Zavaleta and Edafología (1992).



1.2.12 Parámetros fisicoquímicos complementarios para suelos

1.2.12.1 Humedad

Sabemos que el agua es necesaria para todo ser vivo porque, entre otras funciones cruciales, desempeña un papel en el transporte de nutrientes desde el suelo hasta el interior de las plantas, existiendo en el suelo en forma molecular. Este contenido de humedad puede ser beneficioso, pero también puede ser un problema. Sin embargo, el agua regula las actividades físicas, químicas y

biológicas del suelo porque facilita la lixiviación de sales y otros componentes del suelo (Fernández, 2006).

Debido al hecho de que la concentración de la solución del suelo depende tanto de la cantidad de sal soluble como de la cantidad de agua, el riesgo de salinidad del suelo para los cultivos varía con la humedad del suelo. Evaluar el nivel mínimo de humedad en el que producirá marchitamiento estará dado por la textura del suelo. Por ello, es un desafío determinar la cantidad máxima de agua disponible para las plantas porque, además de la textura del suelo, la conductividad eléctrica y el tamaño de los poros, también juegan un papel importante (Richards, 1954).

1.2.12.2 Densidad del suelo

El peso del suelo en relación con su volumen se conoce como su densidad, a través del cual podemos obtener la porosidad total del suelo. Para tener dicha información en suelos agrícolas, normalmente se determina la densidad aparente y la densidad real (FAO, 2022).

Densidad Aparente: La correlación entre el peso de una muestra seca a 105°C y su correspondiente volumen en el suelo se conoce como densidad aparente, el cual nos permite determinar la porosidad total del suelo (Rucks et al., 2004). Un suelo compacto con una alta concentración de partículas granulares, como la arena, está indicado por un suelo con una alta densidad aparente, Sin embargo, un suelo con baja densidad puede no ser siempre el ideal para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (FAO, 2022).

Densidad Real: La densidad real viene a ser el promedio ponderado, es decir el promedio que se obtiene a partir de las densidades de cada constituyente sólido del suelo, donde dependerá principalmente de la proporción de los elementos presentes como los minerales y la materia

orgánica. Si la proporción de materia orgánica en el suelo no supera el 1 %, tiene una densidad real de alrededor de 2.65 para un suelo típico desprovisto de minerales pesados (Rucks et al., 2004).

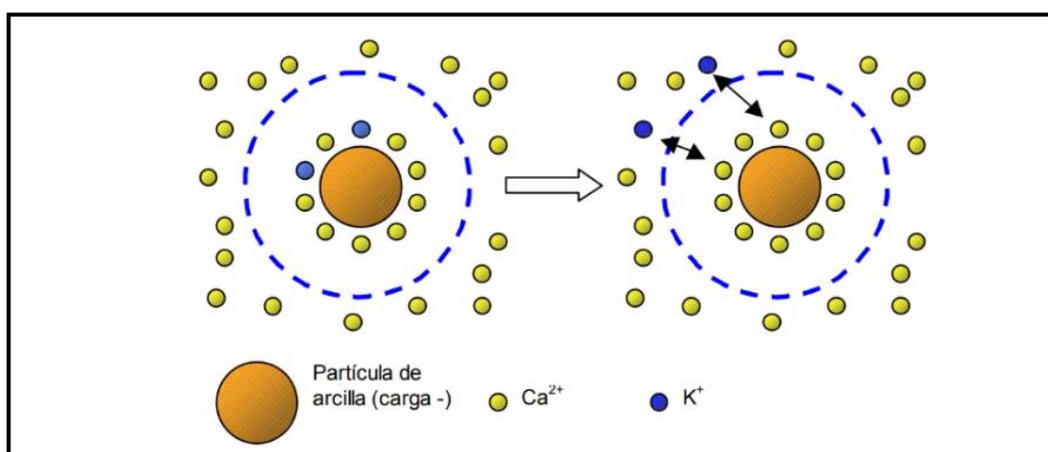
1.2.12.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Una característica química del suelo que promueve la fertilidad es la aptitud de intercambio catiónico (CIC). Viene a ser el área de un suelo donde se encuentran los nutrientes vitales para la vida vegetal, por lo que es un componente crucial en el crecimiento de los cultivos agrícolas. Estos nutrientes, que se solubilizan en la parte líquida del suelo para crear una solución y ser absorbidos por las plantas, incluyen K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} (Bueno & Fernández, 2019).

Es un proceso natural que tiene lugar entre las partículas del suelo, conocido como complejo de intercambio, y las raíces de las plantas. Debido a que es tan importante para la vida vegetal, puede considerarse como uno de los procesos naturales más significativos del planeta (Brady, 1984).

Figura 9

Ilustración de la CIC entre la solución del suelo y la arcilla (Jordán, 2005).



La cantidad de sitios cargados negativamente en la superficie de las arcillas y la materia orgánica en el suelo, se mide como la capacidad de intercambio catiónico, que muestra cuántos cationes se pueden retener. Esta CIC dependerá del pH, como del tipo de arcilla. Los cationes intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ deben presentar porcentajes óptimos en la saturación de la CIC para que se dé un óptimo desarrollo y crecimiento de las plantas; de no ser así, se aplican tratamientos según el catión deficiente en el suelo (López et al., 2019).

La descomposición de los minerales en sus bordes y superficies, la separación de los grupos funcionales ácidos de los compuestos orgánicos, la liberación de iones específicos en las superficies y el reemplazo isomórfico en el interior de las estructuras de las capas en los minerales arcillosos son procesos que contribuyen a la formación de los constituyentes del suelo, teniendo la capacidad de intercambiar (Guerrero, 2019).

Las fuerzas electrostáticas o cargas eléctricas en la parte exterior de las partículas de un suelo son las que provocan esta adsorción de estos cationes. El modelo difuso de doble capa, que representa la interacción de dos fuerzas que actúan con sus cargas opuestas, debido a la atracción electrostática para tener concentraciones iguales en toda la solución, proporciona una explicación para esta fuerza. La CIC se expresa en unidades de miliequivalentes por 100 g de suelo (Guevara, 2018). Los cationes H^+ liberados por las raíces se intercambian con los cationes de la solución del suelo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , etc.) durante este proceso de intercambio, obteniendo su correspondiente nutrición las plantas por medio de sus raíces para un crecimiento adecuado (FAO, 2022).

La CIC nos permite conocer la fertilidad de un suelo; de modo que esta fertilidad estará dada por las cargas negativas presentes en el suelo, las cuales son atribuidas a la presencia de arcilla y

materia orgánica. Según el contenido de estos, el suelo podrá retener mayor contenido de cationes; es así que la fertilidad del suelo se le puede clasificar de acuerdo a la CIC (Guevara, 2018).

Tabla 5

Clasificación de la fertilidad en los suelos según su capacidad de intercambio.

Clase	CIC meq/100g
Muy alta	>40
Alta	25-40
Media	15-25
Baja	5-15
Muy baja	<5

Nota. Clasificación de fertilidad recuperado de Guevara (2018).

1.2.12.4 Materia orgánica

El término "materia orgánica" describe la cantidad de restos orgánicos modificados que tienen la capacidad de elevar el nivel de nutrientes en el suelo. Esta materia orgánica es importante, debido a que, ayuda en el intercambio de cationes y mantiene los cationes en el suelo. Por otro lado, también ayuda en la microestructura del suelo, impidiendo que se deteriore la capa superficial y favoreciendo el desarrollo de la microfauna edáfica, contribuyendo así con la alteración del ambiente superficial y edáfico donde se desarrollan las plantas. Por todo ello, determinarlo nos ayudará a tener información indirectamente sobre la fertilidad de los suelos (Huamaní, 2018).

1.2.12.5 Carbonato de calcio

La principal fuente de calcio en el suelo es CaCO_3 , encontrándose en una variedad de formas, incluido en polvo muy fino. Aunque el CaCO_3 está ausente también en los suelos básicos,

la ausencia de CaCO_3 acidifica el suelo; por lo que es recomendable añadir yeso para aumentar el calcio sin cambiar el pH del suelo (Huamaní, 2018).

Cuando se encuentra en concentraciones suficientes, el $\text{CO}_3^{=}$ contribuye positivamente a la estructura del suelo como en la actividad de los microorganismos, pero cuando está presente en concentraciones altas, inhibe la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes esenciales. Por otra parte, el Na_2CO_3 predomina a niveles de pH superiores a 8.5, mientras el CaCO_3 suele ser abundante en suelos con un alto contenido de $\text{CO}_3^{=}$ a niveles de pH cercanos a 8 (Huamaní, 2018).

Se cree que el Na^+ y el K^+ están conectados a cuerpos de agua que tienen un alto contenido de carbonato porque el CaCO_3 y el MgCO_3 son compuestos insolubles; de manera que, al perder humedad el suelo, el Ca^{2+} es removido, siendo cambiado por el Na^+ , ocurriendo lo mismo con los bicarbonatos; por tanto, se genera un suelo alcalino sódico. Es así que los carbonatos de sodio o bicarbonatos de sodio aumentan el riesgo de sodificación del suelo. Las reacciones se muestran a continuación (Huamaní, 2018).

En suelos ácidos:



En suelos neutros y alcalinos:



1.2.13 Agua

En la naturaleza, el agua es el compuesto que se encuentra en mayor proporción, ocupando alrededor de las 3/4 partes en la superficie terrestre. El agua toma un rol primordial sobre el desarrollo y sostenimiento humano, por lo que es necesario y vital en las actividades agrícolas.

Generalmente las aguas usadas para la irrigación provienen de lagos, ríos y mantos freáticos, el cual solo representa el 0.6191 % del agua total que se encuentra en la naturaleza (Huamaní, 2018).

1.2.13.1 Calidad de Agua

Cuando se habla de la inocuidad del agua, este normalmente está asociado con las características que pueda presentar dicha agua; en la que puede afectar o incidir en su adaptabilidad a un uso específico y a la que la definimos como un conjunto de características fisicoquímicas y biológicas. Es así que según el uso que se le quiera dar, este tendrá que cumplir los valores adecuados (Ayers & Westcot, 1987).

1.2.14 Calidad de agua para riego

La inocuidad del agua para la irrigación son definidas o dadas por la proporción de sales y iones principales como el Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} como cationes; CO_3^{2-} , HCO_3^{-} , Cl^{-} y SO_4^{2-} como aniones, y en menor cantidad boro y fosforo; de modo que, al tener concentraciones altas de estos pueden influir negativamente en los suelos agrícolas (Nishanthiny et al., 2010).

Los parámetros o características de las que depende la calidad del agua destinada a la irrigación son dadas por el contenido, así como los constituyentes disueltos que presente, el contenido relativo del Na^{+} en relación a otros elementos catiónicos, el contenido de boro u otros elementos que afecten de manera negativa y los valores de los bicarbonatos respecto al contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Conocer la calidad de una agua destinada a la irrigación es primordial, ya que nos ayudará a estimar su incidencia en el suelo y con ello a los productos agrícolas, donde es importante conocer la proporción cualitativa y cuantitativa de las sales en la parte líquida del suelo, enfatizando en los que provocan un efecto tóxico o la generación de sales peligrosas (Can et al., 2014).

1.2.15 Efecto del agua de riego en suelos

Los problemas comunes de las aguas de mala calidad para riego son principalmente el aumento de salinidad en los suelos lentamente, generando problemas osmóticos o toxicidad de algunas sales y elementos iónicos sobre las plantas, afectando en el desarrollo de estas (Can et al., 2014).

El principal incremento de las sales en los suelos se da por el uso del agua cuando no es usada adecuadamente en base a su calidad, donde estas aguas normalmente poseen concentraciones normales de sales, presentando ningún riesgo; pero cuando ingresa al suelo, este genera problemas de incremento de la proporción de sales, dando problemas de salinidad en el suelo (Rashidi & Seilsepour, 2011).

1.2.16 Parámetros físico químicos del agua

1.2.16.1 Conductividad eléctrica

Viene a ser aptitud que posee una solución para conducir una corriente eléctrica y su unidad está en (dS/m), (mmho/cm), siendo su equivalencia $1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmho/cm}$, aunque normalmente se expresa por microSiemens / cm ($\mu\text{S/cm}$) (Cajas, 2018). Es una propiedad de las soluciones que está ligada al tipo y valencia de los cationes e aniones que contenga, su contenido total y relativo, su transporte, temperatura y concentración de sólidos disueltos. En función de la conductividad eléctrica, podemos medir la salinidad en el agua como en el extracto de suelo (Fernández, 2006).

La CE nos permite medir el contenido total de cationes y aniones presentes, donde a una alta concentración de CE mayor será la salinidad, pero dependerá de la temperatura, ya que a mayor temperatura habrá mayor disolución de aquellos constituyentes menos solubles (Huamaní, 2018). Por otro lado, los constituyentes como los nitratos y fosfatos no aportan sobre la conductividad

eléctrica; sin embargo, son necesarios para las plantas debido a que los nitratos y los fosfatos forman parte de los nutrientes indispensables para el correcto crecimiento de estas (Water, s.f).

1.2.16.2 pH (potencial de hidrogeno)

Viene a ser la medición de la actividad de los iones hidrógeno (H^+) en una solución Richards (1954). De igual forma, el pH viene a ser el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno o iones hidronio, la cual se describe su fórmula a continuación (Rueda, 2019).

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+]$$

El pH es un valor en un rango de 0 a 14 donde un pH de 0 a 6.9 representa acidez, un pH de 7 representa neutralidad y un pH de 7.1 a 14 indica la alcalinidad en un agua; por lo que al tener pH bajo habrá mayor concentración de H^+ y baja concentración de OH^- , mientras que al tener un pH alto habrá mayor concentración de OH^- (Huamaní, 2018).

1.2.16.3 Dureza total

La dureza total está atribuida al contenido de calcio y magnesio, debido a que sus concentraciones son mayores respecto a otros iones, por lo que la dureza es igual a la suma de ambos cationes. En aguas de riego, en concentraciones adecuadas, los iones alcalinotérreos divalentes como el calcio y magnesio, tienen la capacidad de flocular las partículas coloidales del suelo, incrementando la permeabilidad del suelo (Huamaní, 2018).

Aguas con altas concentraciones de carbonatos de calcio presentan una alta concentración de sales, en comparación con aguas blandas. Sin embargo, una alta dureza en el agua genera riesgos de precipitaciones y taponamientos en los sistemas de riego; no obstante, aguas con

concentraciones altas de calcio contrarrestan las acciones negativas del sodio. Por tal razón, es recomendable usar aguas con alta dureza para remediar suelos sódicos (Huamaní, 2018).

1.2.16.4 Alcalinidad

En el agua, la alcalinidad está atribuida a aquellos iones que tienen la capacidad de neutralizar al H^+ . En zonas superficiales, la alcalinidad está atribuida al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidroxilos de calcio, sodio, potasio y magnesio. Por esa razón, son tomados o considerados indicativos por el contenido de tres iones que dependerán del pH (Ojeda, 2019).

Estos carbonatos y bicarbonatos existen o están presentes en la solución del agua, debido al desgaste y disolución de rocas de piedra caliza. En la solución del agua, los bicarbonatos se encuentran como bicarbonatos de calcio y magnesio, mientras que como bicarbonatos de sodio y potasio están como sales sólidas. En cambio, los carbonatos no siempre se encuentran en las aguas, porque tienen baja solubilidad, tales como los carbonatos de calcio y magnesio. Es así que el sodio y potasio son los cationes que están presentes en aguas con alto contenido de carbonatos (Huamaní, 2018).

Aquellos problemas de crecimiento y desarrollo en las plantas también son provocados por niveles altos de alcalinidad en las aguas de riego, generando efectos negativos, y esto se da en mayor énfasis cuando son aguas bicarbonatadas sódicas, ya que el catión sodio se fija en el suelo, generando problemas tanto en el suelo como en el crecimiento de las plantas (Rueda, 2019).

1.2.16.5 Calcio

El catión calcio (Ca^{2+}) es uno de los cationes más abundantes en el agua. Este calcio se encuentra siempre en el agua natural y normalmente se encuentra formando sales con los iones cloruro, sulfato, fluoruro, carbonato e hidrogeno, siendo sales solubles (Delgado, 2021). Al

respecto, APHA-AWWA-WPCF (1992) manifiesta que el catión calcio se encuentra en aquella agua que fluye por zonas donde hay caliza (CaCO_3), dolomita [$\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$], yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y pizarra de yeso, formando sales ligeramente solubles o muy insolubles y precipitando fácilmente como carbonato de calcio, lo que favorece al aumento de dureza y la formación de capas (Huamaní, 2018).

1.2.16.6 Magnesio

El catión magnesio (Mg^{2+}) es el segundo catión en mayor proporción después del calcio en la corteza terrestre y se encuentra en aguas superficiales por alteraciones químicas y separación de dolomitas, magnesitas y otras rocas. El Mg^{2+} está presente en todas las aguas naturales por la menor actividad biológica y alta solubilidad, como el sulfato de magnesio en relación al Ca^{2+} (Aguirre, 2016). Además, el catión magnesio es el elemento y nutriente primordial y esencial para las plantas, porque potencia el aspecto de las plantas y los procesos fotoquímicos (Delgado, 2021).

1.2.16.7 Potasio

El catión potasio (K^+) está presente casi siempre en aguas potabilizadas, pocas veces en concentraciones de 20 mg/L, pero en las aguas naturales, el K está presente en concentraciones inferiores a 10 mg/L, aunque normalmente aumenta su concentración por deposición atmosférica, escurrimiento del agua e influencia de canaletas de riego. El catión K^+ también es primordial para las plantas; por lo que su participación en el agua es beneficiosa, principalmente en agua de regadío. Como elemento requerido por las plantas, el K ocupa el quinto lugar después de C, O, H y N, encontrándose en cuatro formas en el suelo: K^+ disponible en la solución, como K^+ canjeable, K^+ no canjeable y como K^+ insoluble, siendo parte de los minerales en el suelo (Nochez, 2014).

El potasio está presente en las partículas de la arcilla del tipo illitas y la interacción de las aguas superficiales con rocas, lixiviadas por los caudales. Presenta valores bajos en el agua de

irrigación, una alta CIC ayudando en la fertilidad; es muy soluble en el agua, pero dificulta en lixiviar en el suelo; sin embargo, no genera problemas de toxicidad (Delgado, 2021).

1.2.16.8 Sodio

El catión sodio (Na^+) está presente en la naturaleza en estado combinado, normalmente en aguas subterráneas. Las principales fuentes del sodio que generan un aumento de su concentración en el agua son debido al desgaste de los depósitos de sal y minerales de roca salina, principalmente el mineral halita (NaCl), aguas con alta salinidad, aguas superficiales expuestas a sales, riego y transporte de las lluvias por medio de suelos con alto contenido de Na^+ , contaminación por aguas residuales e infiltración de sales lixiviadas, entre otros (Nochez, 2014).

Los problemas de estructura en el suelo, así como la falta de agua para el desarrollo de los productos, es ocasionado por concentraciones altas de sodio respecto al calcio y magnesio, siendo adsorbido por el suelo, principalmente por las arcillas, para un intercambio catiónico (Delgado, 2021).

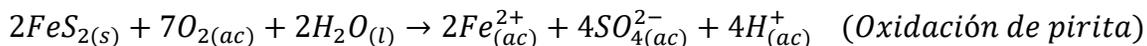
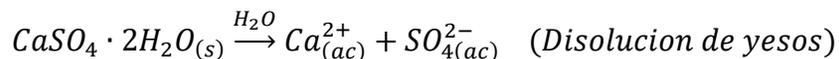
1.2.16.9 Cloruros

En las aguas naturales, los aniones de cloruro (Cl^-) existen debido a la disolución de rocas que presentan sal, como la roca salina halita (NaCl), estando bajo la forma de NaCl , KCl y CaCl_2 , mientras que en el suelo están presentes por la infiltración de aguas costeras, contaminaciones de aguas residuales domésticas y por aguas de irrigación. Normalmente, el aumento paulatino de cloruro es debido a contaminantes domésticos no tratados (Aguirre, 2016).

1.2.16.10 Sulfatos

En las aguas naturales, los aniones de sulfato (SO_4^{2-}) existen debido a la disociación del yeso y oxidación de sulfuros (piritas), que provienen del agua que atraviesa lugares con contenido

alto de yeso o por un vertimiento de aguas residuales. Los aniones sulfato siempre están presentes en el agua, aportando en la salinidad (Aguirre, 2016).



1.2.16.11 Fosfatos

Los fosfatos se encuentran en las aguas disueltos como ortofosfatos en forma de $H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^-$ dependiendo del pH, siendo la forma del fósforo directamente aprovechable por las plantas (Aguirre, 2016). El fósforo es un elemento limitante en el suelo y un nutriente crucial para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas. La presencia del fósforo en el suelo dependerá del material madre y se observó que, en zonas más húmedas, la presencia de este nutriente es deficiente (Huamaní, 2018).

Es considerado el fósforo como un elemento limitante, debido a que, suele encontrarse en cantidades mínimas en el suelo, solo se compensa con el uso de fertilizantes ricos en fósforo, porque no se puede obtener fósforo a partir de las lluvias, puesto que, no la reciclan y tampoco es liberado instantáneamente de los residuos orgánicos. Por otro lado, altos contenidos de fósforo provenientes de ríos u océanos provocan crecimientos excesivos de algas, quitando el oxígeno del agua mientras se descomponen. Raras veces, se presentan valores altos de fosfatos, provocando una escasez de oxígeno en el agua y un aumento de la materia orgánica, dando la formación de algas. Este exceso puede ser atribuido comúnmente a las aguas residuales domésticas como vertidos que contienen detergentes y por la degradación del suelo y lixiviados de tierras con abonos que contienen compuestos de fósforo, entre otros. Los niveles de fosfato en aguas naturales normalmente son menores a 1 ppm o mg/L (Aguirre, 2016). Concentraciones menores a 2 mg/L

de fosfatos en aguas para riego son valores adecuados sin ningún problema respecto a este elemento (Ayers & Westcot, 1987).

1.2.17 Clasificaciones de la inocuidad del agua para riego

Existen muchos criterios para determinar la calidad del agua para irrigación, considerando principalmente el riesgo que puede generar el regar con estas aguas en el suelo y los cultivos. La más utilizada para evaluar el peligro de las aguas de irrigación es el diagrama propuesto por Richards (1954), donde según la adsorción de sodio y la CE se puede definir el riesgo de salinización en el suelo (Delgado, 2021).

1.2.17.1 Relación de adsorción de sodio (RAS)

La abreviatura de la relación de la adsorción del catión sodio es RAS o SAR, siendo un cálculo desarrollado y sugerido por Richards (1954) para el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. Es utilizado para la determinación del peligro en los suelos respecto a la salinización o sodificación, en la cual mediante el contenido de CE y la concentración del sodio en el agua, se puede definir la clase de agua y las precauciones que se deben tener para ser utilizada en la irrigación, el cual es llamado diagrama de clasificación de calidad para aguas de irrigación según el RAS y CE (Rueda, 2019).

Con respecto a los suelos, Gurovich (1985) afirma que el valor de RAS aumenta conforme aumenta el contenido de todos los iones, el sedimento de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , conforme baja el porcentaje de agua retenida en los suelos por la extracción de las plantas y la evaporación superficial. Así mismo, menciona que mediante el RAS o SAR podemos determinar el problema que puede generar el manejo de un agua hacia años posteriores, como la desestructuración del suelo, provocando problemas posteriores de infiltración del agua (Huamaní, 2018).

Existen varias formas de poder determinar su valor de la adsorción de sodio, en la cual una de las formas para obtener el valor del RAS es mediante la fórmula que se muestra a continuación, donde se utilizan los valores del Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} solubles expresados en meq/L. De acuerdo al valor obtenido de RAS y CE, se le clasificará si el agua es de calidad para la irrigación mediante el diagrama propuesto que ayuda a conocer la inocuidad del agua de irrigación, como se muestra en la figura 10 (Richards, 1954).

Cálculo de RAS:

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

Donde:

SAR: Relación de adsorción de sodio en proporción al calcio y magnesio (meq/L)

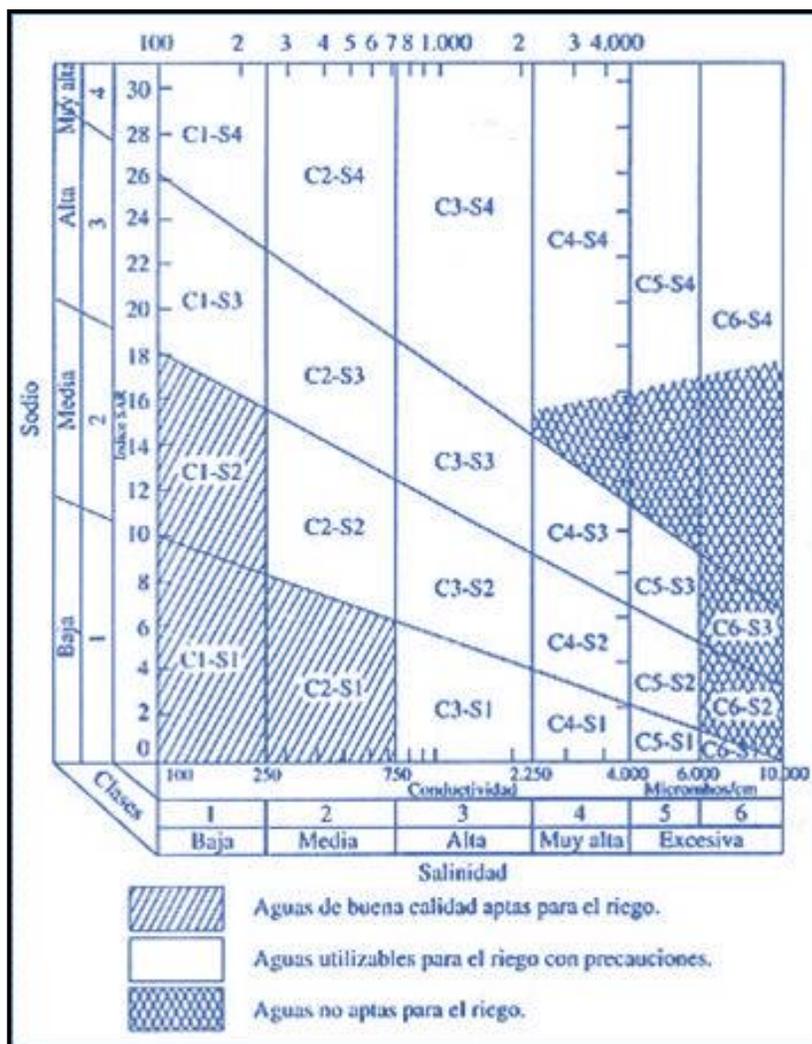
Ca²⁺: Valores del catión calcio (meq/L)

Mg²⁺: Valores del catión magnesio (meq/L)

Na⁺: Valores del catión sodio (meq/L)

Figura 10

Diagrama para la determinación de la calidad de agua de riego normas de Riverside Huamaní (2018).



1.2.17.2 Clasificación de Ayers and Westcot (1985)

La FAO, según Ayers and Westcot (1985), dio una guía para conocer la inocuidad del agua para irrigación, en base a las sales, el sodio, elementos tóxicos, lixiviación y tolerancia de cultivos, el cual ha sido actualizado por diferentes investigaciones realizadas en todo el mundo; permitiendo así conocer y comprender los problemas negativos sobre los suelos y en la producción de sus productos a tiempos posteriores, como se muestra en la tabla 6 (Delgado, 2021).

Tabla 6*Parámetros necesarios para evaluación la inocuidad del agua de riego.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego
SALINIDAD			
<u>Contenido en sales</u>			
Conductividad Eléctrica	CE	dS/m	0 – 3
Solidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	0 – 2000
<u>Cationes y Aniones</u>			
Calcio	Ca ²⁺	meq/l	0 – 20
Magnesio	Mg ²⁺	meq/l	0 – 5
Sodio	Na ⁺	meq/l	0 – 40
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 – 10
Cloruro	Cl ⁻	meq/l	0 – 30
Sulfato	SO ₄ ²⁻	meq/l	0 – 20
NUTRIENTES			
Nitrato – Nitrógeno	NO ₃ – N	mg/l	0 – 10
Amonio – Nitrógeno	NO ₄ – N	mg/l	0 – 5
Fosfato – Fósforo	PO ₄ – P	mg/l	0 – 2
Potasio	K ⁺	mg/l	0 – 2
VARIOS			
Boro	B	mg/l	0 – 2
Acidez/Basicidad	pH	1 - 14	6.0 – 8.5
Relación de Adsorción de Sodio	RAS	meq/l	0 – 15

Nota. Valores normales para determinar la inocuidad de las aguas de irrigación Ayers and Westcot (1985).

No obstante, la inocuidad del agua para riego está ligada a la limitación de su uso, relacionado con los efectos que pueda causar respecto al aumento de sales, sodio y otros problemas en el suelo, proponiendo así valores para restringir su uso en suelos agrícolas (tabla 7) (Delgado, 2021).

Tabla 7

Grados de restricción para el uso del agua para riego.

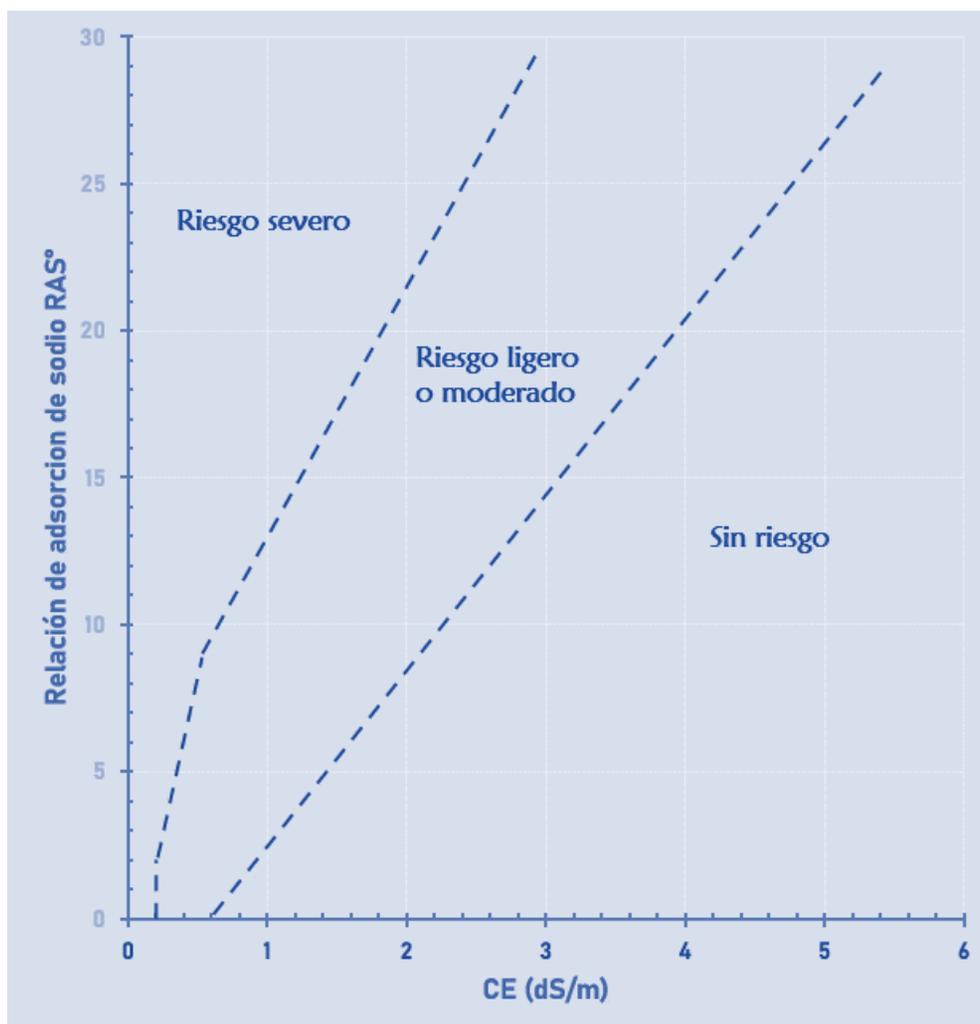
Problema Potencial	Unidades	Grado de restricción del uso			
		Ninguno	Ligero o moderado	Severo	
<u>SALINIDAD</u>		(Afecta la disponibilidad de agua para los cultivos)			
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	< 0.7	0.7 – 3	> 3.0	
<u>INFILTRACIÓN</u>		RAS (meq/L)	CE (dS/m)		
		0 - 3	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
		3 - 6	> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
		6 - 12	> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
		12 - 20	> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
		20 – 40	> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
<u>TOXICIDAD DE IONES ESPECÍFICOS</u>		(Afecta a los cultivos sensibles)			
Sodio (Riego por superficie)	RAS	< 3	3 – 9	> 9	
Cloruro (Riego por superficie)	meq/L	< 4	4 – 10	> 10	
<u>EFFECTOS MISCELANEOS</u>		(Afecta a los cultivos sensibles)			
Bicarbonatos	meq/L	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5	
pH		Rango normal 6.5 – 8.4			

Nota. Grado de restricción del uso de agua para riego para suelos agrícolas Ayers and Westcot (1985).

Por otra parte, también dieron otros criterios basándose en la aptitud de la permeabilidad del suelo, que limita el ingreso del agua hacia el interior de las capas del suelo, el cual menciona que los problemas de infiltración del suelo son dados por su inocuidad del agua así como sus propiedades químicas y físicas del suelo y cationes canjeables, principalmente por el catión sodio en el agua de irrigación, que genera una dispersión y degradación textural del suelo, si su concentración es el triple al del Ca^{2+} , siendo difícil contrarrestar los efectos dispersantes del Na^+ (Ayers & Westcot, 1985)

Figura 11

Restricción del agua para riego según la CE y RAS Ayers and Westcot (1985).



1.2.17.3 Norma legal

En el Perú, se tiene una norma legal, para la categoría 3-Subcategoría D1: Aguas de riego de vegetales, dados por el DS N° 004-2017-MINAM, donde el ECA, establece la medición que fija el nivel de contenido de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, presentes en el agua, suelo y aire, con el objetivo de que no presenten problema alguno para la integridad de las personas y al ambiente. Es así que nos brinda valores de ciertos parámetros fisicoquímicos y químicos en el que no genere un riesgo significativo (tabla 8). En ese sentido, para este estudio se aplicará los valores dados por el ECA - categoría 3-subcategoría D1 (aguas de regadío).

Tabla 8

Estándar Nacional de la Calidad Ambiental del Agua para irrigación.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALORES
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	2500
Sulfatos	mg/L	1000
Calcio	mg/L	200
Magnesio	mg/L	150
Sodio	mg/L	200
Cloruros	mg/L	500
Carbonatos	mg/L	5
Alcalinidad	mg/L	518

1.2.18 Técnicas de análisis químico

En la química, las técnicas de análisis químico son de gran importancia, debido a que mediante estas técnicas se puede realizar un análisis químico para la detección, identificación, caracterización y cuantificación de compuestos químicos. Se tienen dos tipos de análisis químicos, el cual uno de ellos es el análisis cualitativo, en el que solo se determina la presencia de un compuesto químico de una muestra en una solución y el análisis cuantitativo, donde se obtiene la concentración de un compuesto químico de una muestra en una solución. Existen diferentes clasificaciones de las técnicas de análisis, pero en este caso mencionaremos los fundamentos de las técnicas utilizadas en este estudio (Díaz et al., 2010).

1.2.18.1 Espectrofotometría UV – Visible

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que puede determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en medir la absorción de radiación electromagnética por parte de las moléculas, donde la cantidad de luz absorbida será proporcional a la concentración del compuesto analizado. Este proceso se logra empleando un equipo llamado espectrofotómetro, donde se selecciona la longitud de onda de luz que debe pasar por una solución midiendo la cantidad de luz absorbida (Díaz et al., 2010). Este método espectrofotométrico se basa en la ley de Lambert-Beer, que establece que existe una relación lineal tanto de la absorbancia, la concentración y la longitud del camino óptico, la cual es expresada mediante la siguiente fórmula (Martínez & Pérez, 2009).

$$A = \epsilon l C$$

Donde:

A: Absorbancia

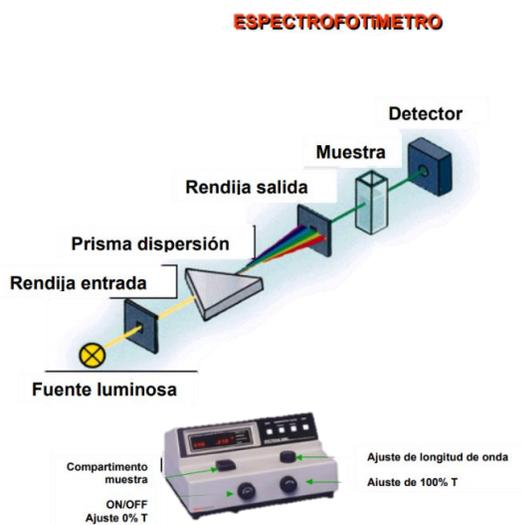
l: Camino óptico

ϵ : Coeficiente de absortividad molar

C: Concentración

Figura 12

Componentes del espectrofotómetro UV-Visible (Díaz et al., 2010).



1.2.18.2 Volumetría

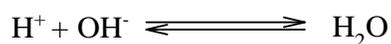
El análisis volumétrico es un método clásico basado en medir la cantidad de reactivo necesaria para reaccionar con el analito. Por lo tanto, al determinar con precisión el volumen de un reactivo de concentración conocida necesario para reaccionar completamente con el analito, podemos calcular su concentración en la muestra. Una reacción entre dos sustancias se completa cuando se alcanza el punto estequiométrico o de equivalencia; es decir, cuando una cantidad equivalente de la sustancia en el analito reacciona completamente con una cantidad equivalente de la sustancia en el estándar de valoración añadido. Entre los materiales necesarios para emplear una titulación típica se requieren vasos de precipitado o matraces de Erlenmeyer, una bureta y un soporte y pinza de soporte (Campillo, 2012).

1.2.18.2.1 Tipos de volumetrías

Los tipos de valoración se clasifican según la naturaleza de la reacción química de valoración, incluida la valoración ácido-base, la valoración redox, la valoración compleja y la valoración por precipitación (Campillo, 2012).

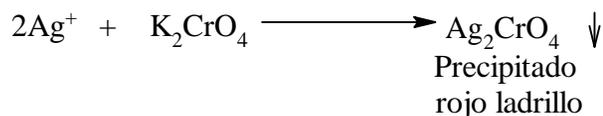
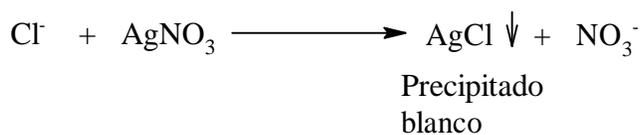
1.2.18.2.1.1 Volumetría de neutralización

Este tipo de titulación, también conocida como titulación ácido-base, implica una determinación basada en la reacción entre un ácido y una base en respuesta a la siguiente ecuación química general (Zumbado, 2020).



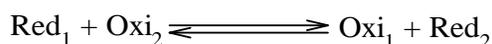
1.2.18.2.1.2 Volumetría de precipitación

Este tipo de método volumétrico de precipitación se basa en una reacción que forma un precipitado insoluble. El método más común es el método de titulación de plata con una solución de nitrato de plata como estándar de titulación. Una de las aplicaciones más importantes de este método volumétrico es la determinación de cloruro en agua, y produce la siguiente reacción (Zumbado, 2020).



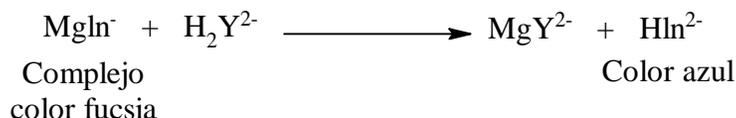
1.2.18.2.1.3 Volumetría de oxidación-reducción

Este tipo de determinación de volumen se basa en una reacción en la que se transfieren electrones de una sustancia a otra, donde la oxidación de una sustancia siempre va acompañada de la reducción de otra sustancia, de modo que estos procesos ocurren inmediatamente. La ecuación general es la siguiente (Zumbado, 2020).



1.2.18.2.1.4 Volumetría de formación de complejos

Este tipo de volumétrica, también llamada complexométrica, se basa en la formación de complejos estables (compuestos de coordinación) de un átomo central (generalmente un metal) y una sustancia con un par de electrones no compartido (llamado ligando). Una aplicación importante de este tipo de volumetría es la determinación de dureza total teniendo la siguiente reacción química (Zumbado, 2020).



1.2.18.3 Espectroscopia de absorción atómica (AAS)

La espectroscopia de absorción atómica determina la radiación emitida por una lámpara de cátodo hueco que es absorbida por un elemento en el paso desde un estado de menor energía al estado de mayor energía. Para ello, se eleva la temperatura de la muestra por medio de una llama, para generar choques entre los átomos de una muestra, cargándose de energía y excitándose dichos átomos (Pérez-López & Rojas Alvarado, 2017).

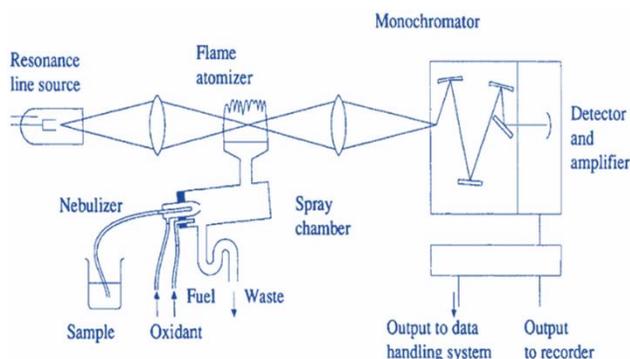
Viene a ser una técnica analítica, que consiste en determinar la radiación absorbida por un átomo en su estado fundamental, al irradiar a un metal por una lampara de cátodo hueco. Por otra parte, cada elemento presenta una longitud de onda del color que nos determina de que elemento se trata, donde mediante su absorción podremos conocer su concentración (Nochez, 2014).

La técnica espectroscópica de absorción atómica de llama que puede ser utilizada para la cuantificación de Na^+ y K^+ , ya que una característica de los metales alcalinos, es que se excitan con rapidez en una llama generada a partir de aire - acetileno. Asimismo, estos absorben radiación de longitudes específicas muy diferente a otros elementos por medio de una lampara de cátodo hueco del mismo elemento (Gomez, 1958).

En el proceso de la introducción de la muestra, la solución se nebuliza, formando un aerosol de diminutas gotas de líquido, luego la muestra es atomizada por una llama, donde los átomos absorben una radiación por medio de una lampara de cátodo hueco, pasando de su estado basal a un nivel de energía superior, siendo directamente proporcional a la concentración del elemento a analizar. Debido a la gran variedad de reacciones complejas que se dan entre el combustible, el oxidante y la muestra; la atomización viene a ser la etapa más crucial de la espectroscopia de llama, así como la que limita la precisión del método (Nochez, 2014).

Figura 13

Partes principales de un espectrómetro de absorción atómica de llama (Nochez, 2014).



CAPÍTULO II

2 METODOLÓGIA

2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.2.1 Descriptivo y correlacional

El diseño del presente estudio ha sido de tipo descriptivo y correlacional. Descriptivo, porque se ha realizado a partir de métodos y técnicas de laboratorio, el análisis fisicoquímico del agua de regadío y los suelos agrícolas, permitiéndonos de esta manera conocer la salinidad de ambos. Correlacional, porque se ha determinado a partir de los resultados obtenidos, la relación del agua de regadío con los suelos agrícolas con respecto a la salinidad en época de sequía y lluvia, permitiéndonos conocer la variación de la concentración de sus constituyentes del agua de regadío y su efecto sobre la salinidad de los suelos agrícolas.

2.2 VARIABLES

2.2.1 Variable independiente

- ❖ Concentración de sales existentes en el agua de irrigación.

2.2.2 Variable dependiente

- ❖ Salinidad de los suelos destinados a la agricultura.

2.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Materiales

- ❖ Vasos de precipitados 50 mL – 100 mL
- ❖ Tubos de ensayo de vidrio y gradilla para tubos
- ❖ Probeta 50 mL - 100 mL
- ❖ Badilejo (31 cm x 3 cm x 8.5 cm)
- ❖ Metro o cinta métrica

- ❖ Pissetas
- ❖ Papel filtro Whatman N° 42 de 125 mm
- ❖ Bolsas de polietileno con cierre hermético Marca Ziploc (17,7 cm x 18,8 cm)
- ❖ Soporte y pinzas de soporte
- ❖ Buretas 50 mL
- ❖ Embudos de vidrio
- ❖ Matraz de Erlenmeyer 50 mL – 100 mL
- ❖ Pipetas volumétricas 10 mL – 50 mL y propipetas
- ❖ Espátula
- ❖ Fiolas 50 mL - 100 mL - 250 mL
- ❖ Crisol de porcelana
- ❖ Botellas de plástico de polietileno 1 L
- ❖ Desecador

Reactivos

- ❖ Buffer de 4 y 7 (solución de calibración del potenciómetro)
- ❖ Solución de KCl 0.01N (solución de calibración del conductímetro)
- ❖ Buffer pH 10 (NH_4Cl y NH_4OH)
- ❖ Solución estándar de EDTA 0.02N
- ❖ Indicador de Negro de Eriocromo T (NET)
- ❖ Solución de hidróxido de sodio 1N (NaOH)
- ❖ Indicador de murexida
- ❖ Solución estándar de AgNO_3 0.021N
- ❖ Indicador cromato de potasio al 2% (K_2CrO_4)

- ❖ Solución estándar de HCl 0.088N
- ❖ Indicador anaranjado de metilo 0.1%
- ❖ Solución estándar de NaOH 0.091N
- ❖ Indicador fenolftaleína 0.1%
- ❖ Solución tampón A para sulfatos
- ❖ BaCl₂ Q.P.
- ❖ Solución patrón de sulfato 200 ppm
- ❖ Cobaltinitrito de sodio para K
- ❖ Solución patrón de potasio 200 ppm
- ❖ Solución patrón de fosfato de 200 ppm
- ❖ Solución ácida de molibdato
- ❖ Solución ácida para fosfatos
- ❖ Ácido ascórbico Q.P.
- ❖ Solución de NH₄OAc 1N
- ❖ Solución patrón de sodio de 200 ppm

Equipos

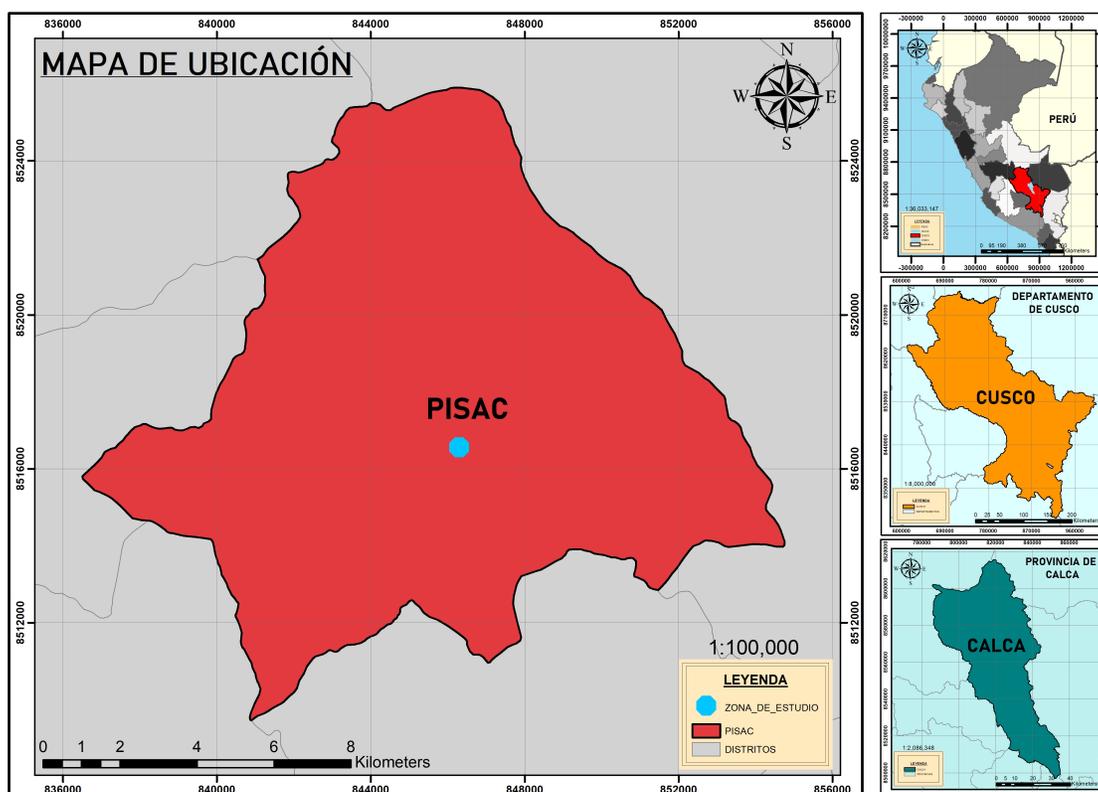
- ❖ Multiparámetro
- ❖ Espectrofotómetro UV-Visible marca Thermo scientific
- ❖ Balanza analítica marca Kern (ABT 320-4M)
- ❖ Espectrofotómetro de absorción atómica de llama marca Thermo scientific
- ❖ Mufla marca Nabertherm (B 180)
- ❖ Estufa marca Memmert
- ❖ Centrifugadora marca Hermle (Z 206 A)

2.4 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio está localizada en el distrito de Pisac, provincia de Calca, región del Cusco. La ubicación del estudio del agua de regadío, proveniente de la laguna Kinsacocha, está ubicada en dos zonas. La primera se ubica en el río Chonguito, cerca de la comunidad Rinconada en el distrito de Pisac y la segunda está ubicada en las canaletas de regadío en el mismo distrito de Pisac. Las zonas mencionadas fueron tomadas estratégicamente para observar la variación de la composición del agua hasta la llegada a la zona de cultivos. La ubicación del estudio de los suelos agrícolas está ubicada en el distrito de Pisac. El área de estudio de los suelos agrícolas ha sido seleccionada teniendo en cuenta aquellos suelos que son destinados a la agricultura.

Figura 14

Ubicación geográfica del distrito de Pisac (ArcGIS).



Pisac es un distrito que, debido a su ubicación y climatología, cuenta con amplias extensiones de suelos destinadas a actividades agrícolas. El distrito de Pisac está situado en el llamado Valle Sagrado de los Incas, a 30 kilómetros al noreste de la ciudad del Cusco, a una altitud de 2 mil 974 metros sobre el nivel del mar. Tiene una población de 2000 mil habitantes actualizadas hasta el 2017. La ubicación del muestreo de los suelos está situada a la mano izquierda, pasando el puente de distrito de Pisac, el cual presenta las siguientes coordenadas UTM:

- Zona 19L / hemisferio sur / Altitud de Pisac: 2.974 metros sobre el nivel del mar
- Coordenadas: UTMX (Este): 191303 y UTMY (Norte): 8514513

Figura 15

Zona de muestreo de agua y suelo en el distrito de Pisac.



2.5 MUESTREO DE SUELO AGRÍCOLA Y AGUA DE REGADÍO

El muestreo que se ha realizado en los suelos agrícolas ha sido de tipo aleatorio estratificado, donde la elección de los puntos de muestreo se ha realizado buscando abarcar toda el área, garantizando la representatividad y la accesibilidad a las parcelas. Se han recolectado 10 muestras de suelo en el periodo seco y 10 muestras de suelo en el periodo lluvioso.

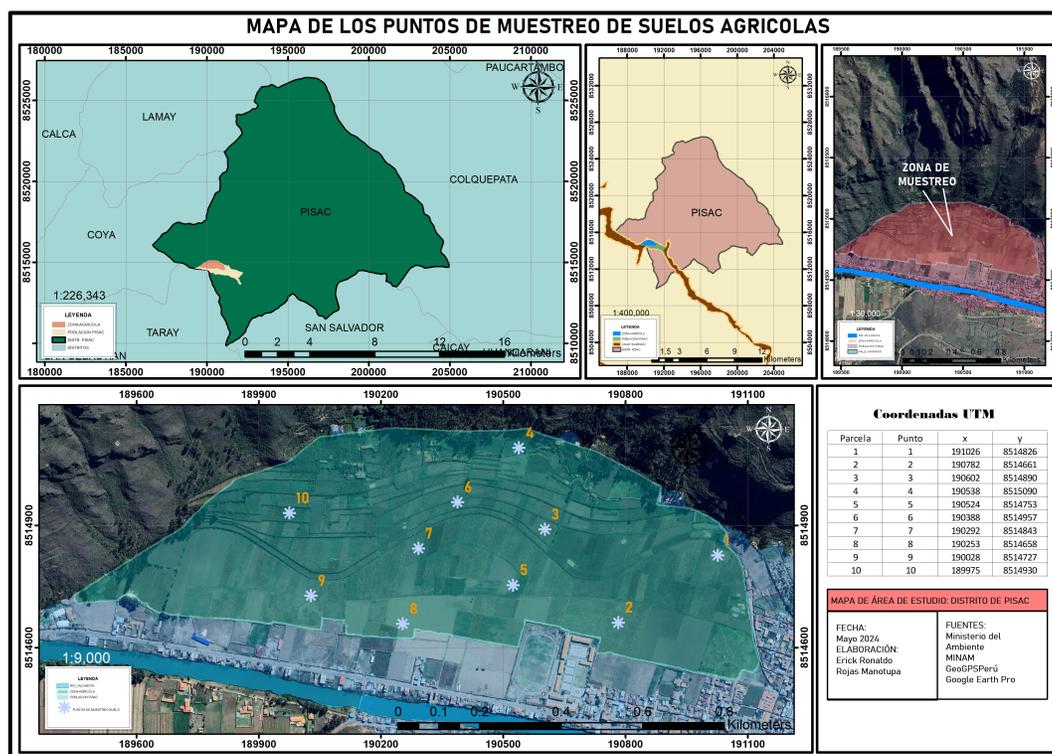
En el muestreo, se ha excavado con un badilejo, aprox. unos 20 cm en 6 puntos diferentes dentro de cada parcela, en forma de V, donde se han tomado 3 fracciones de cada punto de excavación en cada parcela; luego se ha mezclado y cuarteado las fracciones tomadas de los 6

puntos, obteniendo una muestra representativa y homogénea de cada parcela. Finalmente, se ha colectado aprox. 4 kg, considerando 2 fracciones opuestas de cada muestra de suelo agrícola.

En cada punto, se ha colectado aproximadamente 4 kg, las cuales han sido almacenados en bolsas de polietileno cerradas herméticamente, debidamente rotuladas con la información (punto de muestreo, fecha de recolección y número de muestra). Finalizado el proceso de muestreo, se ha trasladado las muestras obtenidas al laboratorio de aguas y suelos de la Escuela Profesional de Química, para su respectivo análisis.

Figura 16

Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de los suelos agrícolas (ArcGIS).



El muestreo de las aguas destinadas al regadío que se ha realizado ha sido de tipo aleatorio no probabilístico, donde la elección de los puntos de muestreo se ha realizado, buscando observar el cambio de concentración de las sales, antes del paso de la población de Pisac por medio de las

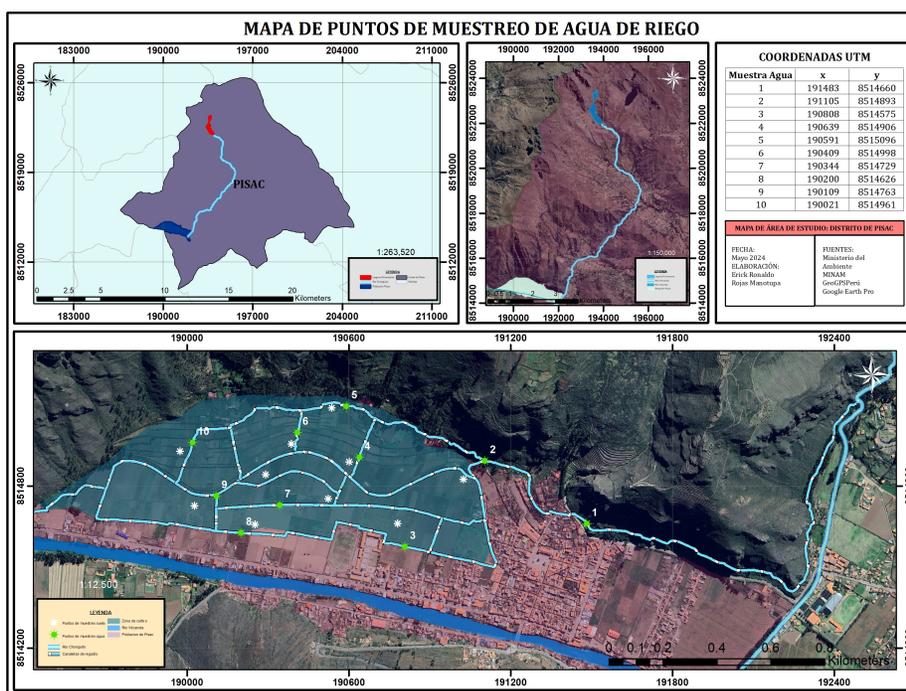
canaletas, antes del ingreso al área de cultivo y dentro de la zona agrícola. Se han recolectado 10 muestras en el periodo seco y 10 muestras en el periodo lluvioso.

En el muestreo, se tomaron botellas de polietileno recicladas (semi nuevas), previamente lavadas 5 veces con agua destilada y enjuagadas 3 veces con la muestra de agua de regadío antes del muestreo. Durante el muestreo, se ha recolectado de la siguiente manera: se ha introducido la botella a una profundidad intermedia entre la superficie y el fondo, y al centro de la corriente, con la boca del envase en contra de la corriente del agua; obteniendo cada muestra de agua de regadío.

En cada punto de muestreo, se ha recolectado 1L, la cuales fueron almacenadas en botellas de polietileno, debidamente rotuladas con la información (punto de muestreo, fecha de recolección y número de muestra). Finalizado el proceso de muestreo, se ha trasladado las muestras al laboratorio de aguas y suelos de la Escuela Profesional de Química, para su respectivo análisis

Figura 17

Mapa de ubicación de los puntos de muestreo del agua de regadío (ArcGIS).



2.6 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS, FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO

Llegado las muestras de los suelos agrícolas y del agua de regadío, se ha realizado un pretratamiento a las muestras del suelo antes de su análisis. Para ello, se ha realizado el secado a temperatura ambiente, molienda y tamizado ($N^{\circ} 10 \cong 2 \text{ mm}$); con el objetivo de separar las partículas más grandes, materia orgánica, entre otros; para así solo obtener la muestra de suelo y no interfieran en el posterior análisis. El parámetro de humedad ha sido realizado inmediatamente posterior al pretratamiento, para no perder la humedad retenida en cada muestra de suelo agrícola.

Figura 18

a) y b) Realizando la molienda y tamizado, c) Secando los suelos a temperatura ambiente.



2.6.1 Humedad

1) **Método:** Gravimétrico

2) **Fundamento:** Se basa en determinar la cantidad de agua retenida en el suelo tomando datos del peso de un suelo húmedo y después de haberlo secado en la estufa hasta la obtención de un peso constante, obteniendo por diferencia de peso el porcentaje de humedad en el suelo (Fernández, 2006).

3) **Procedimiento:** Se ha pesado 5 g de cada muestra de suelo en una balanza analítica, luego se ha llevado a secar a una estufa por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 105-110 °C hasta la obtención de un peso constante. Luego de obtener un peso constante con diferencia de tiempo, se ha tomado el peso seco de cada suelo para determinar la humedad. La determinación del parámetro de humedad en los suelos, ha sido realizado en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa.

4) **Cálculo:**

$$\% \text{Humedad} = \left(\frac{SH - SS}{SH} * 100 \right)$$

Donde:

SH: Suelo húmedo (g)

SS: Peso de la muestra seca (g)

2.6.2 Materia orgánica

1) **Método:** Pérdida de peso por ignición

2) **Fundamento:** Se basa en determinar la materia orgánica por medio del peso obtenido calcinando el suelo en una mufla a 400 °C, perdiendo la materia orgánica del suelo en

forma gaseosa, principalmente como CO₂ y la humedad; obteniendo así por diferencia del peso total el porcentaje de materia orgánica (Lizcano et al., 2017).

- 3) **Procedimiento:** Se ha pesado 5 g de cada muestra de suelo seca en una balanza analítica y luego se ha vertido a un crisol de porcelana. Después, se ha llevado las muestras a incinerar a una mufla por un tiempo de 5 horas a una temperatura de 400 °C. Pasado el tiempo se ha sacado de la mufla los crisoles de porcelana con una pinza y se ha dejado enfriar en un desecador. Finalmente, se ha pesado las muestras para obtener el porcentaje de la materia orgánica. La determinación del parámetro de materia orgánica en los suelos, ha sido realizado en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa.

- 4) **Cálculo:**

$$\% \text{Materia orgánica} = \left(\frac{PMC}{PMI} * 100 \right)$$

Donde:

PMC: Peso de la muestra calcinada (g)

PMI: Peso de la muestra inicial (g)

2.6.3 Textura

- 1) **Método:** Sedimentación
- 2) **Fundamento:** Consiste en el principio de la sedimentación y la ley de Stokes, el cual se basa en la rapidez de sedimentación de las partículas que depende del tamaño de cada partícula, como la arena, limo y arcilla presentes en una masa de suelo.
- 3) **Procedimiento:** Se ha pesado 30g de cada muestra seca de suelo en un vaso de precipitado de 500 mL, donde se ha agregado agua destilada y se ha procedido a remover con una espátula. Luego de remover se ha traspasado la parte líquida contenida de limo y arcilla a

una probeta de 1000 mL, dejando el precipitado contenido de arena en el vaso de precipitado. El proceso anterior ha sido realizado hasta presenciar el agua transparente y la arena decantada completamente. Luego de ello la arena húmeda se ha traspasado a una cápsula de porcelana y se ha llevado a secar a una estufa a 50 °C, mientras que en la probeta que contenía la arcilla y el limo, se ha dejado decantar quedando el limo en la parte inferior y la arcilla en la parte superior. Pasado el tiempo, el agua mezclada con la arcilla se ha traspasado a otra probeta; y el limo se ha llevado a secar a la estufa para poder obtener el porcentaje de arena, limo y arcilla de acuerdo al peso. La determinación de la textura en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica.

4) Cálculo:

$$\% \text{Arena} = \left(\frac{PAS}{PTM} * 100 \right)$$

Donde:

PTM: Peso total de la muestra (g)

PAS: Peso de arena seca (g)

$$\% \text{Limo} = \left(\frac{PAS}{PTM} * 100 \right)$$

Donde:

PTM: Peso total de la muestra (g)

PLS: Peso de limo seca (g)

$$\% \text{Arcilla} = 100 - (PLS + PAS)$$

Donde:

PLS: % de arena

PAS: % de limo

2.6.4 Densidad aparente

- 1) **Método:** Método del cilindro
- 2) **Fundamento:** Se basa en tomar un volumen o masa fija de suelo en un cilindro de peso y volumen conocido, llenando hasta el enrase bien compactado para pesarlo, donde la densidad aparente estará determinada por el peso seco y el volumen del cilindro (Lizcano et al., 2017).
- 3) **Procedimiento:** Se ha pesado y medido el volumen de un cilindro, luego del pesado del cilindro se ha procedido al llenado del cilindro con cada muestra de suelo seco, hasta llenar el volumen del cilindro, bien compactado. Una vez compactado la muestra de cada suelo seco en el cilindro se ha pesado el cilindro con la muestra de suelo en una balanza analítica y se ha anotado los datos para la determinación de la densidad aparente. La determinación de la densidad aparente en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa.
- 4) **Cálculo:**

$$Densidad\ aparente = \frac{m}{v}$$

Donde:

m: Peso de la muestra (g)

v: Volumen del cilindro (mL)

2.6.5 Densidad real

- 1) **Método:** Método del picnómetro
- 2) **Fundamento:** Se basa en calcular el peso seco de la muestra de suelo y el volumen que ocupan los sólidos de la muestra para determinar la unidad de volumen de los sólidos del suelo, el cual radica en el desplazamiento del líquido que genera los sólidos al ser sumergidos (Lizcano et al., 2017).
- 3) **Procedimiento:** En una probeta se ha medido 50 mL de agua destilada, luego de ello, se ha pesado en una balanza analítica, 20g de cada muestra de suelo seco. Una vez pesado los 20g de suelo se ha vertido en la probeta contenida de agua destilada y se ha medido el desplazamiento del agua para la determinación de la densidad real. La determinación de la densidad aparente en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa.
- 4) **Cálculo:**

$$densidad\ real = \frac{m}{v}$$

Donde:

m: Peso de la muestra (g)

v: Volumen desplazado del agua (mL)

Análisis fisicoquímico y químico: Para el correspondiente análisis de los parámetros fisicoquímicos y químicos en las muestras de suelo, se ha realizado un proceso de extracción de los componentes o iones solubles presentes en el suelo con agua destilada, para así tener una solución del suelo y poder realizar los análisis necesarios en una solución acuosa. Este proceso ha sido realizado al segundo día después del pretratamiento de los suelos.

Extracto de saturación del suelo: Se ha pesado 20 gr de cada muestra de suelo y se ha mezclado con 40 mL de agua destilada. Luego se ha removido con una espátula y se ha calentado por un tiempo de 15 min. Seguidamente se ha centrifugado a 5000 rpm por 15 min. Posteriormente, se ha separado y almacenado la parte líquida para la determinación de CE, pH y iones solubles. La extracción de los iones solubles en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa (Porta & López, 2005).

Figura 19

a) *Muestras de suelos posterior a la dilución de iones solubles por calentamiento en la estufa, b) Muestras de suelos centrifugadas para la obtención de una solución incolora.*



2.6.6 Conductividad eléctrica

- 1) **Método:** Conductimétrico
- 2) **Fundamento:** Se basa en medir las sales totales con un conductímetro en el extracto de suelo con una relación de 1:2, el cual consiste en medir las sales disueltas por medio de dos electrodos, que miden y registran las sales en una solución a una temperatura estándar, generalmente a 25 °C (Fernández, 2006).

- 3) **Procedimiento:** Una vez obtenido el extracto del suelo, Se ha determinado la conductividad eléctrica al segundo día del llegado de las muestras al laboratorio, debido a que, es un parámetro que debe ser determinado lo más antes después del muestreo. Antes de proceder con la lectura, se ha calibrado el conductímetro con KCl 0.01N (1,413 dS/m a 25 °C). Luego de ello, previamente enjuagado el vaso de precipitado con agua destilada, se ha vertido el extracto de suelo y se ha determinado el valor de la conductividad eléctrica de cada muestra de suelo. La determinación de la CE en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa.

2.6.7 pH

- 1) **Método:** Potenciométrico
- 2) **Fundamento:** Se basa en medir la actividad de los iones H^+ mediante un pH metro o potenciómetro, el cual tiene un electrodo que genera un potencial eléctrico. Este usa un electrodo de referencia que normalmente es un electrodo de Ag/AgCl (Fernández, 2006).
- 3) **Procedimiento:** El pH en cada suelo de igual forma ha sido determinado al segundo día, debido a que también es un parámetro que debe ser leído lo más antes posible después del muestreo. Antes de la lectura del pH, se ha calibrado el potenciómetro con buffer pH 4 y 7. Luego de haber sido calibrado, se ha agitado la solución del extracto de suelo y se ha transferido a un vaso de precipitado previamente enjuagada con agua destilada, donde se ha introducido el electrodo para medir el pH de cada muestra de suelo. La determinación del pH en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica Cuantitativa.

2.6.8 Calcio y magnesio soluble

- 1) **Método:** Volumetría complexométrica

2) **Procedimiento:** Se ha tomado una alícuota de 5 mL de la solución de extracto de suelo y se ha traspasado a un matraz de Erlenmeyer. Se ha añadido 1 mL de buffer pH 10 y una pisco de indicador NET. Después de ello, se ha procedido a titular con una solución estandarizada de EDTA 0,02N hasta el viraje de color rojizo a azul, anotando el volumen gastado.

3) **Cálculo:**

$$[Ca^{2+} + Mg^{2+}] \text{ mg/L} = \frac{V_g \times N \times P_{eq} CaCO_3 \times 1000}{V_{al}}$$

Donde:

V_g: Volumen gastado del titulante (mL)

N: Normalidad del titulante

V_{al}: Volumen alícuota (mL)

2.6.8.1 Calcio: Se ha tomado una alícuota de 5 mL de la solución de extracto de suelo y se traspasó a un matraz Erlenmeyer. Se ha añadido 1 mL de buffer pH 12 y luego se ha agregado una pisco de indicador murexida. Luego de ello, se ha procedido a titular con solución estándar de EDTA 0,02N hasta el viraje de color rosa a violeta, anotando el volumen gastado. La concentración de magnesio se ha determinado por diferencia de volúmenes gastados de magnesio y calcio. La determinación del calcio y magnesio soluble en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Análisis Instrumentación e Investigación – ambiente 314.

1) **Cálculos:**

$$[Ca^{2+}] \text{ mg/L} = \frac{V_g \times N \times P_{eq} Ca \times 1000}{V_{al}}$$

Donde:

V_g: Volumen gastado del titulante (mL)

N: Normalidad del titulante

V_{al}: Volumen alícuota (mL)

2.6.9 Cloruros

1) **Método**: Volumétrico (Mohr)

2) **Fundamento**: Se basa en formar un precipitado mediante una titulación de los cloruros con el nitrato de plata en presencia del indicador cromato de potasio. Primeramente, se forma un precipitado de cloruro de plata, donde un exceso de Ag^+ reacciona con el cromato de potasio para formar cromato de plata, dando un precipitado de color rojo ladrillo. Este análisis se debe dar a un pH alrededor de 6.5 – 9, debido a que en medio básico, los OH^- reaccionan con la plata formando AgOH u Ag_2O (Rodier, 2011).

3) **Procedimiento**: Se ha tomado una alícuota de 10 mL de la solución de extracto de suelo y se ha transferido a un matraz Erlenmeyer. Luego de ello, se ha agregado 1 mL de indicador cromato de potasio al 2 % y se ha procedido a titular con la solución estándar de AgNO_3 0.021N hasta el cambio de viraje color rojo ladrillo, anotando el volumen gastado. La determinación de los cloruros en los suelos ha sido determinada en el laboratorio de Análisis Instrumentación e Investigación – ambiente 314.

4) **Cálculo**:

$$\text{Cl}^- \text{mg/L} = \frac{(A - B) \times N \times P_{eq} \text{Cl}^- \times 1000}{V_{al}}$$

Donde:

A: Volumen gastado del titulante con la muestra (mL) **N**: Normalidad del titulante

B: Volumen gastado del titulante con el blanco (mL) **V_{al}**: Volumen alícuota (mL)

2.6.10 Fosfatos

1) **Método:** Espectrometría UV-Visible

2) **Fundamento:** Se basa en la formación de un complejo de fosfato y molibdeno (V) de color azul, que resulta de la reducción de molibdeno (VI) a molibdeno (V) con ácido ascórbico, lo que crea un complejo fosfomolibdico azul con una absorción máxima a 760 nm (American water Works Association, 1978).

3) **Preparación de reactivos:**

a) **Solución de molibdato de amonio**

Se ha preparado una solución de molibdato de amonio. Para lo cual, a partir de un reactivo de molibdato de amonio tetra hidratado P.A., se ha pesado 1 g del reactivo $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ P.A, luego se le ha disuelto y aforado en 25 mL de agua destilada.

b) **Solución de ácido sulfúrico 5N**

Se ha preparado una solución de ácido sulfúrico 5N a partir de ácido sulfúrico concentrado. Para lo cual, se ha agregado cuidadosamente 3.3 mL del reactivo $\text{H}_2\text{SO}_{4(c)}$, donde se ha agregado previamente una pequeña cantidad de agua destilada en la fiola antes de haber añadido el ácido. Por último, se ha aforado en 25 mL de agua destilada.

c) **Solución de ácido ascórbico 0.1M**

Se ha preparado una solución de ácido ascórbico 0.1 M. Para lo cual, a partir de un reactivo de ácido ascórbico solido P.A., se ha pesado 0.8806 g y se ha aforado en 50 mL de agua destilada.

Preparadas todas las disoluciones, se ha preparado un reactivo combinado. Para ello, solo se ha preparado una pequeña cantidad, lo necesario para obtener la recta de calibración, debido a que este reactivo es estable por 4 hrs. Para lo cual, en una fiola de 50 mL se han

agregado 25 mL de ácido sulfúrico (solución b), agregando antes una pequeña cantidad de agua destilada, 7.5 mL de la solución de molibdato de amonio (solución a) y 15 mL de la solución de ácido ascórbico (solución c) y, por último, se ha aforado con agua destilada.

d) Solución patrón de fosfatos de 200 ppm

Una vez preparado el reactivo combinado, se ha elaborado la recta de calibración. Para lo cual, se ha preparado una solución patrón de fosfatos (PO_4^{3-}) de 200 ppm. A partir de un reactivo de NaH_2PO_4 P.A, se ha pesado 0.0631 g de NaH_2PO_4 y se ha disuelto en 100 mL, luego se ha agregado 2.5 mL de H_2SO_4 Q.P. y un par de gotas de CHCl_3 P.A. como un preservante, aforando en 250 mL. Luego, a partir de la solución patrón de 200 ppm preparada de fosfato, se ha realizado una dilución de 10 ppm.

- 4) Procedimiento:** A partir de la solución patrón intermedia de fosfato de 10 ppm, se han preparado los siguientes patrones: 1.25 ppm, 2.5 ppm, 7.5 ppm, 15 ppm, 25 ppm. Para lo cual, de la solución intermedia de fosfato de 10 ppm, se ha agregado una cantidad desconocida en uL en tubos de ensayo mediante una micropipeta, llevando a un volumen de 6000 uL con agua destilada en tubos de ensayo mediante una micropipeta. La cantidad desconocida de uL que se ha agregado en cada tubo de ensayo, se ha calculado su concentración en mg/mL mediante una regla de 3 simple, considerando la concentración del patrón de donde se ha extraído, siendo de 10 mg/1000mL. Después de ello, para el blanco se ha agregado en un tubo de ensayo 0 uL de estándar de fosfato, 6000 uL de agua destilada y 2000 uL del reactivo combinado. Para los patrones que ya se encontraban en los tubos de ensayo se le ha agregado 2000 uL del reactivo combinado dejando reaccionar.
- 5) Muestras:** Se ha tomado 5 mL de la solución de extracto de cada suelo en tubos de ensayo y se le ha agregado 2 mL del reactivo combinado preparado. Luego de ello, se ha procedido

a tomar lecturas (en una celda de cuarzo) del blanco, diluciones patrón y, por último, las muestras de cada suelo en el equipo espectrofotómetro UV/Visible marca Thermo Scientific a una longitud de onda de 760 nm, mediante el software visión pro. La determinación de fosfatos en el suelo ha sido determinada en el laboratorio de Fitoquímica.

Figura 20

a) Equipo Espectrofotómetro UV – VIS, b) Estándares de calibración de fosfatos.



2.6.11 Extracción de cationes intercambiables

- 1) **Método:** Método de extracción por lixiviación
- 2) **Fundamento:** Se basa en la extracción de los cationes intercambiables del suelo con NH_4OAc , en la cual radica en desplazar o arrastrar los cationes disponibles e intercambiables que están presentes en el suelo con el reactivo NH_4OAc , reemplazando los cationes calcio, sodio, potasio, magnesio por el catión NH_4^+ (Vitorino, 1988).
- 3) **Preparación de reactivo:**
 - a) **Solución de acetato de amonio 1N**

Se ha preparado una solución de NH_4OAc 1N. Para lo cual, se ha pesado 19.27 g de un reactivo de NH_4OAc P.A., y se ha disuelto en 100 mL de agua destilada. Por último, se ha aforado en 250 mL.

- 4) **Procedimiento:** Una vez preparada la solución de extracto del suelo, se ha pesado 5 g de cada muestra de suelo seco y se ha vertido en embudos de vidrio que contenían papel filtro Whatman N° 42. Luego de ello, se ha lavado con 20 mL de agua destilada y se ha dejado secar en una estufa. Después del secado del papel filtro con cada muestra de suelo, se ha lixiviado con 20 mL de la solución preparada de NH_4OAc 1N. Obtenida la disolución lixiviada, se ha separado 15 mL y en una hornilla se ha evaporado el acetato. Finalmente, se ha dejado enfriar el envase y luego se le ha agregado 20 mL de agua destilada para obtener el extracto del suelo con los cationes intercambiables presentes en cada suelo. La extracción de cationes intercambiables en el suelo ha sido determinada en laboratorio de Análisis de Instrumentación e Investigación - ambiente 314.

Figura 21

a) *Extrayendo los iones solubles de los suelos con agua destilada, b) Lixiviando los cationes intercambiables de los suelos con una solución de acetato de amonio 1N.*





2.6.12 Calcio y magnesio intercambiable

1) **Método:** Volumétrico

2) **Procedimiento: Calcio y magnesio:** Se ha tomado una alícuota de 5 mL de la solución cada extracto de suelo y se ha traspasado a un matraz de Erlenmeyer. Luego, se le ha añadido 1 mL de buffer pH 10 y una pizca de indicador NET. Después de ello, se ha procedido a titular con la solución estandarizada de EDTA 0.02N, hasta el viraje de color rojizo a azul, anotando el volumen gastado.

2.7.7.1 Calcio: Se ha tomado una alícuota de 5 mL de la solución de cada extracto de suelo y se ha traspasado a un matraz Erlenmeyer. Luego, se ha añadido 1 mL de NaOH hasta pH 12 y, por último, se ha agregado una pizca de indicador murexida. Después de ello, se ha procedido a titular con la solución estandarizada de EDTA 0.02N hasta el viraje de color rosa a violeta, anotando el volumen gastado. Para la obtención de la concentración de magnesio, se ha determinado por diferencia de volúmenes gastados del calcio y magnesio. La determinación de calcio y magnesio intercambiable en el suelo ha sido determinada en el laboratorio de Análisis de Instrumentación e Investigación - ambiente 314.

2.6.13 Potasio intercambiable

- 1) **Método:** Espectrofotometría UV-Visible
- 2) **Fundamento:** Este método consiste en determinar por espectrofotometría UV-Visible el potasio. Se basa en formar un complejo con el potasio que se encuentra en el complejo de cambio con el cobaltinitrito de sodio, produciendo un precipitado por la formación del complejo cobaltinitrito de potasio, cuyo espectro de transmitancia de la suspensión presenta un máximo a 650 nm (Vitorino, 1988).

3) Preparación de reactivos:

a) Solución de cobaltinitrito de sodio

Se ha preparado un reactivo de cobaltinitrito. Para lo cual, se ha pesado 1.25 g de cobaltinitrito de sodio Q.P. más 7.5 g de nitrito de sodio Q.P. Una vez de haber pesado los dos reactivos, se ha disuelto en 20 mL de agua destilada; después de ello, se ha agregado 2.5 mL de ácido acético glacial P.A. Por último, se ha aforado en 50 mL.

b) Solución de etanol al 40 %

Se ha preparado una solución de etanol al 40 %. Para lo cual, a partir de una solución de etanol al 96 % se ha preparado una solución de etanol al 40 %. Para ello, en una probeta se ha agregado 20.83 mL de etanol al 96% más 29.17 mL de agua destilada haciendo un volumen de 50 mL.

c) Solución patrón de potasio de 200 ppm

Una vez preparado los reactivos necesarios para el análisis, se ha preparado una solución patrón de 200 ppm de potasio a partir de un reactivo de K_2SO_4 P.A. Para lo cual, se ha pesado 0.1115 g de K_2SO_4 Q.P. y se ha aforado en 250 mL. Luego, se ha preparado una solución patrón intermedia de 50 ppm a partir de la solución patrón preparada de 200 ppm.

- 4) **Procedimiento:** A partir de la solución patrón intermedia de 50 ppm de potasio, se ha preparado los siguientes patrones: 2.5 ppm, 5 ppm, 7.5 ppm y 10 ppm para la curva de calibración. Para lo cual, a partir de la solución estándar de 50 ppm de K^+ preparada, se ha calculado los volúmenes para obtener las concentraciones de 2.5, 5, 7.5 y 10 ppm. Para ello, mediante $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$, se obtuvieron los siguientes volúmenes: 2.5, 5, 7.5 y 10 mL, las cuales se aforaron en 50 mL. Después de ello, en tubos de ensayo mediante una micropipeta, para el blanco se ha agregado 0 uL de patrón de potasio, 5000 uL de agua destilada, 1000 uL de reactivo de cobaltinitrito y pasado 2 min. se ha añadido 5000 uL de etanol al 40 %. En el caso de los patrones, se ha agregado en tubos de ensayo, 5000 uL de cada patrón preparado, 1000 uL de reactivo cobaltinitrito y pasados los 2 minutos se ha añadido 5000 uL de etanol al 40% y se ha dejado un tiempo para su reacción antes de su lectura.
- 5) **Muestra:** Se ha tomado 5 mL de cada solución del extracto de suelo y se le ha agregado 1 mL del reactivo cobaltinitrito de sodio preparado, y se ha esperado su reacción por 2 minutos. Pasado el tiempo, se ha agregado 5 mL de etanol al 40%. Luego, en el equipo espectrofotómetro UV-Visible marca Thermo Scientific, se ha procedido a leer en una celda de cuarzo el blanco y los patrones, donde a partir de la curva obtenida, se ha tomado lectura de las muestras de suelo a una longitud de onda de 650 nm, mediante el software visión pro. La determinación de potasio intercambiable en el suelo ha sido determinada en el laboratorio de Fitoquímica.

Figura 22

a) *Equipo Espectrofotómetro UV-VIS, b) Estándares de calibración de potasio y muestras de suelos formando precipitado.*

**2.6.14 Sodio intercambiable**

- 1) **Método:** Espectroscopia de absorción atómica
- 2) **Fundamento:** Este método consiste en determinar por espectroscopia de absorción atómica un elemento particular. Se basa en aspirar una solución de extracto canjeable de suelo al nebulizador para ser dirigida al quemador, el cual introduce la muestra en la llama para atomizar y excitar los átomos con una lámpara de cátodo hueco, donde por medio de

los detectores se determina la radiación absorbida por un electrón al pasar a su estado excitado, el cual será directamente proporcional a la concentración de dicho elemento analizado. En el caso del sodio, se presenta una coloración amarilla a una longitud de 589 nm (Vitorino, 1988).

3) Preparación de reactivos:

a) Solución patrón de sodio de 200 ppm

Se ha preparado una solución patrón de 200 ppm de sodio. Para lo cual se ha pesado 0.1271 g a partir del reactivo NaCl P.A. y se ha aforado en 250 mL. Luego de ello, se ha preparado una solución patrón de 20 ppm a partir de la solución patrón de 200 ppm preparada.

4) Procedimiento: A partir de la solución patrón intermedia de 20 ppm de sodio, se ha preparado los siguientes patrones: 0.5 ppm, 1.0 ppm, 1.5 ppm, 2.0 ppm y 2.5 ppm para la curva de calibración. Para lo cual, mediante $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$ se obtuvieron los volúmenes: 1.25, 2.5, 3.75, 5 y 6.25 mL para cada patrón respectivamente, aforando en 50 mL con agua destilada, obtenido así las concentraciones mencionadas. Una vez preparada los estándares de sodio, en tubos de ensayo se ha tomado 5 mL del blanco (agua destilada) y de los patrones de sodio en tubos de ensayo.

5) Preparación y condiciones del espectrómetro de absorción atómica de llama:

Encendido el software Sistema SOLAAR AA del equipo tipo espectrómetro de absorción atómica marca Thermo Scientific, primero se ha activado el estado de la lámpara de cátodo hueco de Na^+ y se ha creado el método para la cuantificación del sodio mediante las condiciones de: modo de medición: Absorción, N° de remuestreo: 3, longitud: 589 nm y tipo de llama: aire – acetileno, luego se ha activado la configuración óptica para que se configure la lámpara de Na^+ y encienda automáticamente la bomba de aire, gas y campana

extractora. Después de ello, se ha encendido el quemador e introducido en el nebulizador agua destilada para llevar a cero la absorbancia del diluyente.

- 6) **Muestra:** Se ha tomado 5 mL de cada solución del extracto de suelo. Luego, se ha aspirado el blanco y los patrones para la obtención de la curva de calibración. A partir de la curva obtenida, se ha procedido a aspirar las soluciones del extracto obtenido de cada suelo para su cuantificación. La determinación de sodio intercambiable en el suelo ha sido determinada en el laboratorio de Química Analítica - Absorción Atómica - ambiente 111.

Figura 23

a) Aspirando extracto intercambiable de suelo, b) y c) Coloración amarilla por presencia del catión sodio intercambiable en los suelos agrícolas.



2.6.15 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

De acuerdo a los valores obtenidos de los cationes intercambiables de cada muestra de suelo, se ha obtenido los valores de los porcentajes de sodio intercambiable que presentan estos suelos agrícolas mediante la siguiente fórmula.

1) **Cálculo:**

$$PSI = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100\%$$

Donde:

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ : Cationes intercambiables en el suelo (meq/100g)

2.6.16 Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo a los valores de los cationes intercambiables de cada muestra de suelo, se ha determinado la aptitud de intercambio catiónico que presentan estos suelos agrícolas mediante la siguiente fórmula.

1) **Cálculo:**

$$CIC = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$$

Donde:

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ : Cationes intercambiables en el suelo (meq/100g)

2.7 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA DE REGADÍO

2.7.1 pH

1) **Método:** Potenciométrico

2) **Procedimiento:** El pH ha sido determinado el mismo día del muestreo del agua de regadío en el laboratorio. Para ello, previamente se ha calibrado el potenciómetro con buffer pH 4 y 7, donde agitando las muestras de agua se han transferido a un vaso de precipitado previamente enjuagado con agua destilada. Finalmente, se ha introducido y medido con el

EDTA 0.02N hasta un viraje de color fucsia a azul, anotando el volumen gastado. La determinación de la dureza total en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Análisis de Instrumentación e Investigación - ambiente 314.

4) Cálculo:

$$Dureza\ total\ mg/L = \frac{V_g \times N \times P_{eq} CaCO_3 \times 1000}{V_{muestra}}$$

Donde:

V_g: Volumen gastado del titulante (mL)

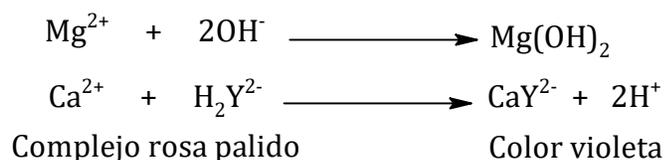
N: Normalidad del titulante

V_{muestra}: Volumen muestra (mL)

2.7.3.1 Dureza cálcica

1) **Método:** Volumetría complexométrica

2) **Fundamento:** Se basa en titular el calcio a un pH 12, debido a que el magnesio queda precipitado en forma de hidróxido, para que no intervenga en la reacción. La titulación se da en presencia del indicador murexida, formando un complejo de color rosa pálido a violeta en su forma libre, indicando el final de la titulación (Rodier, 2011).



3) **Procedimiento:** Se ha tomado 5 mL de cada muestra de agua y se ha traspasado a un matraz Erlenmeyer. Luego, se ha añadido 1 mL de solución buffer hasta pH 12 y una pisca de indicador murexida. Después de ello, se ha procedido a titular con una solución estándar de EDTA 0.02N hasta un viraje de color rosa a violeta, anotando el volumen gastado. La

determinación de la dureza cálcica en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Análisis de Instrumentación e Investigación - ambiente 314.

4) Cálculo:

$$\text{Dureza calcica mg/L} = \frac{V_g \times N \times P_{eq} \text{Ca} \times 1000}{V_{muestra}}$$

Donde:

V_g: Volumen gastado del titulante (mL)

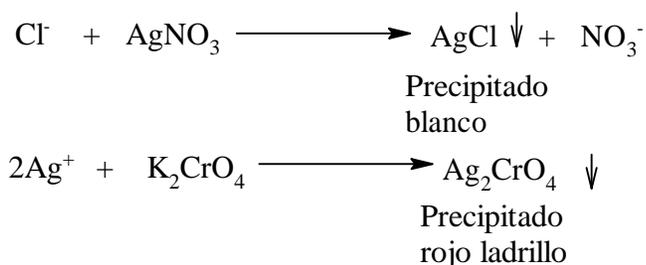
V_{muestra}: Volumen muestra (mL)

N: Normalidad del titulante

2.7.4 Cloruros

1) **Método:** Volumétrico (Mohr)

2) **Fundamento:** Se basa en formar un precipitado mediante una titulación de los iones cloruros con nitrato de plata y el indicador cromato de potasio. Primeramente, se forma el precipitado de AgCl, donde un exceso de Ag⁺ reacciona con el cromato de potasio para formar Ag₂CrO₄ observándose un precipitado de color rojo ladrillo. La titulación se debe dar a un pH de 6.5 - 9 evitando la Rx y formación de AgOH u Ag₂O (Rodier, 2011).



3) **Procedimiento:** Se ha tomado 10 mL de cada muestra de agua y se ha transferido a un matraz Erlenmeyer. Luego, se ha añadido 1 mL del indicador cromato de potasio al 2 %. Después de ello, se ha procedido a titular con una solución estándar de AgNO₃ 0.021N hasta un viraje color amarillo a rojo ladrillo, anotando el volumen gastado. La

alcalinidad total en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Análisis de Instrumentación e Investigación - ambiente 314.

4) Cálculo:

$$HCO_3^- \text{ mg/L} = \frac{(V_g) \times N \times P_{eq} HCO_3^- \times 1000}{V_{muestra}}$$

Donde:

V_g: Volumen gastado del titulante (mL)

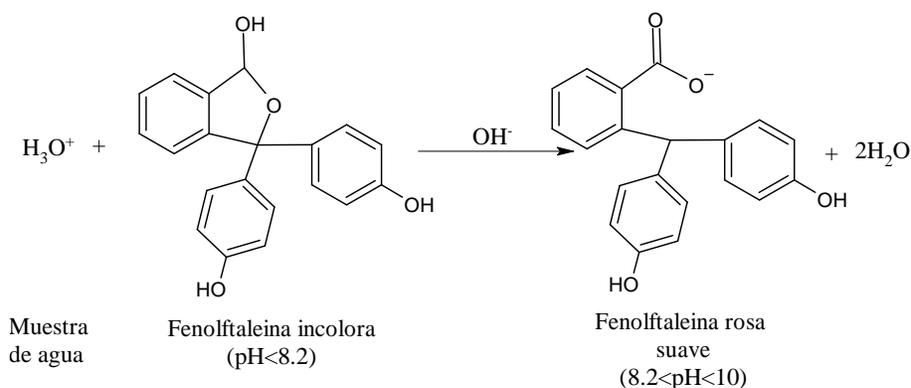
V_{muestra}: Volumen muestra (mL)

N: Normalidad del titulante

2.7.6 Acidez

1) Método: Volumétrico

2) **Fundamento:** Se basa en determinar los iones H_3O^+ mediante una reacción ácido-base con una base como el NaOH en presencia de un indicador fenolftaleína hasta el final del viraje, observándose una coloración rosa suave indicando el punto final de la titulación (Rodier, 2011).



3) **Procedimiento:** Se ha tomado 10 mL de cada muestra de agua y se ha transferido a un matraz Erlenmeyer. Luego, se ha agregado 4 gotas de fenolftaleína 1 % y, por último, se ha procedido a titular con una solución estándar de NaOH 0.091N hasta un viraje de color

incolore a rosa suave, anotando el volumen gastado. La determinación de la acidez en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Análisis de Instrumentación e Investigación - ambiente 314.

4) Cálculo:

$$CO_2 \text{ mg/L} = \frac{V_g \times N \times P_{eq}CO_2 \times 1000}{V_{muestra}}$$

Donde:

N: Normalidad del titulante

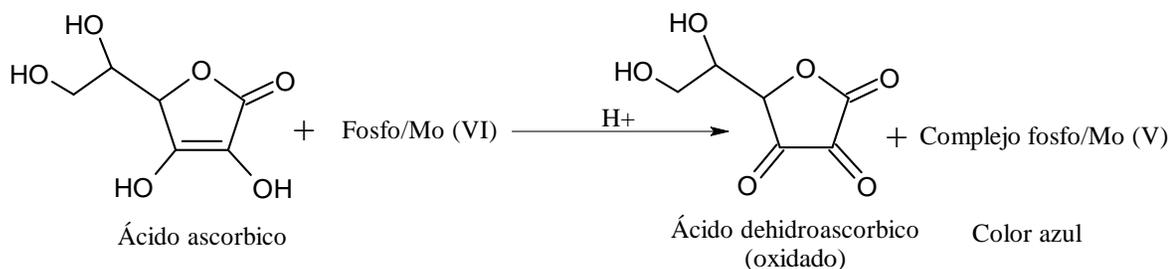
Vg: Volumen gastado del titulante (mL)

V muestra: Volumen muestra (mL)

2.7.7 Fosfatos

1) **Método:** Espectrofotométrico de Azul de Molibdeno

2) **Fundamento:** Es un método espectrofotométrico que se basa en la formación de un complejo coloreado azul de fosfato y molibdeno (V), el cual consiste en la reducción de molibdeno (VI) a molibdeno (V) con ácido ascórbico, formando un complejo fosfomolibdico azul a pH ácido, cuya transmitancia presenta un máximo a 760 nm (American water Works Association, 1978).



3) Preparación de reactivos:

a) Solución de molibdato de amonio

Se ha preparado una solución de molibdato de amonio. Para lo cual, a partir de un reactivo de molibdato de amonio tetra hidratado P.A., se ha pesado 1 g del reactivo $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ P.A, luego se le ha disuelto y aforado en 25 mL de agua destilada.

b) Solución de ácido sulfúrico 5N

Se ha preparado una solución de ácido sulfúrico 5N a partir de ácido sulfúrico concentrado. Para lo cual, se ha agregado cuidadosamente 3.3 mL del reactivo H_2SO_4 Q.P., donde se ha agregado previamente una pequeña cantidad de agua destilada en la fiola antes de haber añadido el ácido. Por último, se ha aforado en 25 mL de agua destilada.

c) Solución de ácido ascórbico 0.1M

Se ha preparado una solución de ácido ascórbico 0.1 M. Para lo cual, a partir de un reactivo de ácido ascórbico solido P.A., se ha pesado 0.8806 g y se ha aforado en 50 mL de agua destilada.

Preparadas todas las disoluciones, se ha preparado un reactivo combinado. Para ello, solo se ha preparado una pequeña cantidad, lo necesario para obtener la recta de calibración, debido a que este reactivo es estable por 4 hrs. Para lo cual, en una fiola de 50 mL se han agregado 25 mL de ácido sulfúrico (solución b), agregando antes una pequeña cantidad de agua destilada, 7.5 mL de la solución de molibdato de amonio (solución a) y 15 mL de la solución de ácido ascórbico (solución c) y, por último, se ha aforado con agua destilada.

d) Solución patrón de fosfatos de 200 ppm

Una vez preparado el reactivo combinado, se ha elaborado la recta de calibración, el cual ha sido la misma curva de calibración que se ha utilizado para la determinación de fosfatos en el suelo. Para lo cual, se ha preparado una solución patrón de fosfatos (PO_4^{3-}) de una concentración de 200 ppm. A partir de un reactivo de NaH_2PO_4 P.A., se ha pesado 0.0631 g de NaH_2PO_4 y se ha disuelto en 100 mL, luego se ha agregado 2.5 mL de H_2SO_4 Q.P. y un par de gotas de CHCl_3 P.A. como un preservante, aforando en 250 mL. Luego, a partir de la solución patrón de 200 ppm preparada de fosfato, se ha realizado una dilución de 10 ppm.

4) Procedimiento: A partir de la solución patrón intermedia de fosfato de 10 ppm, se han preparado los siguientes patrones: 1.25 ppm, 2.5 ppm, 7.5 ppm, 15 ppm, 25 ppm. Obtenidas las soluciones para la curva de calibración, se ha tomado 5 mL del blanco (agua destilada) y las diluciones estándar en tubos de ensayos, a la cual se les ha agregado 2 mL del reactivo combinado.

5) Muestras: Se ha tomado 5 mL de cada muestra de agua en tubos de ensayo y se le ha agregado 2 mL del reactivo combinado preparado. Luego de ello, se ha procedido a tomar lecturas (en una celda de cuarzo) las muestras de cada agua en el equipo espectrofotómetro UV/Visible marca Thermo Scientific a una longitud de onda de 760 nm, mediante el software visión pro, ya que se ha utilizado la misma curva preparada en el análisis de fosfatos en el suelo. La determinación de los fosfatos en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Fitoquímica.

Figura 24

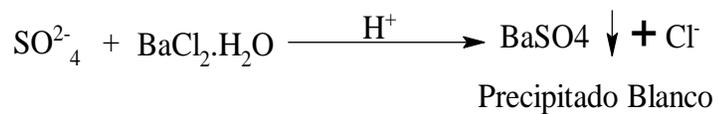
a) y b) Estándares de fosfatos para la determinación de fosfatos en el agua de riego.



2.7.8 Sulfatos

1) **Método:** Espectrofotométrico UV - Visible

2) **Fundamento:** Se basa en formar un precipitado del ion sulfato con cloruro de bario (BaCl_2) en medio ácido, dando cristales de sulfato de bario (BaSO_4) de color blanquecino cuyo espectro de absorción de la suspensión de BaCl_2 muestra un máximo a 420 nm (Rodier, 2011).



3) **Preparación de reactivos:**

a) **Solución tampón A**

Se ha preparado una solución tampón A, donde se ha pesado 3 g de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ P.A., 0.5 g $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ P.A. y 0.1g de KNO_3 P.A. Luego de ello, los 3 reactivos han sido disueltos en 50 mL de agua destilada. Por último, se ha añadido 2 mL de CH_3COOH y ha sido aforado en 100 mL.

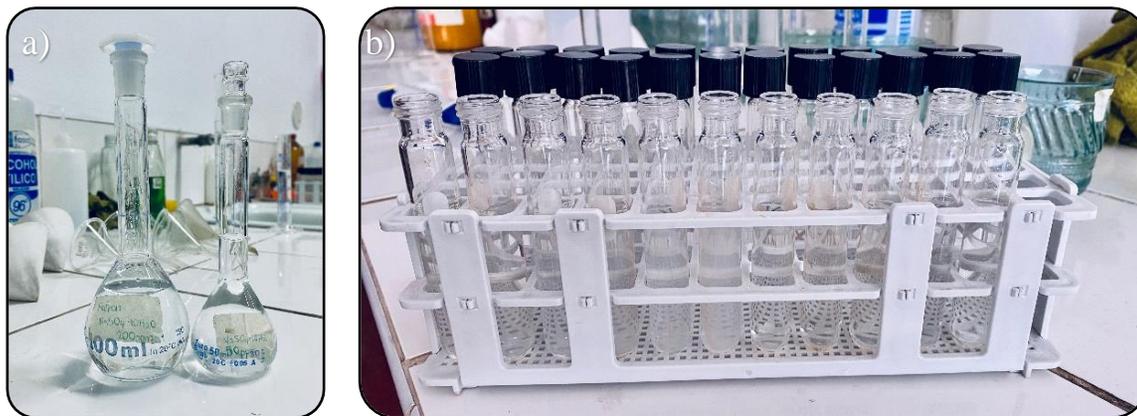
b) Solución patrón de sulfatos de 200 ppm

Se ha preparado una solución patrón de sulfatos de 200 ppm, donde se ha pesado 0.0670 g de $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ al 99% P.A. y se le ha aforado en 100 mL. A partir de la solución patrón de 200 ppm preparada, se ha realizado una dilución de 50 ppm.

- 4) Procedimiento:** Por medio de la solución patrón intermedia de 50 ppm de sulfatos, se ha preparado los siguientes patrones: 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm y 20 ppm para la curva de calibración. Una vez preparada los patrones de sulfato, en tubos de ensayo se ha tomado 10 mL de blanco (agua destilada) y estándares de sulfato en tubos de ensayo, luego de ello, se les ha añadido al blanco y estándares 2 mL de la solución tampón A preparada y finalmente una pisca de BaCl_2 , agitando por un tiempo de 2 minutos antes de su lectura.
- 5) Muestras:** Se ha tomado 10 mL de cada muestra de agua y se le ha agregado 2 mL de la solución tampón A y una pisca de BaCl_2 P.A., agitando por 2 min. Luego, en el equipo espectrofotómetro UV-Visible marca Thermo scientific y se ha procedido a leer en una celda de cuarzo, el blanco y los patrones; donde a partir de la curva obtenida se ha tomado lectura de las muestras de agua a una longitud de onda de 420 nm, mediante el software visión pro. La determinación de los sulfatos en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Fitoquímica.

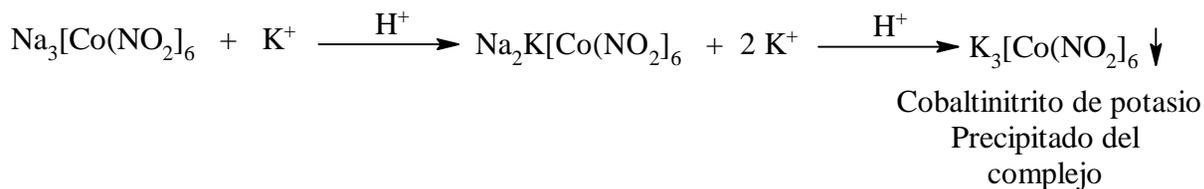
Figura 25

a) Solución madre e intermedia de sulfato, b) Estándares de calibración de sulfato y muestras del agua de regadío precipitando.



2.7.9 Potasio

- 1) **Método:** Espectrofotometría UV-Visible
- 2) **Fundamento:** Este método consiste en determinar por espectrofotometría UV – Visible el potasio. Se basa en formar un complejo el potasio presente en el agua con el cobaltinitrito de sodio, produciendo un precipitado por la formación del complejo cobaltinitrito de potasio, cuyo espectro de transmitancia de la suspensión presenta un máximo a 650 nm (Vitorino, 1988).



3) Preparación de reactivos:

a) Solución de cobaltinitrito de sodio

Se ha preparado un reactivo de cobaltinitrito. Para lo cual, se ha pesado 1.25 g de cobaltinitrito de sodio P.A más 7.5 g de nitrito de sodio P.A. Una vez de haber pesado los

dos reactivos, se ha disuelto en 20 mL de agua destilada; después de ello, se ha agregado 2.5 mL de ácido acético glacial P.A. Por último, se ha aforado en 50 mL.

b) Solución de etanol al 40 %

Se ha preparado una solución de etanol al 40 %. Para lo cual, a partir de una solución de etanol al 96 % se ha preparado una solución de etanol al 40 %. Para ello, en una probeta se han agregado 20.83 mL de etanol al 96% más 29.17 mL de agua destilada, haciendo un volumen de 50 mL.

c) Solución patrón de potasio de 200 ppm

Una vez preparado los reactivos necesarios para el análisis, se ha preparado una solución patrón de 200 ppm de potasio a partir de un reactivo de K_2SO_4 P.A., el cual ha sido la misma curva de calibración que se ha utilizado para la determinación de potasio intercambiable en el suelo. Para lo cual, se ha pesado 0.1115 g de K_2SO_4 P.A. y se ha aforado en 250 mL. Luego, se ha preparado una solución patrón intermedia de 50 ppm a partir de la solución patrón preparada de 200 ppm.

4) Procedimiento: Por medio de la solución madre intermedia de 50 ppm de potasio, se ha preparado los siguientes estándares: 2.5 ppm, 5 ppm, 7.5 ppm y 10 ppm para la curva de calibración. Una vez preparados los estándares de potasio, se ha tomado (en una celda de cuarzo), 5 mL del blanco (agua destilada) y patrones de potasio en tubos de ensayo. Luego se les ha agregado 1 mL del reactivo cobaltinitrito de sodio preparado y se ha esperado un tiempo de 2 min para su reacción. Pasados los 2 min, se ha agregado 5 mL de etanol al 40 % al blanco y patrones.

5) Muestra: Se ha tomado 5 mL de cada muestra de agua y se le ha agregado 1 mL del reactivo cobaltinitrito de sodio, y se ha esperado su reacción por 2 minutos. Pasado el

tiempo, se ha agregado 5 mL de etanol al 40%. Luego, en el equipo espectrofotómetro UV-Visible marca Thermo Scientific, se ha procedido a leer en una celda de cuarzo las muestras de agua a una longitud de onda de 650 nm, mediante el software visión pro, ya que se ha utilizado la misma curva preparada en el análisis de potasio en el suelo. La determinación de potasio en el agua ha sido determinada en el laboratorio de Fitoquímica.

Figura 26

a) *Estándares de calibración de potasio para las muestras de agua, b) Precipitado de las muestras del agua de regadío.*



2.7.10 Sodio

- 1) **Método:** Espectroscopia de absorción atómica
- 2) **Fundamento:** Este método consiste determinar por espectroscopia de absorción atómica un elemento particular. Se basa en aspirar una muestra líquida hacia el nebulizador para ser dirigida al quemador, el cual introduce la muestra en la llama para atomizar la muestra y excitar los átomos con una lámpara de cátodo hueco, donde por medio de los detectores se determina la radiación absorbida por un electrón al pasar a un estado superior (Vitorino, 1988).

3) Preparación de reactivos:**a) Solución patrón de sodio de 200 ppm**

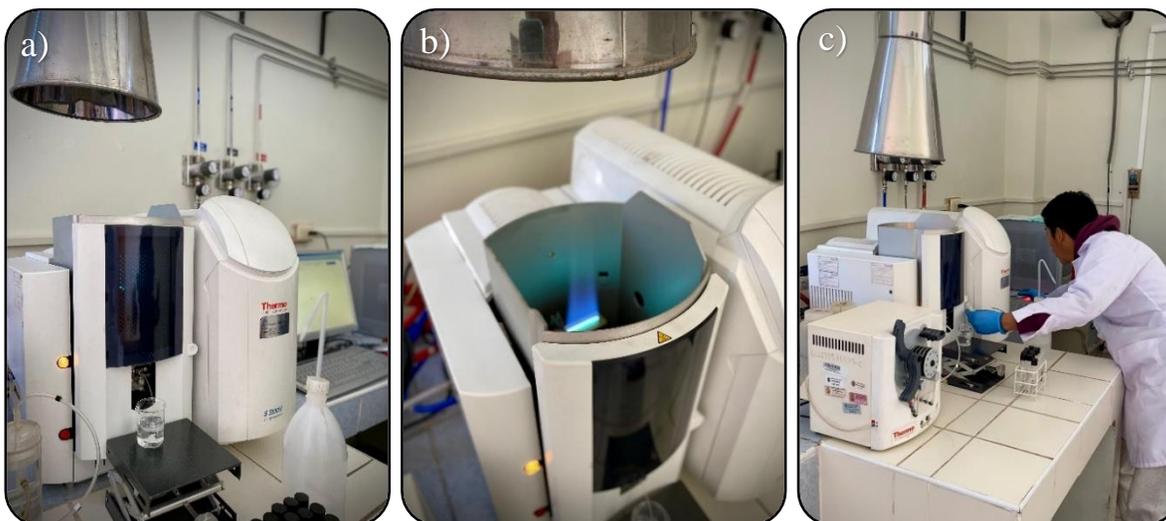
Se ha preparado una solución patrón de 200 ppm de sodio, el cual ha sido la misma curva de calibración que se ha utilizado para la determinación de sodio intercambiable en el suelo. Para lo cual se ha pesado 0.1271 g a partir del reactivo NaCl P.A. y se ha aforado en 250 mL. Luego de ello, se ha preparado una solución patrón de 20 ppm a partir de la solución patrón de 200 ppm preparada.

4) Procedimiento: Por medio de la solución patrón intermedia de 20 ppm de sodio, se ha preparado los siguientes patrones: 0.5 ppm, 1.0 ppm, 1.5 ppm, 2.0 ppm y 2.5 ppm para la curva de calibración. Una vez preparada los patrones de sodio, se ha tomado 5 mL del blanco (agua destilada) y de los patrones de sodio en tubos de ensayo.

5) Muestra: Una vez configurado y creado el método, así como las condiciones adecuadas mediante el software Sistema SOLAAR AA para el análisis en el espectrómetro de absorción atómica de llama Thermo Scientific. Se ha tomado 5 mL de cada muestra de agua y se ha procedido a aspirar las muestras de agua a una longitud de onda de 589 nm, ya que se ha utilizado la misma curva preparada en el análisis de sodio en el suelo. La determinación de sodio en el agua ha sido realizada en el laboratorio de Química Analítica.

Figura 27

a) Aspirando el blanco en el fotómetro de llama, b) Calibrando el fotómetro de llama mostrando una coloración azul libre de impurezas, c) Determinando sodio en el agua de regadío.



2.7.11 Relación de adsorción de sodio (RAS)

La determinación de la relación de su adsorción del catión sodio en el agua de irrigación en ambos periodos se ha calculado de acuerdo a los valores obtenidos del calcio, magnesio y sodio en unidades de meq/L, mediante la siguiente fórmula. De igual forma se ha determinado el RAS ajustado de la misma manera, con la excepción de que se ha utilizado el valor corregido de Ca^{2+} (Ca^0) en la fórmula de RAS, mediante la tabla mostrada en el anexo 17.

1) Cálculo:

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

Donde:

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ : Concentración en el agua (meq/L)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 PARÁMETROS FÍSICOS, FISICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos analizados en los suelos agrícolas del distrito de Pisac en el periodo seco y lluvioso.

En la tabla 9, se observan los resultados obtenidos de cada parámetro analizado, del cual, de los parámetros indicadores de la salinidad del suelo, de las 10 muestras analizadas en los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, las muestras S7 y S8 tuvieron mayor relevancia, debido a que presentaron mayor conductividad eléctrica, indicando que en estos suelos existe una acumulación de sales. Asimismo, presentaron valores de pH ligeramente alcalinos con tendencia a la alcalinidad tanto en el periodo seco como lluvioso, mostrando ser valores muy distintos a los valores obtenidos de las demás muestras de suelos analizadas. De igual forma, en la tabla 9, se muestran las desviaciones estándar que se han calculado en el análisis de cada parámetro, el cual indica que tan dispersos se han encontrado los valores que se han obtenidos en las 3 repeticiones que se han realizado para cada análisis de los suelos agrícolas.

Tabla 9

Resultados de los parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos de los suelos agrícolas en ambos periodos.

Periodo	Unidad	Resultados de las muestras de los suelos agrícolas				
		Humedad				
ID	S1	S2	S3	S4	S5	

Seco	%	15.4 ± 0.15	15.8 ± 0.10	14.9 ± 0.10	15.6 ± 0.17	13.2 ± 0.17
Lluvioso	%	18.8 ± 0.17	17.3 ± 0.10	19.2 ± 0.10	17.6 ± 0.20	15.4 ± 0.20
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	%	14.0 ± 0.10	11.5 ± 0.10	12.8 ± 0.20	12.4 ± 0.36	12.9 ± 1.01
Lluvioso	%	15.5 ± 0.36	16.8 ± 0.20	17.5 ± 0.1	16.2 ± 0.10	17.0 ± 0.10

Materia orgánica

	ID	S1	S2	S3	S4	S5
Seco	%	1.00 ± 0.15	1.20 ± 0.26	1.80 ± 0.32	1.30 ± 0.30	2.00 ± 0.10
Lluvioso	%	5.29 ± 0.26	4.99 ± 0.15	5.88 ± 0.10	5.54 ± 0.10	5.40 ± 0.30
	ID	S6	S7	S8	S9	S10
Seco	%	1.0 ± 0.17	2.1 ± 0.26	1.5 ± 0.26	0.9 ± 0.30	1.4 ± 0.26
Lluvioso	%	5.36 ± 0.10	4.64 ± 0.17	6.84 ± 0.15	5.87 ± 0.10	5.37 ± 0.10

Densidad aparente

	ID	S1	S2	S3	S4	S5
Seco	g/cm ³	1.41 ± 0.010	1.36 ± 0.010	1.34 ± 0.010	1.40 ± 0.000	1.32 ± 0.010
Lluvioso	g/cm ³	1.43 ± 0.010	1.47 ± 0.010	1.42 ± 0.010	1.49 ± 0.010	1.40 ± 0.010
	ID	S6	S7	S8	S9	S10
Seco	g/cm ³	1.18 ± 0.007	1.37 ± 0.010	1.08 ± 0.007	1.42 ± 0.010	1.27 ± 0.010
Lluvioso	g/cm ³	1.36 ± 0.000	1.42 ± 0.007	1.48 ± 0.010	1.46 ± 0.010	1.43 ± 0.010

Densidad real

	ID	S1	S2	S3	S4	S5
Seco	g/cm ³	2.50 ± 0.007	2.50 ± 0.007	2.66 ± 0.007	2.45 ± 0.010	2.50 ± 0.010

Lluvioso	g/cm ³	2.52 ± 0.010	2.50 ± 0.010	2.66 ± 0.010	2.42 ± 0.010	2.50 ± 0.010
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	g/cm ³	2.20 ± 0.007	2.55 ± 0.010	2.26 ± 0.007	2.46 ± 0.010	2.48 ± 0.007
Lluvioso	g/cm ³	2.23 ± 0.010	2.53 ± 0.007	2.26 ± 0.007	2.43 ± 0.010	2.48 ± 0.010
Arena						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	%	27.6 ± 0.10	28.3 ± 0.17	26.4 ± 0.07	25.4 ± 0.17	26.7 ± 0.24
Lluvioso	%	27.5 ± 0.17	28.4 ± 0.07	26.2 ± 0.17	25.5 ± 0.24	26.5 ± 0.10
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	%	17.6 ± 0.15	23.3 ± 0.17	24.2 ± 0.10	35.4 ± 0.14	26.5 ± 0.10
Lluvioso	%	17.6 ± 0.26	23.2 ± 0.10	24.2 ± 0.14	35.4 ± 0.14	26.5 ± 0.07
Limo						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	%	68.9 ± 0.14	68.3 ± 0.26	70.4 ± 0.10	71.8 ± 0.10	71.7 ± 0.17
Lluvioso	%	69.0 ± 0.10	68.2 ± 0.10	70.5 ± 0.10	71.6 ± 0.10	71.9 ± 0.10
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	%	79.2 ± 0.32	73.7 ± 0.14	73.2 ± 0.14	61.8 ± 0.17	70.6 ± 0.10
Lluvioso	%	79.2 ± 0.10	73.7 ± 0.17	73.3 ± 0.17	61.8 ± 0.10	70.6 ± 0.10
Arcilla						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	%	3.5 ± 0.17	3.3 ± 0.14	3.1 ± 0.14	2.8 ± 0.14	1.5 ± 0.14
Lluvioso	%	3.5 ± 0.14	3.3 ± 0.00	3.2 ± 0.14	2.8 ± 0.00	1.5 ± 0.14

ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	%	3.2 ± 0.17	2.9 ± 0.10	2.6 ± 0.17	2.8 ± 0.10	2.8 ± 0.17
Lluvioso	%	3.2 ± 0.00	3.0 ± 0.10	2.5 ± 0.10	2.8 ± 0.17	2.8 ± 0.17

Conductividad Eléctrica

ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	dS/m	0.620 ± 0.001	0.660 ± 0.001	0.760 ± 0.000	0.720 ± 0.001	0.655 ± 0.000
Lluvioso	dS/m	0.556 ± 0.001	0.595 ± 0.001	0.682 ± 0.001	0.659 ± 0.000	0.610 ± 0.001

ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	dS/m	0.620 ± 0.000	2.102 ± 0.001	2.140 ± 0.000	0.460 ± 0.001	0.499 ± 0.000
Lluvioso	dS/m	0.589 ± 0.000	1.961 ± 0.001	1.982 ± 0.000	0.419 ± 0.000	0.438 ± 0.001

pH

ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	-	7.6 ± 0.10	7.7 ± 0.10	7.5 ± 0.10	7.7 ± 0.07	7.5 ± 0.07
Lluvioso	-	7.4 ± 0.07	7.3 ± 0.10	7.4 ± 0.14	7.6 ± 0.14	7.4 ± 0.10

ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	-	7.3 ± 0.10	7.8 ± 0.07	7.9 ± 0.10	7.7 ± 0.10	7.6 ± 0.14
Lluvioso	-	7.2 ± 0.10	7.7 ± 0.14	7.4 ± 0.14	7.4 ± 0.10	7.5 ± 0.07

Fosfato (PO₄³⁻)

ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	mg/100 g	0.99 ± 0.017	0.94 ± 0.030	2.00 ± 0.020	2.46 ± 0.043	1.71 ± 0.010
Lluvioso	mg/100 g	0.63 ± 0.007	0.63 ± 0.030	0.69 ± 0.043	0.34 ± 0.010	0.91 ± 0.017

ID		S6	S7	S8	S9	S10
-----------	--	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Seco	mg/100 g	1.78 ± 0.007	2.45 ± 0.017	2.32 ± 0.010	2.28 ± 0.007	1.40 ± 0.007
Lluvioso	mg/100 g	1.74 ± 0.017	0.11 ± 0.010	1.91 ± 0.017	2.01 ± 0.030	0.48 ± 0.030
Cloruros (Cl⁻)						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	mg/100 g	9.69 ± 0.20	11.19 ± 0.01	12.67 ± 0.20	11.92 ± 0.30	10.43 ± 0.20
Lluvioso	mg/100 g	5.97 ± 0.01	6.70 ± 0.20	8.61 ± 0.30	7.45 ± 0.20	8.21 ± 0.01
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	mg/100 g	10.44 ± 0.10	14.17 ± 0.45	14.92 ± 0.01	7.45 ± 0.20	8.20 ± 0.20
Lluvioso	mg/100 g	8.21 ± 0.01	10.12 ± 0.30	11.18 ± 0.20	5.62 ± 0.30	7.45 ± 0.10
Ca²⁺ soluble						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	0.24 ± 0.02	0.24 ± 0.04	0.33 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.32 ± 0.02
Lluvioso	meq/100 g	0.21 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.25 ± 0.01	0.28 ± 0.04	0.24 ± 0.04
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	0.29 ± 0.01	0.44 ± 0.02	0.48 ± 0.05	0.36 ± 0.02	0.41 ± 0.01
Lluvioso	meq/100 g	0.20 ± 0.02	0.41 ± 0.01	0.44 ± 0.02	0.28 ± 0.04	0.36 ± 0.04
Mg²⁺ soluble						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	0.08 ± 0.04	0.08 ± 0.06	0.16 ± 0.04	0.16 ± 0.06	0.08 ± 0.04
Lluvioso	meq/100 g	0.08 ± 0.04	0.08 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.08 ± 0.04	0.08 ± 0.01
		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	0.16 ± 0.04	0.28 ± 0.04	0.32 ± 0.06	0.17 ± 0.01	0.25 ± 0.01

Lluvioso	meq/100 g	0.13 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.28 ± 0.04	0.09 ± 0.01	0.21 ± 0.01
Ca²⁺ intercambiable						
	ID	S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	9.1 ± 0.14	9.7 ± 0.14	10.2 ± 0.20	10.9 ± 0.31	10.8 ± 0.20
Lluvioso	meq/100 g	8.4 ± 0.20	9.1 ± 0.14	8.8 ± 0.31	9.1 ± 0.14	9.3 ± 0.20
	ID	S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	11.3 ± 0.31	12.1 ± 0.14	10.5 ± 0.31	7.2 ± 0.20	8.5 ± 0.14
Lluvioso	meq/100 g	9.7 ± 0.31	10.2 ± 0.20	9.1 ± 0.14	7.0 ± 0.14	8.1 ± 0.20
Mg²⁺ intercambiable						
	ID	S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	3.6 ± 0.30	2.2 ± 0.14	2.8 ± 0.14	1.8 ± 0.30	3.1 ± 0.14
Lluvioso	meq/100 g	3.1 ± 0.14	1.9 ± 0.14	2.5 ± 0.14	1.2 ± 0.30	2.8 ± 0.14
	ID	S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	4.0 ± 0.14	3.3 ± 0.30	3.1 ± 0.14	2.5 ± 0.14	2.1 ± 0.30
Lluvioso	meq/100 g	3.4 ± 0.14	2.4 ± 0.30	1.9 ± 0.14	2.1 ± 0.30	1.9 ± 0.14
K⁺ intercambiable						
	ID	S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	0.78 ± 0.01	1.62 ± 0.01	1.72 ± 0.03	1.66 ± 0.01	1.51 ± 0.03
Lluvioso	meq/100 g	0.11 ± 0.03	0.19 ± 0.03	1.09 ± 0.04	0.45 ± 0.007	1.15 ± 0.03
		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	1.51 ± 0.01	1.79 ± 0.04	1.84 ± 0.007	0.46 ± 0.03	1.15 ± 0.05
Lluvioso	meq/100 g	1.14 ± 0.007	1.51 ± 0.03	1.61 ± 0.04	0.11 ± 0.03	0.46 ± 0.04

Na⁺ intercambiable						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	0.11 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.13 ± 0.007	0.16 ± 0.01
Lluvioso	meq/100 g	0.09 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.14 ± 0.02
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	0.15 ± 0.01	0.18 ± 0.007	0.20 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.11 ± 0.01
Lluvioso	meq/100 g	0.14 ± 0.007	0.16 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.06 ± 0.01
Capacidad de Intercambio Catiónico – CIC						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	meq/100 g	13.55 ± 0.42	13.58 ± 0.23	14.84 ± 0.29	14.46 ± 0.50	15.53 ± 0.33
Lluvioso	meq/100 g	11.66 ± 0.13	11.23 ± 0.19	12.48 ± 0.37	10.83 ± 0.21	13.36 ± 0.18
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	meq/100 g	16.89 ± 0.23	17.34 ± 0.45	15.57 ± 0.23	10.23 ± 0.34	11.82 ± 0.43
Lluvioso	meq/100 g	14.32 ± 0.23	14.27 ± 0.27	12.73 ± 0.16	9.26 ± 0.26	10.48 ± 0.26
PSI						
ID		S1	S2	S3	S4	S5
Seco	%	0.81 ± 0.11	0.93 ± 0.13	1.08 ± 0.05	0.92 ± 0.04	1.01 ± 0.10
Lluvioso	%	0.74 ± 0.21	0.95 ± 0.24	1.20 ± 0.16	1.02 ± 0.15	1.10 ± 0.20
ID		S6	S7	S8	S9	S10
Seco	%	0.89 ± 0.06	1.06 ± 0.01	1.26 ± 0.16	1.04 ± 0.21	0.93 ± 0.12
Lluvioso	%	1.00 ± 0.05	1.12 ± 0.13	1.47 ± 0.21	0.93 ± 0.25	0.57 ± 0.17

Por otra parte, de acuerdo al objetivo general, que es evaluar el efecto del agua de riego sobre la salinidad de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac. Es necesario conocer los valores de los parámetros indicadores de la salinidad como la CE, pH y la textura del suelo, así como los valores de sodio mediante el PSI. De igual forma, como parte complementaria, también es importante conocer otras características fisicoquímicas del suelo como la humedad, materia orgánica, densidad aparente, densidad real, iones solubles e intercambiables, entre otros. Para con ello, poder comprender de mejor manera las características de un suelo y los problemas que puedan generar en los cultivos agrícolas. Por lo que, a continuación, se muestran los resultados y discusión de cada parámetro analizado en este estudio, así como la comparación de la variación de sus concentraciones de los parámetros físicos y químicos analizados en ambos periodos.

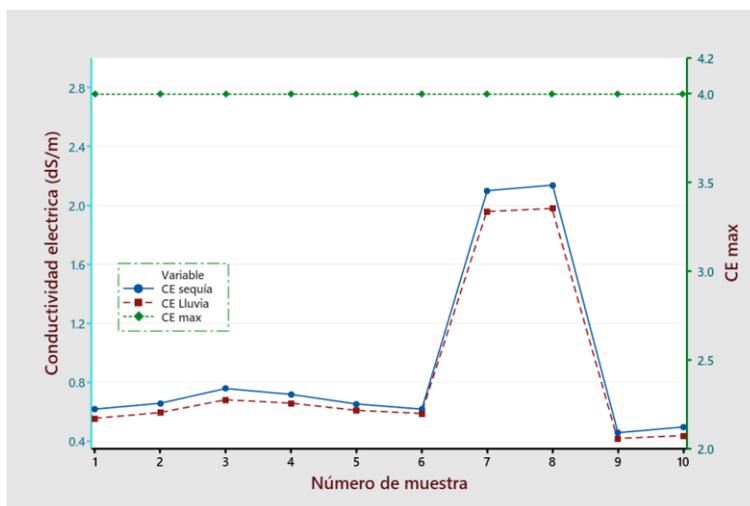
3.1.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de los suelos agrícolas en el periodo seco ha oscilado de 0.460 a 2.140 dS/m y en el periodo lluvioso ha oscilado de 0.419 a 1.982 dS/m, donde se ha observado que las muestras S7 y S8 presentaron una mayor conductividad eléctrica con respecto a las demás muestras (figura 28). Al respecto, Medina et al. (2016) han indicado que aquellos suelos que presentan una conductividad eléctrica por debajo de 2 dS/m son considerados como suelos de buena calidad, donde Huamaní (2018) ha considerado que un suelo es ligeramente salino cuando este presenta valores de conductividad eléctrica de 0.35 a 0.93 dS/m. Por otra parte, Ramírez (2017) ha considerado que un suelo con valores de conductividad eléctrica por debajo de 4 dS/m, son clasificados como suelos no salinos ni salinos sódicos, teniendo relación con lo referenciado por Richards (1954). Por otro lado, Fox (2013) en su estudio, tomando en consideración la clasificación de Dahnke y Whitney (1988), ha clasificado a sus muestras de suelos como suelos

extremadamente salinos por presentar una conductividad de 19.48 y 89.6 dS/m, indicando que afectará a cultivos sensibles.

Figura 28

Comparación de la CE en ambos periodos de los suelos agrícolas.



En ese sentido, de acuerdo a los valores de conductividad eléctrica que se han obtenido en los suelos agrícolas del distrito de Pisac, indican que son suelos con bajas concentraciones de sales, clasificándolos como suelos no salinos tanto en el periodo seco como lluvioso, debido a que presentaron valores de conductividad eléctrica menores a 4 dS/m. Sin embargo, las muestras S7 y S8 mostraron tener una conductividad eléctrica muy alta con respecto a las demás muestras, de modo que, se les clasificaría como suelos ligeramente salinos en ambos periodos. No obstante, se ha observado que las precipitaciones ayudan ligeramente a disminuir las sales presentes en los suelos.

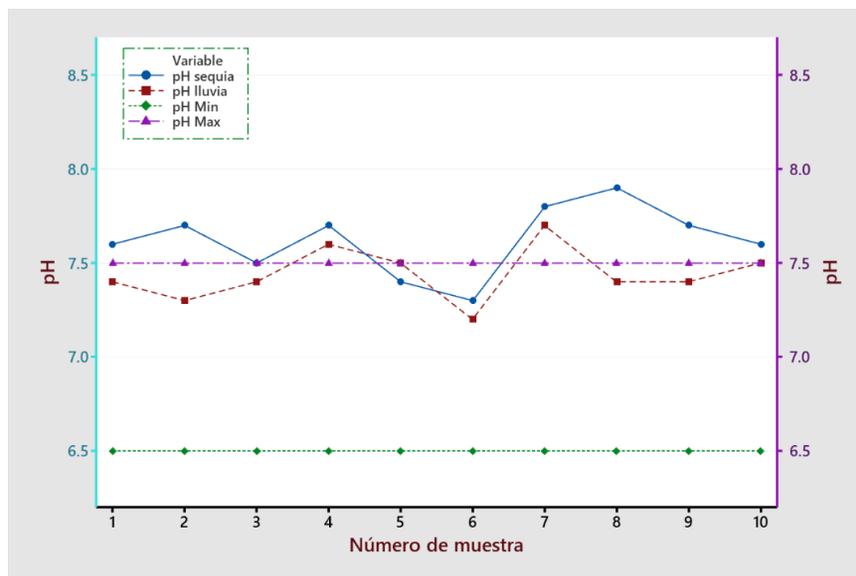
3.1.2 pH

El pH en los suelos agrícolas en el periodo seco ha oscilado de 7.3 a 7.9 y en el periodo lluvioso ha oscilado de 7.2 a 7.7, donde se ha observado que las muestras S7 y S8 presentaron valores de pH ligeramente alcalinos con tendencia a la alcalinidad a comparación de las demás

muestras (figura 29). Al respecto, Medina et al. (2016) ha afirmado que el pH óptimo en un suelo agrícola debe encontrarse entre 6.5 a 7.5 para que se dé buenos rendimientos y una mayor productividad, concordando con lo mencionado por Delgado (2021) en su trabajo de investigación. Por otra parte, Huamaní (2018) ha considerado que un suelo con valores de pH de 7.9 a 9.0 son suelos moderadamente a fuertemente alcalinos; mientras que Ramírez (2017) ha indicado que un suelo con un valor de pH de 5.73 a 6.67 es considerado como un suelo ligeramente ácido. Asimismo, Fox (2013) ha indicado que suelos que presentan un pH alcalino presentan un porcentaje de arcilla considerable, baja aptitud de infiltración y lenta permeabilidad, por lo que no es recomendable en la agricultura.

Figura 29

Comparación del pH en ambos periodos de los suelos agrícolas.



En tal sentido, de acuerdo a los resultados de pH obtenidos en los suelos agrícolas del distrito de Pisac en el periodo seco, indican que son suelos neutros a ligeramente alcalinos, presentando una tendencia a la alcalinidad. De modo que, durante el periodo seco, estos suelos agrícolas estarían afectando a la estructura del suelo y, por consiguiente, el desarrollo agrícola. No

obstante, las muestras S3, S5 y S6 han presentado un pH óptimo, como se observa en la figura 29, siendo suelos óptimos para emplear en la agricultura. En el periodo lluvioso, se ha observado que el pH de los suelos agrícolas ha disminuido, lo que indica que las precipitaciones contribuyen con el descenso del pH y con ello los efectos negativos que se pueda dar por un pH alcalino, debido a que la mayor parte de las muestras en el periodo lluvioso se encontraron dentro del pH óptimo a excepción de las muestras S4 y S7. Por otra parte, los valores obtenidos de pH mostraron una relación con la textura obtenida de los suelos estudiados, ya que los suelos franco limosos presentan un pH ligeramente alcalino.

Con respecto a la disponibilidad de nutrientes para las plantas en el suelo, por los valores de pH que presentaron estos suelos, indican que las sales amónicas y nítricas, así como el fósforo están disponibles para las plantas. De igual forma, el potasio, calcio, magnesio y sodio se encuentran disponibles a estos valores de pH. En comparación con los valores en ambos periodos, en el periodo lluvioso existe una mejor disponibilidad de nutrientes para las plantas en los suelos agrícolas del distrito de Pisac.

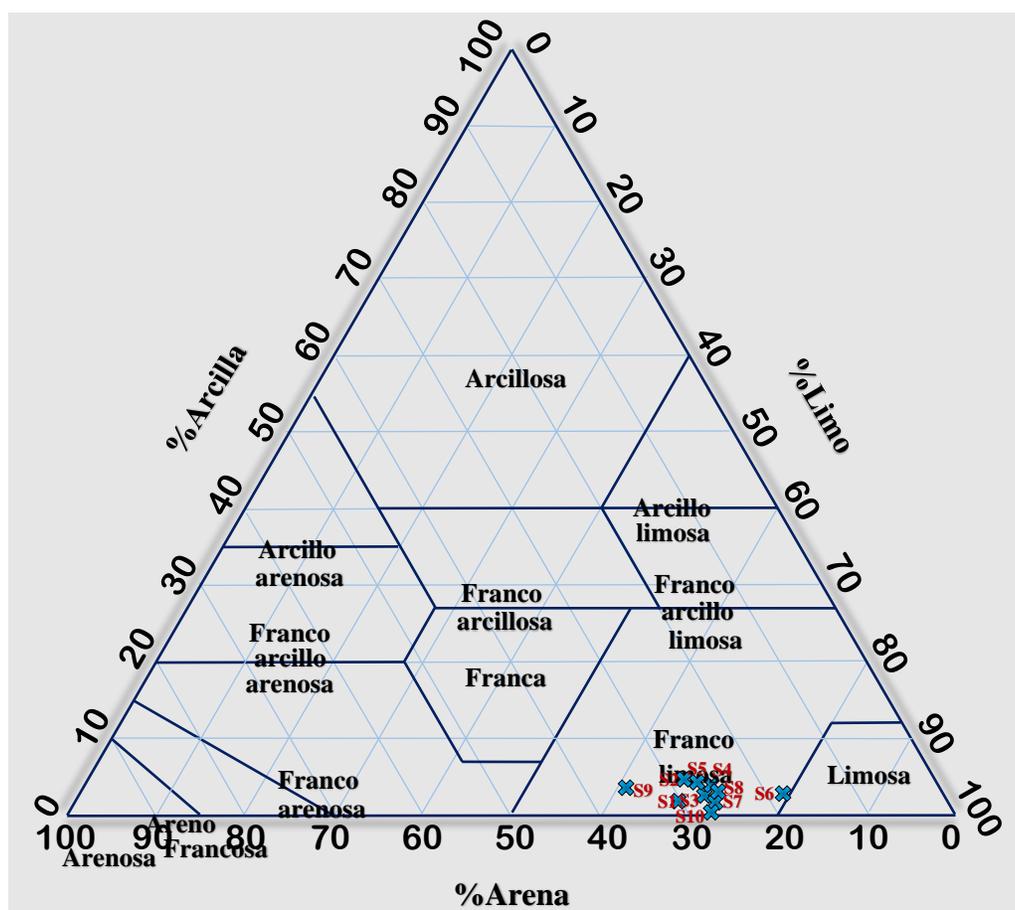
3.1.3 Clase textural

La obtención de la clase textural de los suelos en ambos periodos, ha presentado un mayor porcentaje de limo, el cual ha oscilado de 61.8 a 85.2 %, seguido de arena y un menor porcentaje de arcilla, indicando que son suelos francos limosos. Al respecto, Salgado et al. (2012) ha indicado que cuando un suelo presenta mayor porcentaje de arena, se caracteriza por tener una baja capacidad amortiguadora; por ende, los cultivos se vuelven más vulnerables a cambios que se den a través del manejo, ocasionando que las plantas sean más susceptibles a los efectos dados por los insumos aplicados. A todo ello, Fox (2013) ha mencionado que los suelos arenosos son secos, porque no almacenan agua ni nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Por otro lado,

Delgado (2021) ha indicado que un suelo arcilloso limoso y arcilloso, tiene mayor riesgo de presentar problemas de sodicidad por la mayor superficie de intercambio catiónico que contiene. Asimismo, Fox (2013) ha considerado que un suelo franco es óptimo para su empleo en la agricultura, debido a que contiene arena permitiéndole tener una buena permeabilidad y arcilla permitiéndole tener la capacidad de retener agua y nutrientes.

Figura 30

Clasificación textural de los suelos agrícolas en ambos periodos.



En tal sentido, de acuerdo a los porcentajes de arena, limo y arcilla que han presentado estos suelos agrícolas del distrito de Pisac, como se muestra en la figura 30, se encuentran clasificados como suelos francos limosos en ambos periodos. De modo que, al haber presentado

mayor contenido de limo, presentan una buena retención de agua y nutrientes, siendo suelos fáciles de trabajar, fértiles donde la materia orgánica se está descomponiendo fácilmente. Por otra parte, también estos suelos presentan una permeabilidad casi óptima atribuida por la arena, debido a que presentan poros grandes por el mayor contenido de arena y donde no existirían problemas de compactación por el bajo porcentaje de arcilla; presentando características buenas para un buen desarrollo de las raíces. No obstante, al presentar bajo contenido de arcilla, estos suelos no presentan una buena capacidad de retención contra la fuerza de gravedad.

3.1.4 Humedad

El porcentaje de humedad en estos suelos ha oscilado de 11.5 % a 15.4 % en el periodo seco y en el periodo lluvioso ha oscilado de 13.8 % a 19.2 %, indicando una mayor humedad en el periodo lluvioso atribuida a las precipitaciones frecuentes (anexo 11). Los valores de humedad obtenidos tuvieron relación con la clase textural de los suelos estudiados, debido a que Fox (2013) y Rucks et al. (2004) han indicado que los suelos franco limoso, arenoso son caracterizados por presentar una humedad disponible de 14 %, por lo que los resultados bajos de humedad obtenidos de estos suelos están atribuidos al contenido de arena puesto que no retienen el agua. Al respecto, Pérez et al. (2013) han mencionado que cuando la humedad es baja en un suelo y este es salino, esta salinidad es presentada en la superficie; por el contrario, si es alta la humedad, las sales se concentrarán en zonas más profundas por el efecto del lavado. Por lo tanto, el bajo porcentaje de humedad que presentaron los suelos agrícolas en el distrito de Pisac está atribuido al contenido de arena que presentaron, ya que la arena se caracteriza por no retener el agua por mucho tiempo. De igual forma, se ha observado que el aumento del porcentaje de humedad en el periodo lluvioso ha sido dado por las precipitaciones continuas sobre estos suelos.

3.1.5 Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica en estos suelos agrícolas ha oscilado de 0.9 % a 2.1 % en el periodo seco (anexo 11), mostrando que los porcentajes de materia orgánica tienen una relación con la clase textural. Estos son porcentajes muy bajos que necesitan agregar cantidades altas de MO para potenciar la calidad y cantidad de los productos agrícolas, según lo mencionado por Huamaní (2018). Respecto al periodo lluvioso la MO ha oscilado de 4.64 a 6.84 %, el cual es atribuido a la presencia de precipitaciones, debido a que la presencia continua de agua facilita un aumento de MO. Por otra parte, Medina et al. (2016) han indicado que el porcentaje de MO deseable en suelos arenosos es de 2.5 %, donde han recomendado hacer uso de excretas de ganado, residuos de animales y abonos orgánicos. Por otra parte, Fox (2013) ha indicado que los valores de MO por encima de 10 % son elevados, indicando que la MO mejora las condiciones físicas del suelo y contrarresta los efectos negativos de tener una CE fuertemente salina y pH alcalino, permitiendo que de la producción de los cultivos. En tal sentido, por los bajos porcentajes de materia orgánica en el periodo seco, estos suelos presentan una fertilidad baja, mostrando relación con el porcentaje de arcilla, debido a que la materia orgánica y la arcilla son los responsables de la fertilidad en un suelo. Todo ello indica que en periodos secos estos suelos necesitan agregados de abonos orgánicos para aumentar su rendimiento agrícola, ya que en el periodo lluvioso las precipitaciones facilita que se dé un aumento de la MO, mejorando la fertilidad, así como la condición física de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac.

3.1.6 Densidad aparente

Este parámetro, en el periodo seco, ha variado de 1.08 a 1.42 g/cm³ y en el periodo lluvioso ha variado de 1.36 a 1.49g/cm³, observándose una variación en ambos periodos (anexo 11). Al respecto, Vitorino (1988) ha indicado que la densidad aparente y la porosidad son factores que

varían con la textura del suelo, aun cuando otros factores como el contenido de MO, humedad, estructura, etc. influyen sobre estos parámetros. Asimismo, ha indicado que un suelo franco limoso tiene valores promedios de densidad aparente de 1.0 a 1.3 g/cm³ y una porosidad total de 42 a 51%. De igual forma, también ha mencionado que la porosidad ayuda en la relación humedad-aire; no obstante, el tamaño de los poros nos brinda información de cómo avanza el agua a través del suelo. Lo mencionado anteriormente es importante según Fox (2013) y Rucks et al. (2004), debido a que los microporos retienen agua (suelo arcilloso) y los macroporos no la retienen (suelo arenoso). En ese sentido, los valores obtenidos de densidad aparente en los suelos agrícolas del distrito de Pisac muestran una relación con su clase textural, porque los valores obtenidos se encuentran dentro y cerca del rango de densidad aparente que presenta un suelo franco limoso. Por otra parte, se ha evidenciado que los valores de densidad aparente han aumentado en el periodo lluvioso, debido a que la humedad y materia orgánica aumentan la densidad aparente en los suelos.

3.1.7 Densidad real

La densidad real en el periodo seco ha oscilado de 2.20 a 2.66 g/cm³ y en el periodo lluvioso ha oscilado de 2.23 a 2.66 g/cm³, observándose una mínima variación en ambos periodos. Al respecto, Ramírez (2017) ha indicado que un suelo franco presenta una densidad real que varía de 1.20 a 1.32 g/cm³ y que un suelo arenoso tiene una densidad real mayor a 1.32 g/cm³; Además, Rucks et al. (2004) han mencionado que la densidad real de un suelo normalmente está alrededor de 2.65 g/cm³, cuando no presenta cantidades fuera de lo normal de minerales pesados y cuando el contenido de MO no supera el 1 %. Por otra parte, también indica que un suelo arenoso limoso contiene cuarzo y feldespatos que poseen densidades de 2.6 y 2.7 g/cm³ respectivamente y una materia orgánica de 1.5 %, el cual dependerá de la proporción de los iones que lo constituyen. En tal sentido, los valores de densidad real contrastan la clase textural de estos suelos, así como el

porcentaje de materia orgánica en ciertas muestras en el periodo seco. Por otra parte, de acuerdo a los valores de densidad aparente y real obtenidos, mostraron que estos suelos presentan un porcentaje de porosidad total característico de un suelo franco limoso, teniendo relación con la clase textural de estos suelos agrícolas (anexo 14).

3.1.8 Iones solubles

Con respecto a los cationes solubles que se han analizado, los valores de los cationes calcio y magnesio, indicaron que estos suelos agrícolas en el distrito de Pisac, presentan mayor concentración del catión calcio con respecto al magnesio en ambos periodos. En cuanto a la variación de sus concentraciones en ambos periodos, el calcio y el magnesio presentaron una ligera disminución en el periodo lluvioso (anexo 12). De acuerdo a lo anterior, indica que el calcio y magnesio están predominando en el intercambio catiónico, disminuyendo los efectos dados por el sodio en el suelo. Asimismo, se ha determinado en el suelo los cloruros solubles, el cual ha presentado valores muy elevados en el periodo seco, encontrándose por encima del rango óptimo de concentración que es de 10 a 75 mg/kg, de manera que están generando problemas de toxicidad en las plantas, a excepción de la muestra S7. Sin embargo, en el periodo lluvioso, las muestras S1, S2, S4, S9 y S10 han disminuido en su concentración, encontrándose con valores óptimos para la mayoría de las plantas dentro del rango de 10 a 75 mg/kg (anexo 12), pero las demás muestras mantuvieron valores altos de cloruros, el cual podría deberse a una contaminación de aguas residuales domésticas productos de las lavanderías.

Fosfatos

Con respecto a los fosfatos, en la tabla 10 se indican las correspondientes absorbancias que se han obtenido de cada solución estándar en la curva de calibración a una longitud de 760 nm para la determinación de los fosfatos en el suelo. En este caso, la curva de calibración obtenida de

los fosfatos como se muestra en la figura 31, ha sido realizada en unidades de mg/mL de PO_4^{3-} , las cuales han sido tomadas en consideración para la determinación de su concentración.

Tabla 10

Patrones de calibración para la determinación de fosfatos en suelos.

Patrón PO_4^{3-} mg/mL	Absorbancia 760 nm
0.00125	0.084
0.0025	0.097
0.0075	0.142
0.015	0.202
0.025	0.338

Nota. Concentraciones de los estándares de fosfatos en mg/mL.

Figura 31

Curva de calibración de fosfatos para suelos, generada de una solución patrón intermedia de 10 mg/L, mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 760 nm, con el software visión pro realizado el 12/04/24.

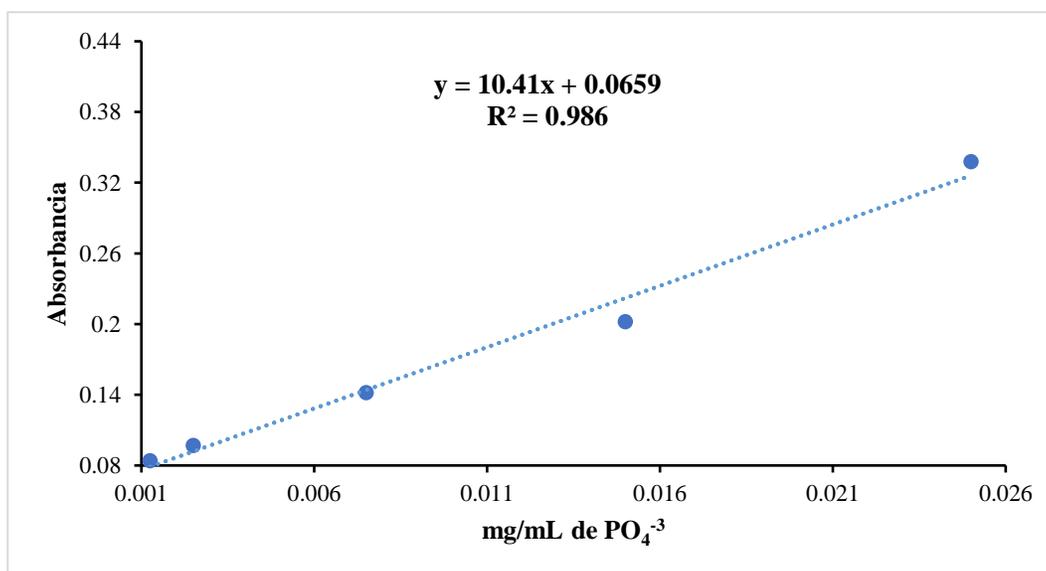


Tabla 11

Absorbancias de suelos en la determinación de fosfatos.

Muestras de suelo	Absorbancia 760nm	Absorbancia 760 nm
	Seco	Lluvioso
Suelo 1	0.177	0.099
Suelo 2	0.115	0.099
Suelo 3	0.181	0.102
Suelo 4	0.194	0.084
Suelo 5	0.155	0.113
Suelo 6	0.159	0.156
Suelo 7	0.193	0.072
Suelo 8	0.139	0.165
Suelo 9	0.185	0.171
Suelo 10	0.139	0.091

Nota: Absorbancias obtenidas de los suelos en el periodo seco y lluvioso para fosfatos.

Cálculo:

Para la determinación de la concentración de fosfatos en los suelos. Primeramente, se ha obtenido la concentración de cada muestra de suelo en mg/mL, de acuerdo a la ecuación de la recta dada por la curva de calibración con sus respectivas absorbancias obtenidas en cada muestra cómo se muestran en la tabla 11. Después de ello, se le convirtió en mg/L o ppm, el cual a partir de esa concentración se ha determinado su concentración en unidades de mg/100g de suelo, para ello en el cálculo se ha tomado en consideración el volumen (40 mL) y peso (20 g) que se ha considerado en la relación 1:2 del suelo y agua, tomados en la extracción de los iones solubles.

Con respecto a los valores de fosfatos obtenidos en los suelos, en el periodo seco ha oscilado de 0.94 a 2.46 mg/100g y en el periodo lluvioso ha oscilado de 0.11 a 2.01 mg/100g, del cual indican que en el periodo seco tuvieron valores altos de fosfatos a diferencia del periodo lluvioso (anexo 12). Al respecto, Huamaní (2018) ha considerado que concentraciones de 42 a 57 mg/kg de fosfato son valores altos, indicando que se puede deber a las aguas servidas y uso de fertilizantes organofosforados, asimismo menciona que el fósforo es un nutriente fundamental para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por otra parte, Medina et al. (2016) indicaron que valores entre 2.9 a 3.1 mg/kg de fosfato son valores bajos, debido a que en suelos agrícolas el valor de fosfato oscila de 10 a 20 mg/kg. En ese sentido, en el periodo seco las muestras S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 y S10 mostraron valores normales, a excepción de las muestras S1 y S2, los cuales presentaron valores pobres de fosfatos. Sin embargo, en el periodo lluvioso todas las muestras disminuyeron su concentración de fosfatos, de las cuales las muestras S6, S8 y S9, se encontraron con valores normales (anexo 12). De modo que, por los valores obtenidos de fosfatos en los suelos agrícolas del distrito de Pisac, indican que es necesaria la aplicación de fertilizantes fosfatados para aumentar los niveles deseados en las parcelas que presentaron niveles pobres de fosfato.

3.1.9 Cationes intercambiables

Potasio intercambiable

Con respecto al potasio intercambiable de acuerdo al método de espectrofotometría UV-Visible, en la tabla 12 se indican las correspondientes absorbancias que se han obtenido de cada solución estándar en la curva de calibración (absorbancias de cada muestra a partir de una dilución de 1:100) a una longitud de 650 nm para la determinación del catión potasio intercambiable en el suelo. La curva de calibración obtenida para el potasio como se muestra en la figura 32, ha sido realizada en unidades de mg/L o ppm de K^+ .

Tabla 12

Patrones de calibración para la determinación de potasio en suelos.

Patrón K⁺ mg/L	Absorbancia 650 nm
2.5	0.400
5	0.720
7.5	0.970
10	1.220

Figura 32

Curva de calibración de potasio para suelos, generada de una solución patrón intermedia de 50 mg/L, mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 650 nm, con el software visión pro realizado el 26/04/24.

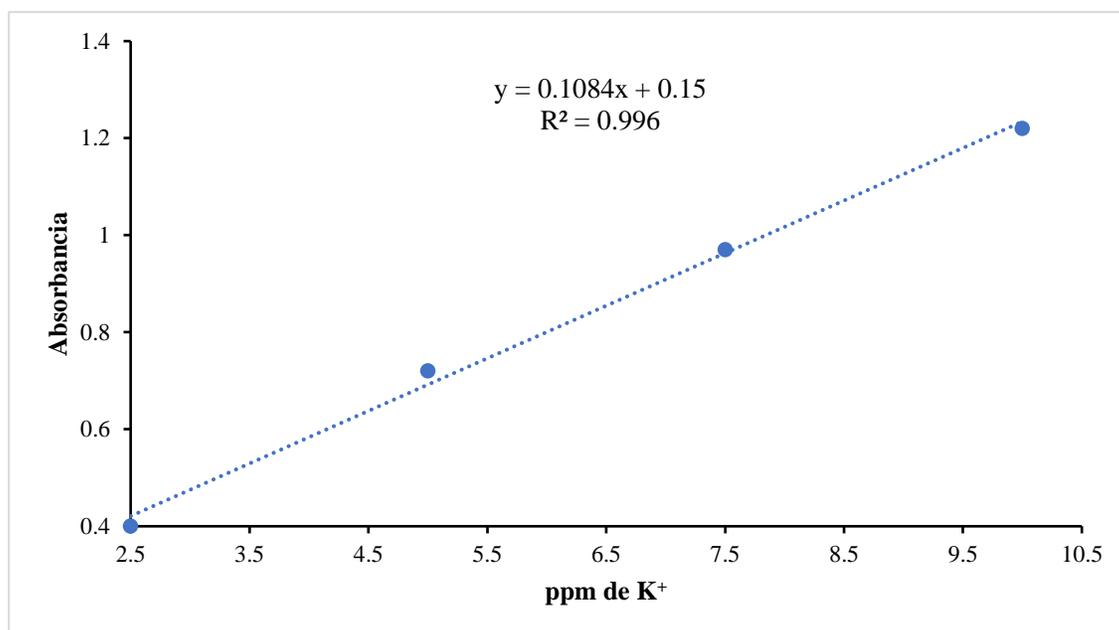


Tabla 13

Absorbancias de suelos en la determinación de potasio.

Muestras de suelo	Absorbancia 650 nm	Absorbancia 650 nm
	Seco	Lluvioso
Suelo 1	0.259	0.165
Suelo 2	0.379	0.176
Suelo 3	0.392	0.351
Suelo 4	0.383	0.214
Suelo 5	0.362	0.311
Suelo 6	0.362	0.311
Suelo 7	0.402	0.362
Suelo 8	0.410	0.379
Suelo 9	0.214	0.165
Suelo 10	0.311	0.214

Nota. Absorbancias obtenidas de los suelos en el periodo seco y lluvioso para potasio.

Cálculo:

La determinación de los resultados de potasio intercambiable en los suelos ha sido obtenida mediante la ecuación de la recta en unidades de ppm como se muestra en la tabla 13, a la cual se le ha multiplicado por el factor de dilución que se le ha realizado a cada muestra siendo de 1:100. Después de ello, se ha realizado la conversión de ppm a meq/100g de suelo, de acuerdo al peso de suelo (5g) y el volumen de agua (15 mL), tomados en la extracción de los cationes intercambiables.

Sodio intercambiable

De igual forma, para el sodio intercambiable, en la tabla 14 se indican las correspondientes absorbancias que se han obtenido de cada solución estándar en la curva de calibración

(absorbancias de cada muestra a partir de una dilución de 1:10) a una longitud de 589 nm para la determinación del catión sodio intercambiable en el suelo. La curva de calibración obtenida para el potasio como se muestra en la figura 33, ha sido realizada en unidades de mg/L o ppm de Na⁺.

Tabla 14

Patrones de calibración para la determinación de sodio en suelos.

Patrón Na⁺ mg/L	Absorbancia 589 nm
0.5	0.298
1.0	0.432
1.5	0.601
2.0	0.736
2.5	0.919

Figura 33

Curva de calibración de sodio para suelos, generada de una solución patrón intermedia de 20 mg/L, mediante el método de espectroscopia de absorción atómica a 589 nm, con el software Sistema SOLAAR AA realizado el 07/05/24.

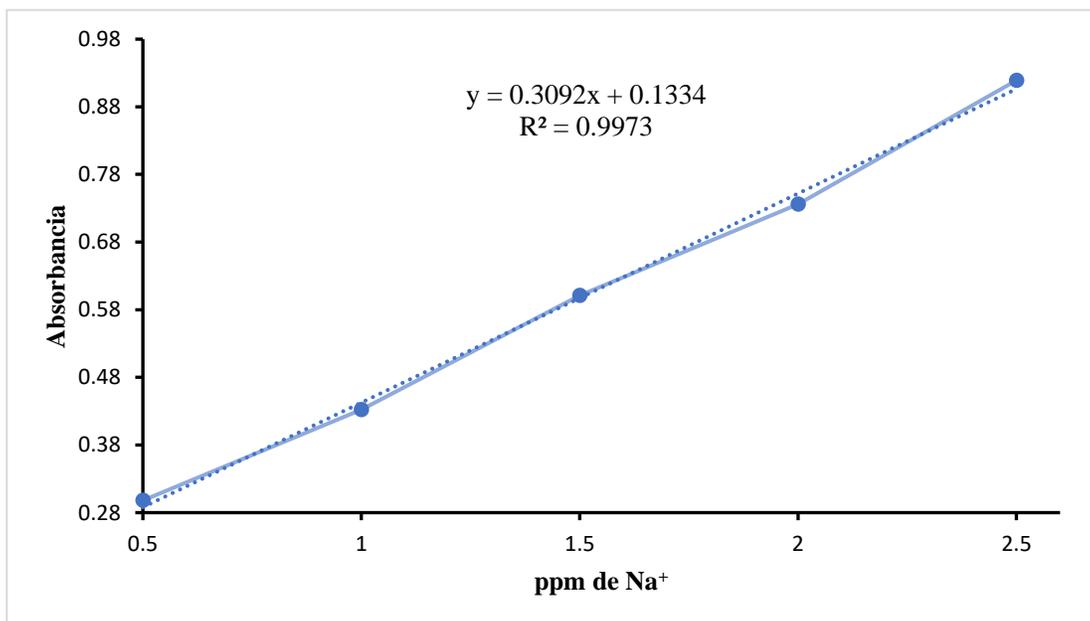


Tabla 15

Absorbancia de suelos en la determinación de sodio.

Muestras de suelo	Absorbancia 589 nm	Absorbancia 589 nm
	Seco	Lluvioso
Suelo 1	0.411	0.341
Suelo 2	0.436	0.374
Suelo 3	0.519	0.498
Suelo 4	0.452	0.403
Suelo 5	0.503	0.474
Suelo 6	0.504	0.470
Suelo 7	0.560	0.531
Suelo 8	0.595	0.560
Suelo 9	0.385	0.341
Suelo 10	0.407	0.297

Nota. Absorbancias obtenidas de los suelos en época de sequía y lluvia para sodio.

Cálculo:

La determinación de los resultados de sodio intercambiable en los suelos ha sido obtenida mediante la ecuación de la recta en unidades de ppm como se muestra en la tabla 15, a la cual se le ha multiplicado por el factor de dilución que se le realizó a cada muestra, siendo de 1:10. Después de ello, se ha realizado la conversión de ppm a meq/100g de suelo, de acuerdo al peso de suelo (5g) y el volumen de agua (15 mL), tomados en la extracción de los cationes intercambiables.

De acuerdo a los valores obtenidos de los cationes intercambiables en la tabla 9, indican que la predominancia en el complejo de intercambio en ambos periodos está dada por $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ indicando que no está habiendo problemas respecto al catión sodio puesto que presenta

valores bajos en relación al calcio, magnesio y potasio en el complejo de intercambio. Al respecto, López et al. (2019) ha mencionado que los valores óptimos de saturación en la CIC para Ca^{2+} son de 65 a 75 %, para Mg^{2+} es de 10 a 20 %, para K^+ es de 5 a 7 % y para Na^+ es <5 %. En tal sentido, los suelos agrícolas en el distrito de Pisac por los valores de Ca^{2+} intercambiable que presentaron se encuentran dentro del rango de 65 a 75 % de saturación en la CIC, mostrando valores óptimos en ambos periodos. En cambio, el Mg^{2+} intercambiable ha presentado valores por encima del nivel óptimo de saturación en la CIC que es de 10 a 20 %. En el caso del K^+ intercambiable, presentaron valores por encima de los valores óptimos de saturación en el periodo seco, pero en el periodo lluvioso, 5 muestras mostraron porcentajes por debajo de 5 a 7 % de saturación en la CIC y en el caso del Na^+ intercambiable, se ha obtenido valores óptimos por debajo de 5 % de saturación en la CIC en ambos periodos, siendo valores que no pueden generar ningún problema en los suelos.

3.1.10 Fertilidad del suelo

Para la determinación de la fertilidad del suelo, se ha determinado de acuerdo a los valores de los cationes de intercambio obtenido, el cual en el periodo seco los valores de CIC han oscilado de 10.23 a 17.34 meq/100g y en el periodo lluvioso ha oscilado de 9.26 a 14.32 meq/100g. Al respecto, Guerrero (2019) ha mencionado que la arena y el limo no aportan cargas, mientras que la arcilla si lo hace, el cual varía de acuerdo al tipo de arcilla. Asimismo, menciono que los suelos francos tienen una CIC de 7.5 hasta 15.9 meq/100g y los francos limosos tienen una CIC 9.4 hasta 26.3 meq/100g. Por otra parte, Guevara (2018) ha indicado que mediante la clasificación dada por Fernández (2006), se puede clasificar la fertilidad de un suelo. En ese sentido, tomando en consideración la clasificación de Fernández (2006), los suelos agrícolas en el distrito de Pisac en ambos periodos, al encontrarse en el rango de 9.26 a 17.34 meq/100g de CIC, indican que son suelos con una fertilidad baja a media (tabla5). Por otra parte, los valores obtenidos de CIC

tuvieron una relación con la clase textural que presentaron estos suelos agrícolas; así mismo, estos valores contrastan los bajos valores de contenido de MO y arcilla obtenidos en estos suelos.

3.1.11 Salinidad y contenido de sodio

Para la clasificación de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, se muestran en la tabla 16 los valores obtenidos de la CE, PSI y pH. De tal modo, que mediante estos 3 parámetros se determinará si estos suelos son suelos salinos, salinos-sódicos o no salinos ni sódicos en función de los criterios de Richards (1954), el cual es el criterio que comúnmente toman en consideración cuando se quiere determinar la salinidad y contenido de sodio en suelos agrícolas.

Tabla 16

Clasificación de los suelos agrícolas en función de la salinidad.

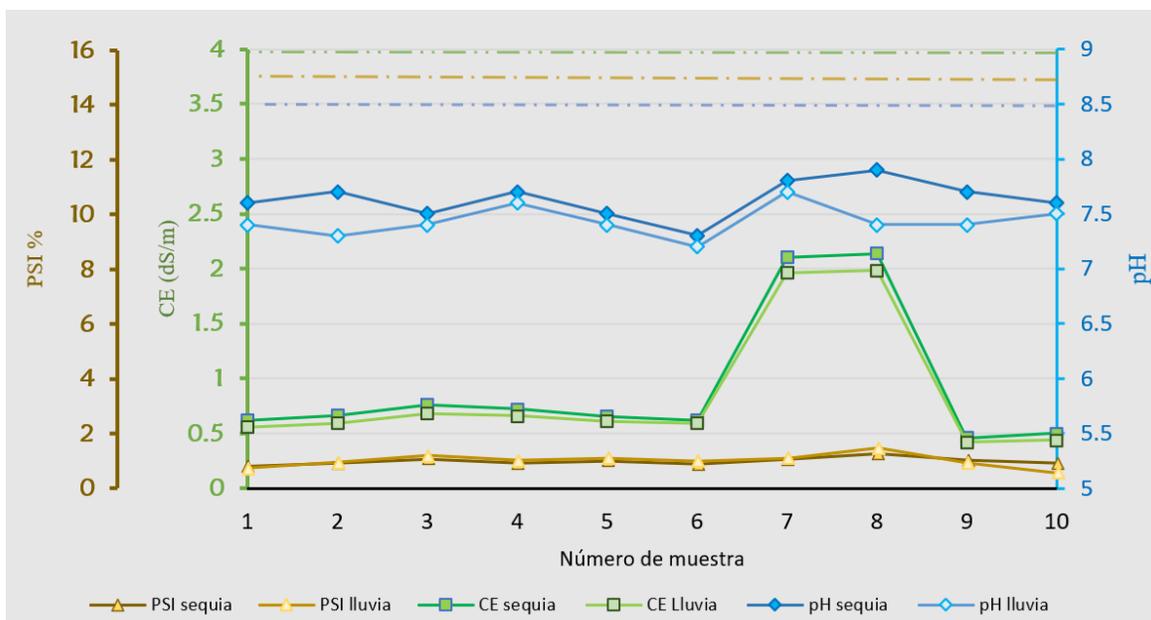
Periodo	CE (dS/m)	PSI (%)	pH (-)	Clasificación del suelo
ID			S1	
Seco	0.620 ± 0.001	0.81 ± 0.13	7.6 ± 0.10	Suelo Normal
Lluvioso	0.556 ± 0.001	0.69 ± 0.13	7.4 ± 0.07	Suelo Normal
ID			S2	
Seco	0.660 ± 0.001	0.90 ± 0.08	7.7 ± 0.10	Suelo Normal
Lluvioso	0.595 ± 0.001	0.83 ± 0.01	7.3 ± 0.10	Suelo Normal
ID			S3	
Seco	0.760 ± 0.000	1.08 ± 0.07	7.5 ± 0.10	Suelo Normal
Lluvioso	0.682 ± 0.001	1.18 ± 0.13	7.4 ± 0.14	Suelo Normal
ID			S4	

Seco	0.720 ± 0.001	0.90 ± 0.01	7.7 ± 0.07	Suelo Normal
Lluvioso	0.659 ± 0.000	0.97 ± 0.01	7.6 ± 0.14	Suelo Normal
ID			S5	
Seco	0.655 ± 0.000	0.97 ± 0.06	7.4 ± 0.07	Suelo Normal
Lluvioso	0.610 ± 0.001	1.02 ± 0.09	7.5 ± 0.10	Suelo Normal
ID			S6	
Seco	0.620 ± 0.000	0.89 ± 0.06	7.3 ± 0.10	Suelo Normal
Lluvioso	0.589 ± 0.000	0.98 ± 0.06	7.2 ± 0.10	Suelo Normal
ID			S7	
Seco	2.102 ± 0.001	1.05 ± 0.01	7.8 ± 0.07	Suelo Normal
Lluvioso	1.961 ± 0.001	1.12 ± 0.06	7.7 ± 0.14	Suelo Normal
ID			S8	
Seco	2.140 ± 0.000	1.23 ± 0.11	7.9 ± 0.10	Suelo Normal
Lluvioso	1.982 ± 0.000	1.42 ± 0.01	7.4 ± 0.14	Suelo Normal
ID			S9	
Seco	0.460 ± 0.001	0.99 ± 0.18	7.7 ± 0.10	Suelo Normal
Lluvioso	0.419 ± 0.000	0.87 ± 0.01	7.4 ± 0.10	Suelo Normal
ID			S10	
Seco	0.499 ± 0.000	0.93 ± 0.09	7.6 ± 0.14	Suelo Normal
Lluvioso	0.438 ± 0.001	0.57 ± 0.13	7.5 ± 0.07	Suelo Normal
Criterio de Richards (1954)				
Clasificación	< 4	< 15	< 8.5	SUELO NORMAL

En la tabla 16, se observan los valores de CE, PSI y pH de los suelos agrícolas, así como las desviaciones estándar que se han calculado en el análisis de los 3 parámetros, el cual indica que los valores obtenidos en las 3 repeticiones no se encuentran muy dispersos. De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 16, indican que son valores muy bajos según los valores máximos dados por los criterios de Richards, evidenciándose una disminución mínima del porcentaje de sodio intercambiable y conductividad eléctrica, mientras que el pH ha mostrado un cambio en ciertas muestras en el periodo seco y lluvioso, como se muestra en la figura 34, indicando que las precipitaciones no inciden en gran medida sobre el porcentaje de sodio intercambiable ni en la conductividad eléctrica.

Figura 34

Clasificación de los suelos de acuerdo al PSI, pH y CE.



En tal sentido, en la figura 34 podemos evidenciar que los valores obtenidos de los 3 parámetros en estos suelos están muy por debajo de los valores límites, indicando que están clasificados como suelos no salinos ni sódicos, siendo suelos normales en ambos periodos. Sin

embargo, de lo más relevante ha sido que las muestras S7 y S8 han mostrado valores de CE significativamente altos con respecto a los valores de CE de las demás muestras en ambos periodos. En la figura 38, podemos evidenciar que los resultados de CE, PSI y pH, se muestran por debajo de los valores límites para ser clasificados como suelos salinos o sódicos. Por otro lado, según los criterios de Dahnke y Whitney (1988) las muestras S7 y S8 estarían consideradas como suelos ligeramente salinos, de modo que según la FAO-UNESCO los valores de salinidad que presentaron las muestras S7 y S8 afectarían a cultivos ligeramente tolerantes (Fox, 2013).

3.1.12 Prueba estadística en los suelos agrícolas

Con el propósito de conocer estadísticamente la variación de sus concentraciones en ambos periodos de los parámetros indicadores de la salinidad como la CE, pH y PSI en los suelos agrícolas, se ha aplicado una prueba estadística. Para lo cual, se ha utilizado el paquete estadístico Minitab, en el que se ha usado el método de T de student con dos colas (termino estadístico que indica que se ha determinado la diferencia de las muestras, para el lado izquierdo y derecho) para los 3 parámetros principales.

Tabla 17

Prueba T de student de la conductividad eléctrica en los suelos agrícolas.

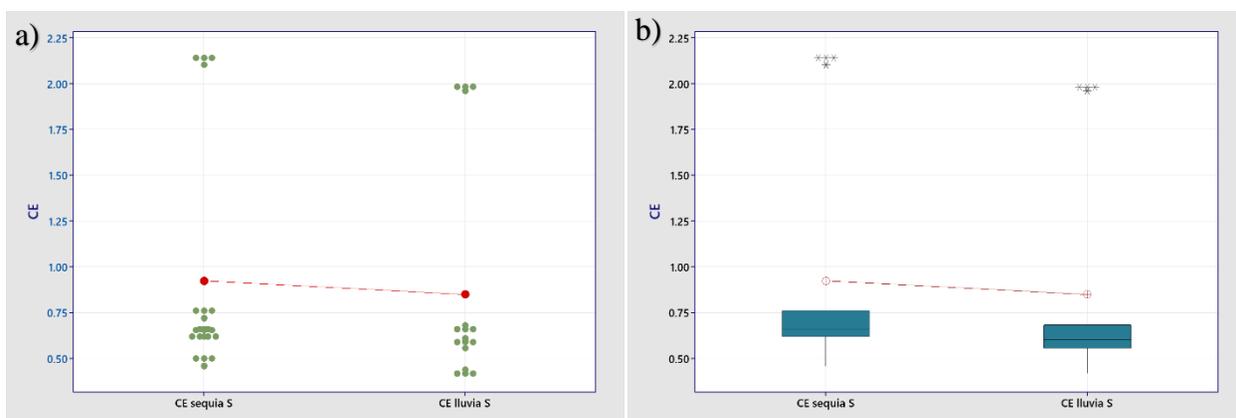
Prueba T de student					
Muestra	N° de datos	Media	Desviación estándar	Valor T	Valor p
CE seco	30	0.924	0.615	0.48	0.630
CE lluvioso	30	0.849	0.577	0.48	0.630

La conductividad eléctrica en el suelo, mediante la prueba de T de student con dos colas (bilateral), ha evidenciado que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre ambos periodos, como se observa en la tabla 17, debido a que el valor $p = 0.630$, ha sido mayor al nivel

de significancia de 0.05 (Anexo 21). De tal forma, que este valor indica que la acumulación de iones en los suelos agrícolas en el periodo lluvioso no ha mostrado un descenso significativo de su concentración con respecto a los iones que ha presentado el agua en el periodo seco. De tal modo que, la lluvia no incide de forma significativa en la acumulación de iones sobre los suelos agrícolas, reteniendo el suelo la misma cantidad de iones atribuidos a las cargas dadas por la MO y arcilla que presentan estos suelos agrícolas. No obstante, la concentración de las sales estará condicionada al manejo del agua y drenaje.

Figura 35

a) Valores individuales de CE en ambos periodos del suelo, b) Representación de caja de CE en ambos periodos del suelo.



En la figura 35 a) se puede evidenciar como se encuentran distribuidos los valores individuales de cada muestra, donde se puede observar que la mayoría de los valores se encuentran por debajo de 1 dS/m, mientras los puntos ubicados en la parte superior representan a los valores de las muestras S7 y S8 estando por encima de 1.9 dS/m. En ese sentido, las muestras S7 y S8 estarían consideradas como muestras atípicas, debido a que ha mostrado valores muy distintos a los demás datos obtenidos, el cual se puede apreciar en la figura de cajas de la figura 35 b). Asimismo, de acuerdo al valor $p = 0.630$, que se ha obtenido en la conductividad eléctrica en los

suelos, en la figura 35 a) y b) se puede evidenciar que las medias de la conductividad eléctrica en el periodo seco y lluvioso, muestran una diferencia mínima, teniendo relación con el valor p obtenido, debido a que cuando el valor p es mayor al nivel de significancia, siendo de 0.05, indican que no existe una diferencia significativa entre los datos obtenidos en ambos periodos de la conductividad eléctrica, dando veracidad al valor p reportado por el programa estadístico Minitab.

Tabla 18

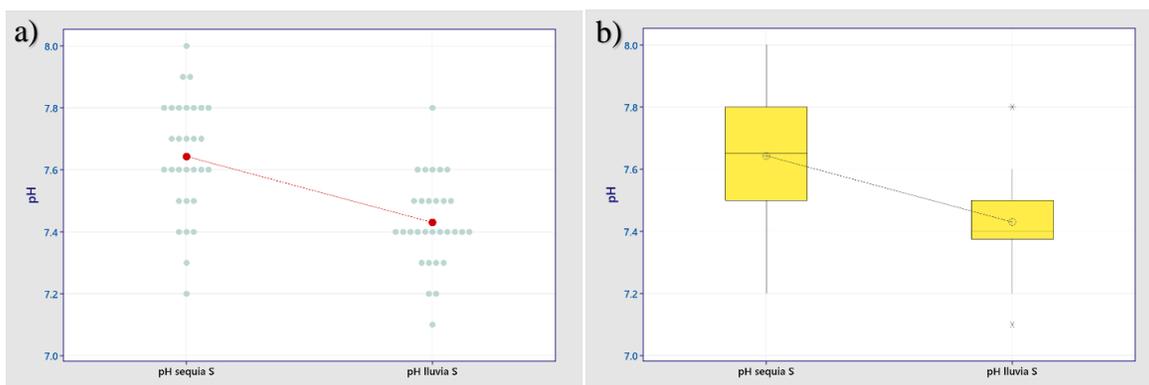
Prueba T de student de pH en los suelos agrícolas.

Prueba T de student					
Muestra	N° de datos	Media	Desviación estándar	Valor T	Valor p
pH seco	30	7.643	0.187	4.95	0.000
pH lluvioso	30	7.430	0.144	4.95	0.000

Respecto al pH, la estadística ha demostrado que estadísticamente sí existe una diferencia significativa entre ambos periodos, como se observa en la tabla 18, debido a que el valor $p = 0.000$, siendo inferior al nivel de significancia de 0.05 (Anexo 21). Por tanto, según el valor p obtenido, indica que el pH en los suelos agrícolas en el periodo lluvioso ha disminuido significativamente los valores de pH con respecto a los valores de pH que presentaron los suelos en el periodo seco. De tal modo que, la lluvia está incidiendo de forma significativa sobre el pH, disminuyendo el pH en los suelos. De acuerdo a ello, nos indica que en el periodo lluvioso existe una mayor solubilidad y disponibilidad de los nutrientes para los cultivos, ayudando en el correcto desarrollo y crecimiento de sus cosechas.

Figura 36

a) Valores individuales de pH en ambos periodos del suelo, b) Representación de caja de pH en ambos periodos del suelo.



En la figura 36 a) se evidencia como se encuentran los valores individuales de cada muestra, en la que se observa que los valores se encuentran más dispersos en el periodo seco, encontrándose la mayoría de los datos en un rango de pH de 7.5 a 7.8, mientras que en el periodo lluvioso la mayoría de los valores se encontraron en un rango de pH de 7.3 a 7.5, siendo menos dispersos como se muestra en la figura 36 b). Asimismo, de acuerdo al valor $p = 0.000$, que se ha obtenido en el pH de los suelos, se puede evidenciar que sus medias en ambos periodos, como se muestra en la figura 36 a) y b), muestran una diferencia significativa, teniendo relación con el valor p obtenido, ya que se ha encontrado por debajo del nivel de significancia estadísticamente.

Tabla 19

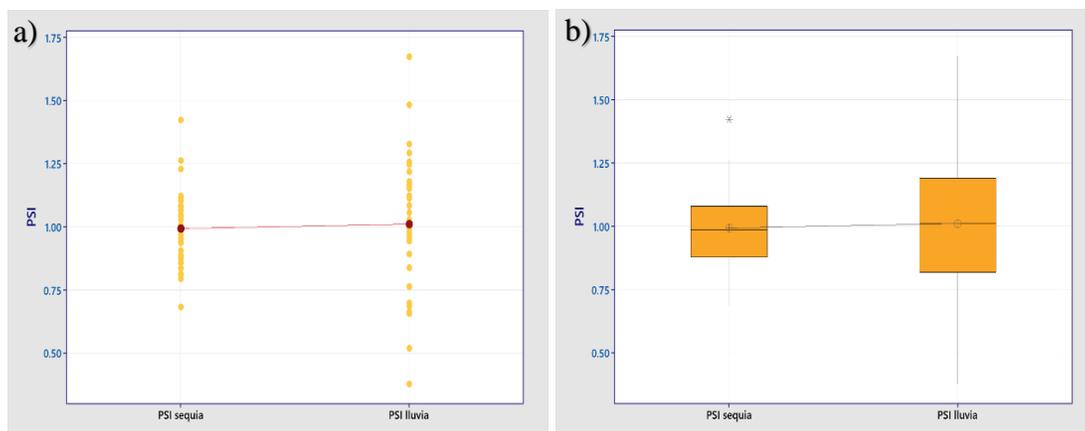
Prueba T de student del PSI en los suelos agrícolas.

Prueba T de student					
Muestra	N° de datos	Media	Desviación estándar	Valor T	Valor p
PSI seco	30	0.993	0.154	-0.30	0.763
PSI lluvioso	30	1.011	0.282	-0.30	0.763

De igual forma, en el PSI, la estadística ha demostrado que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre ambos periodos, como se observa en la tabla 19, debido a que se obtuvo un valor $p = 0.763$, siendo mayor al nivel de significancia de 0.05 (Anexo 21). En ese sentido, por los valores obtenidos de PSI en los suelos agrícolas, indica que en el periodo lluvioso no han disminuido significativamente los valores de PSI con respecto a los valores de PSI que presentaron en el periodo seco. De tal modo, indica que el sodio intercambiable al estar en el complejo del suelo, el cual no es soluble, solo puede ser intercambiado mediante un intercambio catiónico y no puede ser removido con facilidad como se da en la parte soluble del suelo. No obstante, la variación de su concentración del sodio dependerá de los valores de calcio y magnesio que puedan estar presentes en estos suelos agrícolas en el distrito de Pisac.

Figura 37

a) Valores individuales de PSI en ambos periodos del suelo, b) Representación de caja de PSI en ambos periodos del suelo.



En la figura 37 a) se evidencia como se encuentran los valores individuales de cada muestra, en la que se observa que los valores se encontraron menos dispersos y no se repitieron en el periodo seco, encontrándose la mayoría de los datos en un porcentaje de PSI de 0.76 a 1.2 %, mientras que en el periodo lluvioso la mayoría de los valores se encontraron en un porcentaje de

pH de 0.74 a 1.3 %, siendo más dispersos, como se muestra en la figura 37 b). Asimismo, de acuerdo al valor $p = 0.763$, que se ha obtenido en el PSI de los suelos, se puede evidenciar que sus medias en ambos periodos, como se muestra en la figura 37 a) y b), no muestran una diferencia significativa, teniendo relación con el valor p obtenido, ya que se ha encontrado por encima del nivel de significancia estadísticamente.

3.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y QUÍMICOS DE LAS AGUAS DE RIEGO

En la tabla 20 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos en el agua de regadío del distrito de Pisac en el periodo seco y lluvioso, los cuales son necesarios para determinar el efecto que están generando respecto a la salinidad y sodicidad en los suelos.

Tabla 20

Parámetros fisicoquímicos y químicos de las aguas para riego (seco y lluvioso).

Periodo	Unidad	Resultados de las muestras del agua de regadío				
Conductividad Eléctrica						
	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	$\mu\text{S/cm}$	460 ± 2.12	381 ± 2.44	387 ± 1.73	361 ± 3.31	461 ± 2.44
Lluvioso	$\mu\text{S/cm}$	365 ± 0.00	321 ± 1.73	329 ± 0.00	324 ± 1.73	300 ± 2.12
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	$\mu\text{S/cm}$	369 ± 5.29	376 ± 2.00	462 ± 2.64	473 ± 3.60	486 ± 1.22
Lluvioso	$\mu\text{S/cm}$	309 ± 1.73	307 ± 1.73	292 ± 0.00	287 ± 2.12	285 ± 0.00
pH						
	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	-	8.4 ± 0.17	7.6 ± 0.26	7.6 ± 0.17	7.8 ± 0.10	7.9 ± 0.26
Lluvioso	-	7.5 ± 0.10	7.3 ± 0.10	7.4 ± 0.17	7.5 ± 0.26	7.2 ± 0.21
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	-	7.7 ± 0.26	8.2 ± 0.32	8.3 ± 0.26	8.2 ± 0.17	8.0 ± 0.21
Lluvioso	-	7.1 ± 0.17	7.2 ± 0.10	7.4 ± 0.10	7.3 ± 0.26	6.8 ± 0.10

Dureza total (CaCO₃)						
ID		A1	A2	A3	A4	A5
Seco	mg/L	230 ± 5.00	185 ± 10.00	180 ± 8.66	175 ± 13.2	170 ± 8.66
Lluvioso	mg/L	180 ± 8.66	165 ± 5.00	170 ± 5.00	155 ± 8.66	150 ± 5.00
ID		A6	A7	A8	A9	A10
Seco	mg/L	165 ± 5.00	215 ± 5.00	220 ± 10.00	210 ± 5.00	200 ± 8.66
Lluvioso	mg/L	145 ± 5.00	150 ± 10.00	175 ± 5.00	175 ± 5.00	110 ± 5.00
Alcalinidad (HCO₃⁻)						
ID		A1	A2	A3	A4	A5
Seco	mg/L	221 ± 7.51	174 ± 7.51	167 ± 12.5	187 ± 6.51	174 ± 12.5
Lluvioso	mg/L	165 ± 0.00	151 ± 7.51	156 ± 7.51	165 ± 0.00	147 ± 12.5
ID		A6	A7	A8	A9	A10
Seco	mg/L	167 ± 7.00	214 ± 7.51	201 ± 6.00	201 ± 6.00	194 ± 8.00
Lluvioso	mg/L	146 ± 0.00	147 ± 6.51	162 ± 6.00	162 ± 0.00	93.0 ± 6.00
Cloruros (Cl⁻)						
ID		A1	A2	A3	A4	A5
Seco	mg/L	33.5 ± 3.0	31.9 ± 6.0	32.8 ± 0.77	28.4 ± 2.0	33.5 ± 3.0
Lluvioso	mg/L	25.8 ± 3.0	22.0 ± 0.0	21.2 ± 0.0	22.0 ± 2.0	18.0 ± 3.0
ID		A6	A7	A8	A9	A10
Seco	mg/L	28.8 ± 6.0	29.8 ± 1.0	33.5 ± 3.67	34.2 ± 2.0	35.5 ± 2.0
Lluvioso	mg/L	19.2 ± 0.0	19.2 ± 1.0	17.6 ± 0.0	16.8 ± 2.0	16.8 ± 0.0
Sulfatos (SO₄⁼)						
ID		A1	A2	A3	A4	A5
Seco	mg/L	47 ± 0.43	40 ± 15.16	42 ± 15.92	21 ± 11.75	31 ± 5.19
Lluvioso	mg/L	43 ± 0.43	39 ± 0.43	40 ± 5.19	19 ± 5.19	28 ± 0.43
ID		A6	A7	A8	A9	A10
Seco	mg/L	27 ± 5.19	37 ± 0.70	43 ± 5.07	43 ± 8.24	39 ± 10.50
Lluvioso	mg/L	24 ± 0.43	28 ± 5.19	40 ± 0.70	40 ± 0.70	31 ± 0.70
Acidez (CO₂)						
ID		A1	A2	A3	A4	A5
Seco	mg/L	0.00 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	0.00 ± 0.0	0.00 ± 0.0
Lluvioso	mg/L	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0

	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	mg/L	10.0 ± 0.0	0.00 ± 0.0	0.00 ± 0.0	0.00 ± 0.0	0.00 ± 0.0
Lluvioso	mg/L	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0
Fosfatos (PO₄³⁻)						
	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	mg/L	5.86 ± 0.0	5.58 ± 0.0	5.19 ± 0.1	5.38 ± 0.02	5.10 ± 0.3
Lluvioso	mg/L	1.52 ± 0.02	1.81 ± 0.0	2.00 ± 0.02	1.62 ± 0.02	1.72 ± 0.3
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	mg/L	4.14 ± 0.1	3.17 ± 0.3	5.10 ± 0.0	2.98 ± 0.0	5.48 ± 0.02
Lluvioso	mg/L	1.52 ± 0.1	1.91 ± 0.0	1.72 ± 0.0	1.33 ± 0.0	2.50 ± 0.1
Ca²⁺						
	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	meq/L	3.80 ± 0.10	3.40 ± 0.20	3.20 ± 0.26	3.20 ± 0.17	3.10 ± 0.35
Lluvioso	meq/L	3.00 ± 0.10	3.00 ± 0.00	3.20 ± 0.20	2.80 ± 0.00	2.80 ± 0.10
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	meq/L	2.90 ± 0.20	3.20 ± 0.15	3.80 ± 0.10	3.40 ± 0.10	3.00 ± 0.00
Lluvioso	meq/L	2.80 ± 0.10	2.80 ± 0.10	3.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	1.60 ± 0.10
Mg²⁺						
	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	meq/L	0.80 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.40 ± 0.10	0.30 ± 0.26	0.30 ± 0.21
Lluvioso	meq/L	0.60 ± 0.10	0.30 ± 0.00	0.20 ± 0.10	0.30 ± 0.10	0.20 ± 0.10
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	meq/L	0.40 ± 0.10	1.10 ± 0.12	0.60 ± 0.10	0.80 ± 0.10	1.00 ± 0.17
Lluvioso	meq/L	0.10 ± 0.10	0.20 ± 0.10	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.00	0.60 ± 0.00
K⁺						
	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	meq/L	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Lluvioso	meq/L	0.07 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.00
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	meq/L	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.02	0.10 ± 0.00
Lluvioso	meq/L	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Na⁺						

	ID	A1	A2	A3	A4	A5
Seco	meq/L	0.84 ± 0.06	0.81 ± 0.15	0.83 ± 0.00	0.72 ± 0.05	0.85 ± 0.07
Lluvioso	meq/L	0.48 ± 0.07	0.53 ± 0.0	0.58 ± 0.00	0.55 ± 0.05	0.50 ± 0.15
	ID	A6	A7	A8	A9	A10
Seco	meq/L	0.73 ± 0.16	0.75 ± 0.02	0.85 ± 0.07	0.86 ± 0.06	0.87 ± 0.06
Lluvioso	meq/L	0.48 ± 0.07	0.48 ± 0.05	0.49 ± 0.00	0.47 ± 0.15	0.47 ± 0.00

En la tabla 20, se muestran los resultados obtenidos de cada parámetro fisicoquímico analizado en el agua de regadío. Se ha observado que la concentración de cada parámetro analizado en el periodo lluvioso ha mostrado una disminución considerable de sus concentraciones con respecto a los valores obtenidos en el periodo seco, indicando que las precipitaciones es un factor que sí incide considerablemente sobre la concentración de sus constituyentes. De igual forma, en la tabla 20, se muestran las desviaciones estándar que se han calculado en el análisis de cada parámetro, el cual indica que los valores que se han obtenido en las 3 repeticiones de cada análisis, no se encontraron muy dispersos en el agua de regadío.

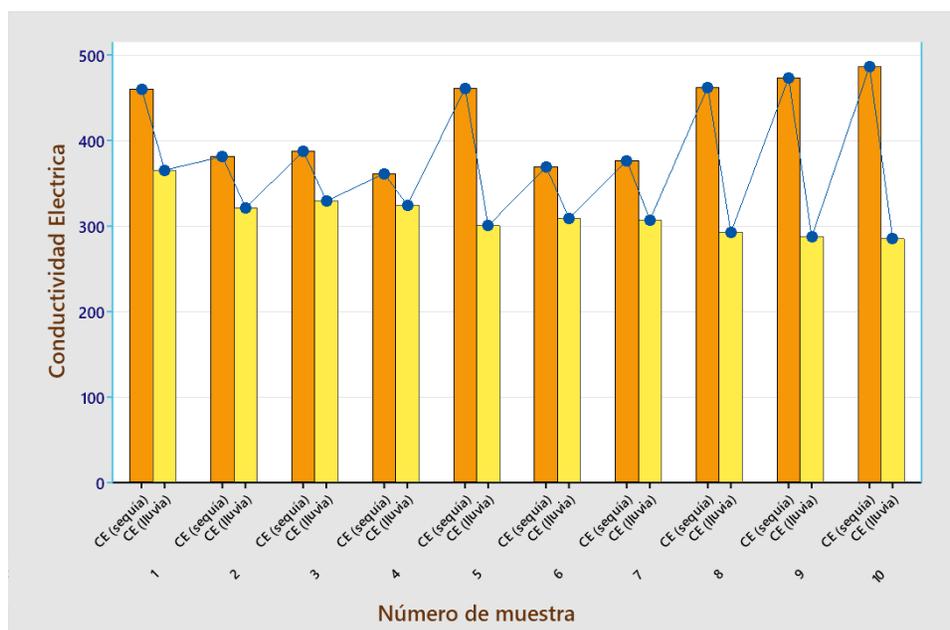
Por otra parte, para poder conocer la incidencia del agua de regadío sobre la salinización de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, es necesario determinar si estas aguas son aptas para riego. Para ello, se comparará mediante valores establecidos por el ECA. Asimismo, mediante los criterios de Richards (1954) y Ayers and Westcot (1985), según la CE y RAS, determinaremos si el agua de regadío que utilizan, puede generar riesgos respecto a la salinidad y sodio sobre estos suelos agrícolas. Por lo tanto, a continuación, se muestra la comparación de ambos periodos con respecto a sus concentraciones, así como los resultados y discusión de cada parámetro fisicoquímico analizado de acuerdo al ECA según el DS N° 004-2017-MINAM, tomando en consideración la categoría 3 (aguas de riego y vegetales).

3.2.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica ha mostrado un descenso de su concentración en el periodo lluvioso con respecto al periodo seco (figura 38). Podemos afirmar ello, puesto que las sales como los cloruros, sulfatos, alcalinidad y demás sales, disminuyeron en sus concentraciones. Este descenso de la concentración de los iones, estaría atribuido a la mayor disolución que generan las precipitaciones, debido a que en el periodo lluvioso el agua de regadío se mezcla con la lluvia, provocando un mayor caudal, así como un lavado; por ende, una mayor dilución de los iones en el agua. Por otra parte, el agua que utilizan para regadío antes de entrar a las canaletas ha presentado mayor conductividad (A1), la cual ha ido aumentando y disminuyendo en el recorrido de su cauce por factores ambientales, evidenciándose una mayor variación en el periodo seco.

Figura 38

Comparación de la CE en ambos periodos en el agua de regadío.

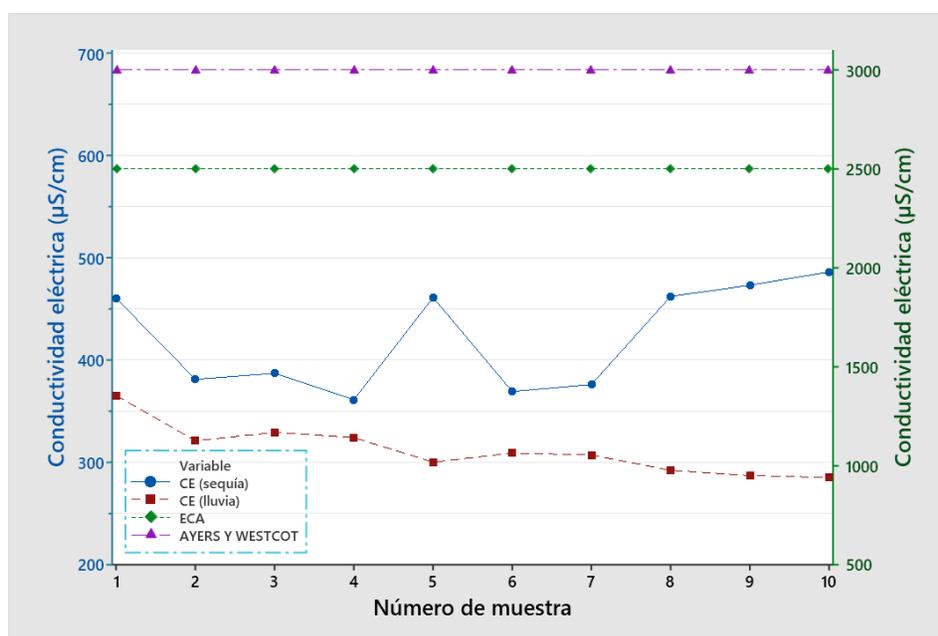


La CE es un parámetro primordial para calificar la calidad del agua para riego, así como la incidencia en la salinidad de los suelos. Al respecto, Ayers and Westcot (1985), citado por Medina

et al. (2016), han afirmado que una CE mayor a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ puede incidir en el crecimiento de varios sembríos. Asimismo, Medina et al. (2016) ha mencionado que aguas con valores de CE inferiores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ayudan a tener adecuados y buenos rendimientos agrícolas, mientras que Pérez et al. (2019) ha considerado que las aguas con valores de CE mayores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son aguas con riesgo de salinidad alta. Por otra parte, en su estudio Delgado (2021) ha reportado que aguas con valores entre 1010 y 1030 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE son aguas con riesgo de salinidad. Por otro lado, Aguirre (2016) ha afirmado que valores entre 130 a 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son valores inferiores a lo establecido por el ECA para agua de riego, siendo aguas sin restricción para regadío.

Figura 39

Comparación de la CE en ambos periodos con los ECA y criterios de Ayers y Westcot.



En tal sentido, de acuerdo a los resultados obtenidos en el agua de regadío del distrito de Pisac, la CE ha oscilado de 361 a 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el periodo seco y en el periodo lluvioso ha oscilado de 285 a 365 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose por debajo de los valores dados por el estándar de calidad ambiental (ECA) N° 004-2017-MINAM (categoría 3), para aguas de riego y vegetales; asimismo,

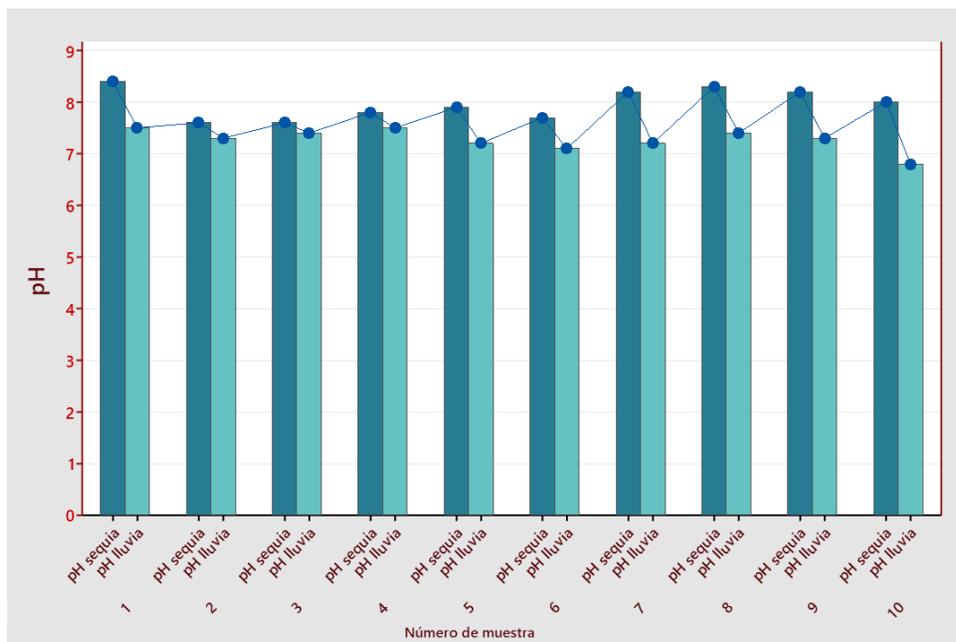
de acuerdo a los criterios de Ayers y Westcot estos valores de CE también se encuentran por debajo del valor límite, siendo de calidad para el riego (figura 39). En relación con el suelo, los valores obtenidos de CE indican que no afectarían o generarían problemas en un suelo agrícola, siendo adecuado su empleo en la agricultura (figura 39).

3.2.2 pH

El pH ha mostrado un ligero descenso en el periodo lluvioso, sin embargo, los resultados de pH en ambos periodos se mantuvieron en el rango de pH 6.5 - 8.5 (figura 40). Los resultados obtenidos de pH en periodo lluvioso estarían atribuidos a la influencia de las precipitaciones (lluvias) sobre el agua de regadío. Por otro lado, se ha evidenciado que el agua de regadío que utilizan en el distrito de Pisac, antes de ingresar a las canaletas, ha presentado un pH más alcalino (A1), disminuyendo su alcalinidad a medida que transcurre su cauce por múltiples factores ambientales.

Figura 40

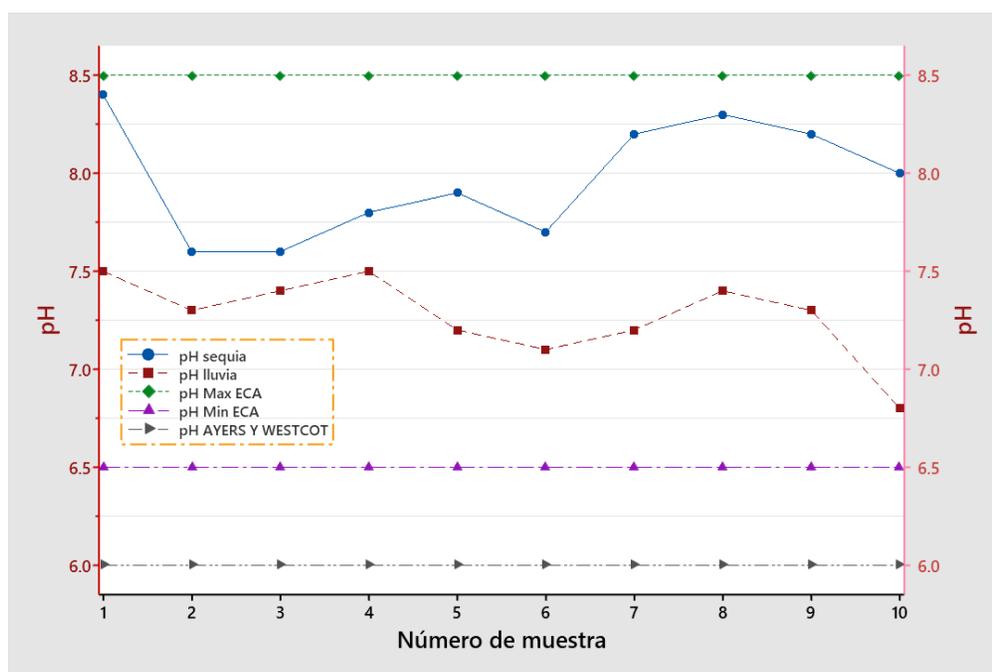
Comparación de pH en ambos periodos en el agua de regadío.



El pH, también es un parámetro primordial para calificar la calidad del agua para riego, el cual nos ayudará a conocer si son aguas ácidas o alcalinas. Al respecto, Pérez et al. (2019), en su estudio, ha reportado valores por encima de pH 8.6 en ciertas muestras, considerándolos como valores extremos de pH, el cual sobrepasa el límite permisible de pH 8.5. Por otra parte, Delgado (2021) ha considerado que un pH entre 7.86 y 8.51 son aguas ligeramente alcalinas, donde Aguirre (2016) ha mencionado que el pH óptimo para un agua de riego es de (pH 6.5-8.5) según el ECA, indicando que, es una agua apta para su uso en el riego. Al respecto, Huamaní (2018) ha considerado que valores de pH mayores a pH 8, son valores con tendencia a la alcalinidad, estando entre ligeramente y moderadamente alcalinos.

Figura 41

Comparación del pH de ambos periodos con los ECA y criterios de Ayers y Westcot.



Por lo tanto, de acuerdo a los resultados de pH obtenidos en el agua de riego del distrito de Pisac en periodo seco y lluvioso, al tener un pH entre 7.6 a 8.4 y un pH entre 6.8 a 7.5 respectivamente, se mantuvieron inferiores al rango óptimo de pH dados por el estándar de calidad

ambiental (ECA) N° 004-2017-MINAM (categoría 3), para aguas de riego y vegetales; asimismo, de acuerdo a los criterios de Ayers y Westcot, estos valores de pH también se encuentran dentro del rango óptimo, siendo de calidad para el riego (figura 41). De tal modo que, el agua de regadío sería apta para riego, debido a que es un agua ligeramente alcalina, presentando una relación con los resultados altos obtenidos de alcalinidad; de igual forma, los resultados de acidez contrastaron los valores de pH. No obstante, por los valores de pH cercanos a 8.5 que se obtuvieron en el periodo seco, el agua que utilizan puede generar un aumento de pH en los suelos (figura 41).

3.2.3 Dureza total

Los resultados de la dureza total en el periodo seco presentaron mayor concentración respecto al periodo lluvioso (Anexo 16). Por otro lado, se ha evidenciado que el agua de regadío que utilizan, antes de ingresar a las canaletas, han presentado una dureza total más alta (A1), disminuyendo a medida que transcurre su cauce por múltiples factores ambientales. Al respecto, Huamaní (2018) ha considerado que valores mayores a 300 mg/L de CaCO_3 se les clasifica como aguas muy duras, mientras que valores mayores de 180 mg/L de CaCO_3 son clasificados como aguas duras. Con relación al suelo, Huamaní (2018) ha indicado que aguas con contenido alto de Ca^{2+} contrarrestan los efectos negativos del Na^+ , por lo que es recomendable emplear aguas duras en la recuperación de suelos sódicos para disminuir los problemas generados por el catión sodio. Sin embargo, en suelo duros y compactos no es recomendable el uso de aguas duras, ya que afectaría en la permeabilidad del suelo, limitando el adecuado desarrollo de las plantas. No obstante, aguas alcalinas y con alto contenido de Ca^{2+} y HCO_3^- se suele dar el precipitado CaCO_3 y más aún con un pH mayor a 7.5 con concentraciones mayores a 5 meq/L de HCO_3^- .

De tal modo, que por los valores que se han obtenido en el agua de regadío del distrito de Pisac, la dureza ha oscilado de 165 a 230 mg/L en el periodo seco y en el periodo lluvioso ha

oscilado de 110 a 180 mg/L en el periodo lluvioso. Por otra parte, el Ca^{2+} y Mg^{2+} se encontraron por debajo de los valores dados por el estándar de calidad ambiental (ECA) N° 004-2017-MINAM (categoría 3), para aguas de riego y vegetales (anexo 16). De modo que el agua que utilizan sería clasificada como blanda y dura en el periodo seco, siendo más blanda en periodos de lluvia. En relación al suelo, al ser aguas duras, están contribuyendo a contrarrestar los problemas que podría generar el catión sodio en los suelos agrícolas, de manera que en el complejo de intercambio existe mayor predominancia del catión calcio y magnesio, el cual ha sido evidenciado por los resultados obtenidos de calcio y magnesio intercambiables en los suelos agrícolas (Anexo 16).

3.2.4 Alcalinidad

Respecto a la alcalinidad, ha disminuido considerablemente su concentración de HCO_3^- en el periodo lluvioso con respecto al periodo seco (Anexo 16). De manera que, en el periodo seco, el agua que utilizan sería clasificada como un agua ligeramente alcalina. Asimismo, la muestra A1 ha presentado una mayor alcalinidad, la cual ha ido disminuyendo y variando su concentración a medida que avanzó por las canaletas, mostrando una relación con su pH y dureza total obtenida en la muestra A1. Al respecto, Aguirre (2016) ha considerado que valores de 30 mg/L a 90 mg/L de bicarbonatos, son valores normales por debajo de lo establecido por el ECA. En relación con el suelo, Huamaní (2018) ha indicado que una alta alcalinidad en aguas eleva el pH en el sustrato, afectando la solubilidad de ciertos nutrientes tales como el Fe, Zn y Mg. Además, indica que los ácidos más usados en aguas de riego para contrarrestar una alcalinidad son el ácido sulfúrico (H_2SO_4), fosfórico (H_3PO_4), nítrico (HNO_3), y cítrico ($\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$). Asimismo, Ojeda (2019) ha mencionado que los valores por encima de 70 mg/L de bicarbonatos, provocan un aumento de carbonatos en la superficie del suelo y la alcalinización, incidiendo en la fertilidad y productividad;

no obstante, tener niveles bajos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , tanto en suelos como en el agua de regadío, podrían acidificar un suelo.

En tal sentido, por los valores que se ha obtenido el agua de regadío, los HCO_3^- en el periodo seco y lluvioso ha oscilado de 167 y 221 mg/L y de 93 y 165 mg/L respectivamente, indicando que se mantienen por debajo del valor permisible, siendo de 370 mg/L de acuerdo a la categoría 3, para aguas de riego y vegetales dados por el estándar de calidad ambiental (ECA) N° 004-2017-MINAM (Anexo 16). Asimismo, de acuerdo a los criterios de Ayers y Westcot, el agua que utilizan presenta un grado de restricción de ligero a moderado, debido a que presentan valores de alcalinidad que pueden incidir de manera negativa en cultivos sensibles. En tal sentido, los valores obtenidos de alcalinidad afectarían los suelos, en el sentido de que elevarían el pH en los suelos, lo cual afectaría la solubilidad de ciertos nutrientes como el Fe, Zn y Mg, teniendo mayor énfasis en el periodo seco. Por otra parte, las concentraciones de alcalinidad que ha mostrado tener el agua de regadío, mantuvieron una relación con los valores de pH de los suelos, ya que estos mostraron valores con tendencia a la alcalinidad en el periodo seco. Además, una recomendación para neutralizar la alcalinidad sería aplicar ácidos en el agua de regadío, reduciendo los problemas de solubilidad de nutrientes en los suelos agrícolas.

3.2.5 Cloruros

Los cloruros, de acuerdo a los valores obtenidos, han presentado valores más altos en el periodo seco, mostrando una disminución considerable en el periodo lluvioso (Anexo 16). Al respecto, Aguirre (2016) ha afirmado que en periodos secos, se evidencia un mayor contenido de sales en el agua debido a que el caudal del agua es menor. Por otra parte, Huamaní (2018) ha mencionado que valores mayores a 80 mg/L de cloruros en el agua son debidos a los contaminantes

domésticos. Sin embargo, no presentan riesgo sobre los suelos debido a que no superan el valor establecido por el ECA que es de 500 mg/L para aguas de riego y vegetales.

En ese sentido, en el agua de regadío en el distrito de Pisac, al haber presentado una concentración de cloruros en el periodo seco que ha oscilado de 28.4 mg/L a 34.2 mg/L y en el periodo lluvioso que ha oscilado de 16.8 mg/L a 25.8 mg/L, se encuentran dentro del valor, siendo de 500 ppm de acuerdo a la categoría 3 para agua de riego y vegetales dados por el estándar de calidad ambiental (ECA) N° 004-2017-MINAM en ambos periodos, de tal modo que, sería de calidad para su uso en el riego. Por otra parte, de acuerdo a los criterios de Ayers y Westcot, el agua que utilizan no presenta ningún grado de restricción, por lo que no afectaría de manera negativa sobre el desarrollo de sus cultivos (anexo 16). Asimismo, los valores de cloruros que ha presentado el agua de regadío indicarían que no está habiendo contaminación de aguas domésticas.

3.2.6 Sulfatos

Con respecto a los sulfatos, en la tabla 21 se indican las correspondientes absorbancias que se han obtenido de cada solución estándar en la curva de calibración (absorbancias de cada muestra a partir de una dilución de 1:5) a una longitud de 420 nm para la determinación de sulfatos en el agua. En este caso, la curva de calibración obtenida de sulfatos que se muestra en la figura 42, ha sido realizada en unidades de mg/L de SO_4^{2-} , las cuales han sido tomadas en consideración para la determinación de su concentración.

Tabla 21

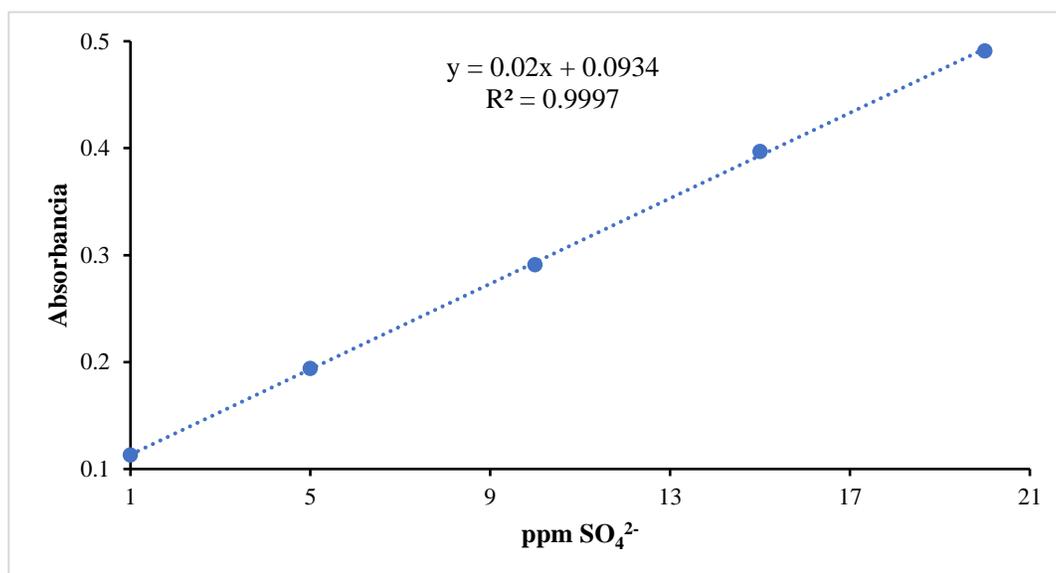
Patrones de calibración para la determinación de sulfatos.

Patrón SO_4^{2-} mg/L	Absorbancia 420 nm
1	0.113

5	0.194
10	0.291
15	0.397
20	0.491

Figura 42

Curva de calibración de sulfato para aguas, generada de una solución patrón intermedia de 50 mg/L mediante el método espectrofotométrico UV - Visible a 420 nm, con el software visión pro realizado el 22/04/24.

**Tabla 22**

Absorbancias del agua en la determinación de sulfatos.

Muestras de agua	Absorbancia 420nm	Absorbancia 420nm
	Seco	Lluvioso
Agua 1	0.281	0.265
Agua 2	0.253	0.249

Agua 3	0.261	0.253
Agua 4	0.177	0.169
Agua 5	0.217	0.205
Agua 6	0.201	0.189
Agua 7	0.241	0.205
Agua 8	0.265	0.253
Agua 9	0.267	0.253
Agua 10	0.249	0.217

Nota: Absorbancias obtenidas del agua en el periodo seco y lluvioso para sulfatos.

Cálculo:

La obtención de la concentración en ppm de sulfatos en el agua, ha sido obtenida por medio de la ecuación de la recta, dada por la curva de calibración; donde al resultado se le ha multiplicado por el factor de dilución de 1:5, que se ha realizado a cada muestra de agua.

De acuerdo a los valores obtenidos en el agua de regadío, los sulfatos en el periodo lluvioso han disminuido ligeramente en comparación con el periodo seco; no obstante, las concentraciones que presentaron se encontraron muy lejanas al valor permisible para aguas de riego y vegetales dado por la categoría 3 del ECA que es de 1000 mg/L en ambos periodos. Asimismo, según los criterios de Ayers y Westcot, el agua que utilizan se encuentra con concentraciones bajas de sulfatos, por lo que es un agua de calidad para riego (Anexo 16).

3.2.7 Fosfatos

Con respecto a los fosfatos en el agua de regadío, en la tabla 23 se indican las correspondientes absorbancias que se han obtenido de cada solución estándar en la curva de

calibración a una longitud de 760 nm para la determinación de los fosfatos en el agua. En este caso, la curva de calibración obtenida de los fosfatos como se muestra en la figura 43, ha sido realizada en unidades de mg/mL de PO_4^{3-} , las cuales han sido tomadas en consideración para la determinación de su concentración.

Tabla 23

Patrones de calibración para la determinación de fosfatos en el agua.

Patrón PO_4^{3-} mg/mL	Absorbancia 760nm
0.00125	0.084
0.0025	0.097
0.0075	0.142
0.015	0.202
0.025	0.338

Figura 43

Curva de calibración de fosfatos para aguas, generada de una solución patrón intermedia de 10 mg/L, mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 760 nm, con el software visión pro realizado el 12/04/24.

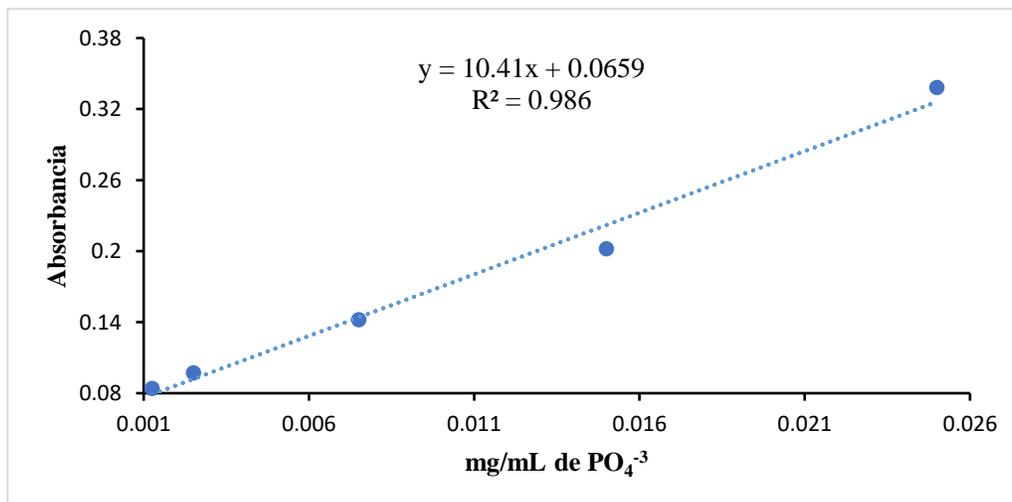


Tabla 24

Absorbancias del agua en la determinación de fosfatos.

Muestras de agua	Absorbancia 760nm	Absorbancia 760nm
	Seco	Lluvioso
Agua 1	0.127	0.050
Agua 2	0.124	0.047
Agua 3	0.120	0.045
Agua 4	0.122	0.049
Agua 5	0.119	0.048
Agua 6	0.109	0.050
Agua 7	0.099	0.046
Agua 8	0.119	0.048
Agua 9	0.097	0.052
Agua 10	0.123	0.092

Nota: Absorbancias obtenidas del agua en el periodo seco y lluvioso para fosfatos.

Cálculo:

Para la determinación de la concentración de fosfatos en el agua de regadío, se ha calculado cada muestra de agua en mg/mL, de acuerdo a la ecuación de la recta dada por la curva de calibración (figura 44) con sus respectivas absorbancias obtenidas en cada muestra, como se muestra en la tabla 24, el cual después de haber obtenido la concentración en mg/mL, se ha realizado la conversión a mg/L o ppm.

De acuerdo a ello, los fosfatos presentaron una disminución significativa de concentración en el periodo lluvioso; sin embargo, sus valores fueron relativamente altos para ser un agua de laguna teniendo mayor relevancia en el periodo seco (Anexo 16). Al respecto, Aguirre (2016) ha

indicado que valores de fosfatos mayores a 1 mg/L, son atribuidos al bajo caudal y a las aguas residuales domésticas, siendo perjudicial; debido a que provoca problemas de agotamiento de oxígeno por la acumulación de MO, incitando a la proliferación de algas. Por tanto, los valores altos de fosfatos, que ha oscilado de 2.98 a 5.86 mg/L en el periodo seco y de 1.33 a 2.5 mg/L en el periodo lluvioso, indican que se están dando vertimientos de productos de lavanderías, elevando su concentración significativamente, donde la lluvia está ayudando a disminuir las altas concentraciones de fosfato en el agua de regadío. En tal sentido, estos valores obtenidos de fosfatos según los criterios de Ayers y Westcot superan el valor máximo los valores obtenidos en el periodo seco (anexo 16).

3.2.8 Aptitud del agua para riego

Los valores de las absorbancias y la recta de calibración que se ha obtenido se muestran a continuación del potasio y sodio en el agua de regadío (figura 44 y 45, respectivamente), así como y sus absorbancias obtenidas para cada muestra de agua del periodo seco y lluvioso, del cual se ha determinado la aptitud del agua para riego según los valores de calcio, magnesio y sodio.

Potasio

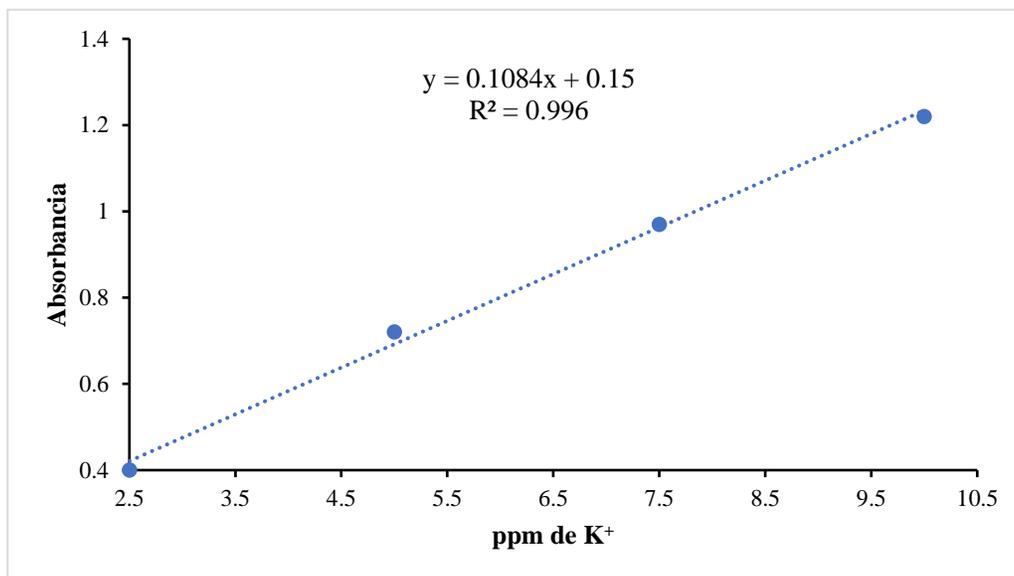
Tabla 25

Patrones de calibración para la determinación de potasio en el agua.

Patrón K⁺ mg/L	Absorbancia 650 nm
2.5	0.400
5	0.720
7.5	0.970
10	1.220

Figura 44

Curva de calibración de potasio para aguas, generada de una solución patrón intermedia de 50 mg/L mediante el método espectrofotométrico UV -Visible a 650 nm, con el software visión pro realizado el 26/04/24.

**Tabla 26**

Absorbancias del agua en la determinación de potasio.

Muestras de agua	Absorbancia 650 nm	Absorbancia 650 nm
	Seco	Lluvioso
Agua 1	0.549	0.457
Agua 2	0.530	0.416
Agua 3	0.527	0.396
Agua 4	0.485	0.411
Agua 5	0.536	0.368

Agua 6	0.493	0.381
Agua 7	0.505	0.382
Agua 8	0.550	0.357
Agua 9	0.557	0.351
Agua 10	0.576	0.350

Nota. Absorbancias obtenidas del agua en el periodo seco y lluvioso para potasio.

Cálculo:

Para la determinación de la concentración del catión potasio en el agua de regadío, se ha calculado cada muestra de agua en mg/L o ppm, de acuerdo a la ecuación de la recta dada por la curva de calibración con sus respectivas absorbancias obtenidas en cada muestra, como se observa en la tabla 26. Para la determinación del catión potasio en el agua no se ha realizado ninguna dilución.

Sodio

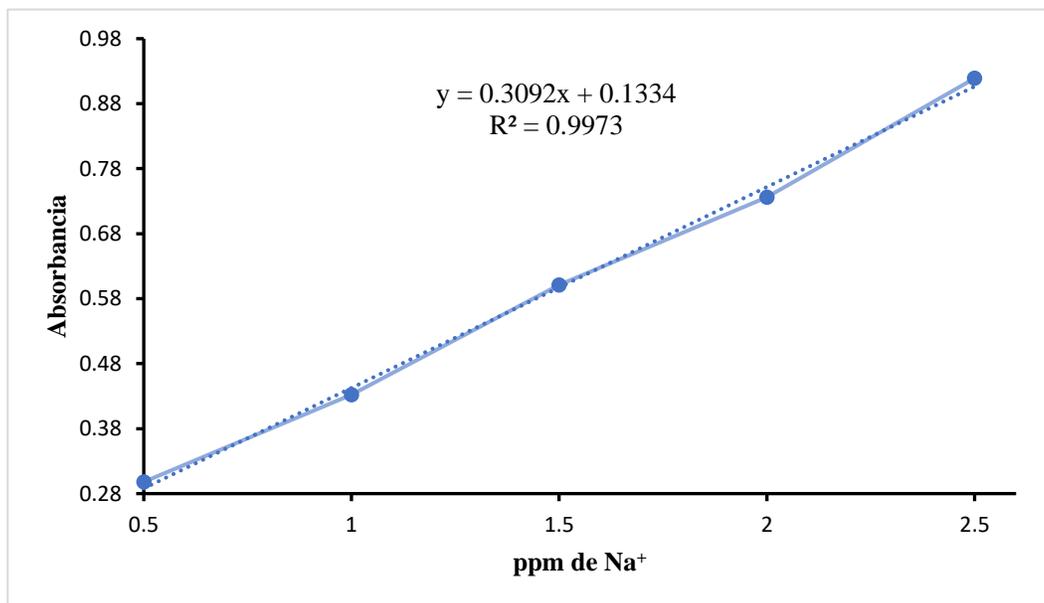
Tabla 27

Patrones de calibración para la determinación de sodio en el agua.

Patrón Na⁺ mg/L	Absorbancia 589 nm
0.5	0.298
1.0	0.432
1.5	0.601
2.0	0.736
2.5	0.919

Figura 45

Curva de calibración para sodio en aguas, generada de una solución patrón intermedia de 20 mg/L, mediante el método espectroscopia de absorción atómica a 589 nm, con el software Sistema SOLAAR AA realizado el 07/05/24.

**Tabla 28**

Absorbancias del agua en la determinación de sodio.

Muestras de agua	Absorbancia 589 nm	Absorbancia 589 nm
	Seco	Lluvioso
Agua 1	1.332	0.820
Agua 2	1.286	0.957
Agua 3	1.314	0.898
Agua 4	1.158	0.923
Agua 5	1.351	0.848

Agua 6	1.172	0.822
Agua 7	1.201	0.824
Agua 8	1.347	0.841
Agua 9	1.364	0.812
Agua 10	1.373	0.804

Nota. Absorbancias obtenidas del agua en el periodo seco y lluvioso para sodio.

Calculo:

Para la determinación de la concentración del catión sodio en el agua de regadío, se ha calculado cada muestra de agua en mg/L o ppm, de acuerdo a la ecuación de la recta dada por la curva de calibración (figura 45), con sus respectivas absorbancias obtenidas en cada muestra, como se muestra en la tabla 24, al cual se le ha multiplicado por el factor de dilución que ha sido de 1:5.

En la tabla 29 se muestran los valores de calcio, magnesio y sodio en unidades de meq/L, así como los valores de conductividad eléctrica en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$, las cuales han sido los parámetros que se han considerado para determinar la relación de adsorción de sodio (RAS) en el agua de regadío en el distrito de Pisac en el periodo seco y lluvioso de acuerdo a la fórmula dada por Richards.

Tabla 29

Cálculo del RAS y Clase del agua de regadío en ambos periodos.

Periodo	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	CE	RAS	RAS°
	meq/L	meq/L	meq/L	$\mu\text{S}/\text{cm}$	meq/L	meq/L
ID	A1					

Seco	3.80 ± 0.10	0.80 ± 0.00	0.84 ± 0.06	460 ± 2.12	0.56 ± 0.04	0.70 ± 0.07
Lluvioso	3.00 ± 0.10	0.60 ± 0.10	0.48 ± 0.07	365 ± 0.00	0.36 ± 0.05	0.40 ± 0.05
ID				A2		
Seco	3.40 ± 0.20	0.30 ± 0.00	0.81 ± 0.15	381 ± 2.44	0.59 ± 0.10	0.71 ± 0.13
Lluvioso	3.00 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.53 ± 0.0	321 ± 1.73	0.41 ± 0.00	0.47 ± 0.00
ID				A3		
Seco	3.20 ± 0.26	0.40 ± 0.10	0.83 ± 0.00	387 ± 1.73	0.62 ± 0.02	0.73 ± 0.02
Lluvioso	3.20 ± 0.20	0.20 ± 0.10	0.58 ± 0.00	329 ± 0.00	0.44 ± 0.01	0.52 ± 0.00
ID				A4		
Seco	3.20 ± 0.17	0.30 ± 0.26	0.72 ± 0.05	361 ± 3.31	0.54 ± 0.04	0.67 ± 0.06
Lluvioso	2.80 ± 0.00	0.30 ± 0.10	0.55 ± 0.05	324 ± 1.73	0.45 ± 0.02	0.53 ± 0.04
ID				A5		
Seco	3.10 ± 0.35	0.30 ± 0.21	0.85 ± 0.07	461 ± 2.44	0.65 ± 0.07	0.81 ± 0.07
Lluvioso	2.80 ± 0.10	0.20 ± 0.10	0.50 ± 0.15	300 ± 2.12	0.44 ± 0.08	0.45 ± 0.13
ID				A6		
Seco	2.90 ± 0.20	0.40 ± 0.10	0.73 ± 0.16	369 ± 5.29	0.57 ± 0.13	0.68 ± 0.14
Lluvioso	2.80 ± 0.10	0.10 ± 0.10	0.48 ± 0.07	309 ± 1.73	0.39 ± 0.05	0.44 ± 0.06
ID				A7		
Seco	3.20 ± 0.15	1.10 ± 0.12	0.75 ± 0.02	376 ± 2.00	0.51 ± 0.01	0.62 ± 0.03
Lluvioso	2.80 ± 0.10	0.20 ± 0.10	0.48 ± 0.05	307 ± 1.73	0.41 ± 0.02	0.43 ± 0.04
ID				A8		
Seco	3.80 ± 0.10	0.60 ± 0.10	0.85 ± 0.07	462 ± 2.64	0.57 ± 0.06	0.70 ± 0.07
Lluvioso	3.00 ± 0.00	0.50 ± 0.00	0.49 ± 0.00	292 ± 0.00	0.37 ± 0.00	0.42 ± 0.00
ID				A9		
Seco	3.40 ± 0.10	0.80 ± 0.10	0.86 ± 0.06	473 ± 3.60	0.60 ± 0.05	0.74 ± 0.07

Lluvioso 3.00 ± 0.00 0.50 ± 0.00 0.47 ± 0.15 287 ± 2.12 0.39 ± 0.07 0.40 ± 0.12

ID

A10

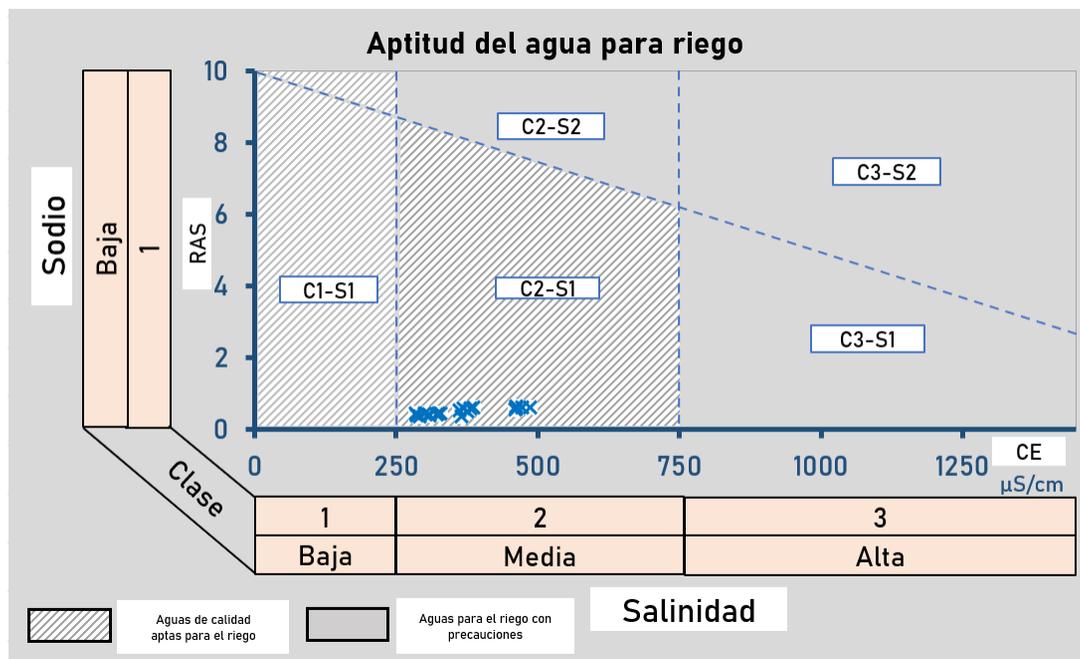
Seco 3.00 ± 0.00 1.00 ± 0.17 0.87 ± 0.06 486 ± 1.22 0.62 ± 0.04 0.72 ± 0.04

Lluvioso 1.60 ± 0.10 0.60 ± 0.00 0.47 ± 0.00 285 ± 0.00 0.44 ± 0.01 0.40 ± 0.01

A partir de los valores obtenidos de calcio, magnesio y sodio, así como los valores de la conductividad eléctrica (tabla 29), se ha determinado la calidad del agua de regadío en el distrito de Pisac de acuerdo al diagrama dado por las normas de Riverside, como se muestra en la figura 56. Por otra parte, en la tabla 29, también se muestran los resultados obtenidos del RAS° ajustado, el cual ha sido obtenido ajustando el valor de calcio mediante la tabla de corrección del valor de calcio dado por Ayers y Westcot, como se muestra en el anexo 17.

Figura 46

Clasificación del agua de regadío según la CE y RAS.



De acuerdo a la figura 46, el agua de regadío en el distrito de Pisac, al encontrarse sus valores dentro de la clasificación C2S1 en ambos periodos, indican que es un agua de calidad apta para riego. Al respecto, Delgado (2021) ha indicado que aguas con concentraciones de CE por encima de $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ son clasificadas como C3, siendo aguas con alto riesgo de salinidad donde debe tener cierta restricción para el riego de suelos agrícolas. Asimismo, valores de RAS de 3 meq/L están clasificadas como S1, siendo aguas con bajo riesgo de sodio por lo que no generarían problemas de permeabilidad en el suelo.

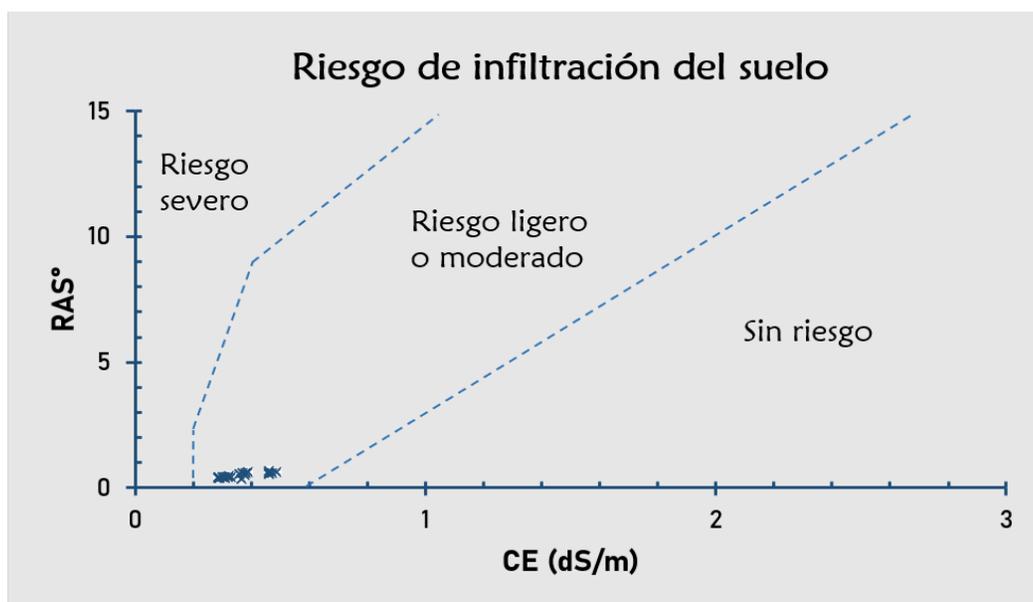
En tal sentido, según la clasificación salina C2 que ha presentado el agua de regadío en el distrito de Pisac, es un agua con salinidad moderada; de modo que puede ser usada en suelos con una buena permeabilidad; de lo contrario, su uso se restringe a cultivos muy sensibles a las sales. Según la clasificación sódica S1, el agua de regadío en el distrito de Pisac, sería un agua con bajo contenido de Na^+ , de modo que no habría peligro respecto al sodio en el suelo. Asimismo, se puede emplear en cualquier tipo de cultivos, que no sean muy sensibles, sin tener riesgo de niveles peligrosos de sodio intercambiable. Por otra parte, la clase C2S1 ha mostrado una relación con la salinidad y sodicidad en los suelos, ya que los suelos se encontraron como suelo no salino ni sódico, presentando porcentajes bajos de sodio intercambiable. Lo mencionado estaría dado por la buena permeabilidad que presentaron los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, debido a los altos porcentajes de arena que contienen.

Por otra parte, según los criterios de Ayers and Westcot (1985), el agua de regadío en el distrito de Pisac, ha presentado valores normales, siendo aguas de buena calidad. Sin embargo, ha presentado cierto grado de restricción para su empleo en la irrigación, por lo que podría reducir la aptitud de infiltración en el suelo considerando el RAS y CE, como se evidencia en la figura 47. Respecto al efecto tóxico de iones como el sodio y los cloruros, no existe ningún grado de

restricción para ningún tipo de cultivo; no obstante, con respecto a los bicarbonatos, si presentaron un ligero grado de restricción, afectando a cultivos sensibles (anexo 16). Este grado de restricción respecto a los bicarbonatos ha presentado relación con los resultados de pH de los suelos, debido a que están generando, en cierto modo, que estos suelos se alcalinicen. Por otro lado, en cuanto al riesgo de infiltración que pueden generar sobre estos suelos, el contenido alto de arena está ayudando a que no se dé en gran medida una disminución del ingreso del agua y aireación para las raíces de las plantas.

Figura 47

Clasificación del agua en base al riesgo de infiltración del suelo.



3.2.9 Relación de las aguas de riego y los suelos agrícolas

Los resultados de la salinidad y sodio del agua de riego del distrito de Pisac, así como la concentración de los iones analizados en este estudio, ha demostrado que está dando un aporte de concentraciones adecuadas de sales y del catión sodio sobre los suelos. Asimismo, los valores obtenidos de RAS tuvieron relación con los valores bajos de PSI en los suelos, mostrando que el

agua de regadío que utilizan no está contribuyendo con un aumento de sodio, siendo suelos no sódicos. De igual forma, la CE del agua de regadío ha demostrado que no está aportando sales de manera excesiva sobre los suelos, siendo suelos no salinos.

Por otro lado, la predominancia del Ca^{2+} y Mg^{2+} en la parte del intercambio de los suelos ha mostrado relación con el agua, debido a que, el agua de regadío ha presentado un alto contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} por ser un agua dura, teniendo mayor predominancia respecto al Na^+ . Sin embargo, el alto contenido de bicarbonatos en el agua, ha evidenciado un proceso de alcalinización sobre los suelos, por los resultados de pH cercanos a pH 8 en los suelos. La buena permeabilidad que presentaron estos suelos, se vería afectada por un exceso de la concentración de bicarbonatos en el agua, si se realiza un inadecuado manejo y drenaje, provocando una acumulación de sales en parte superficial, disminuyendo la permeabilidad, aumentando el pH, así como la precipitación de calcio como carbonato, aumentando el PSI en el suelo. De tal modo, que lo mencionado podría ser el caso de las muestras S7 Y S8 del suelo, ya que presentaron valores muy altos de CE, pH y PSI respecto a los demás suelos, lo cual hace suponer que por los pH cercanos a pH 8, se esté dando una abundancia de iones en la superficie, debido a la alcalinidad del agua, donde el calcio en cierta medida está precipitando como carbonato de calcio en la superficie del suelo. Este proceso se pudo evidenciar el día del muestreo en el periodo seco, en las muestras S7 y S8, debido a que en la superficie se han evidenciado costras blancas.

Por todo lo mencionado, los problemas reportados por los pobladores en el distrito de Pisac, de un inadecuado crecimiento de sus productos agrícolas, no están siendo generados por una salinidad ni sodicidad. De modo que estos problemas podrían ser atribuidos al bajo porcentaje de arcilla, materia orgánica (baja fertilidad), la baja retención de agua (clase textural) o simplemente se deban a otros factores del suelo que no han sido determinados. Así mismo, por las características

químicas que ha presentado el agua de regadío, es importante manejar adecuadamente el agua, así como darle un correcto drenaje, para que no genere un aumento de pH en el suelo y con ello disminuya la solubilidad de los nutrientes, de tal forma que pueda darse un correcto desarrollo y crecimiento de sus cultivos en los suelos agrícolas del distrito de Pisac. En ese sentido, el agua de regadío que utilizan sobre sus suelos agrícolas también es un factor que se debe considerar en los problemas que se están dando en sus cultivos.

3.2.10 Prueba estadística en el agua de regadío

En el agua de regadío también se ha aplicado la prueba estadística a los parámetros principales como la CE, pH y RAS, para conocer estadísticamente si existe una diferencia significativa de sus valores en ambos periodos. Para ello, de igual forma se ha utilizado el paquete estadístico Minitab, aplicando el método de T de student con dos colas (termino estadístico que indica que se ha determinado la diferencia de las muestras, para el lado izquierdo y derecho).

Tabla 30

Prueba T de student de la conductividad eléctrica en el agua de regadío.

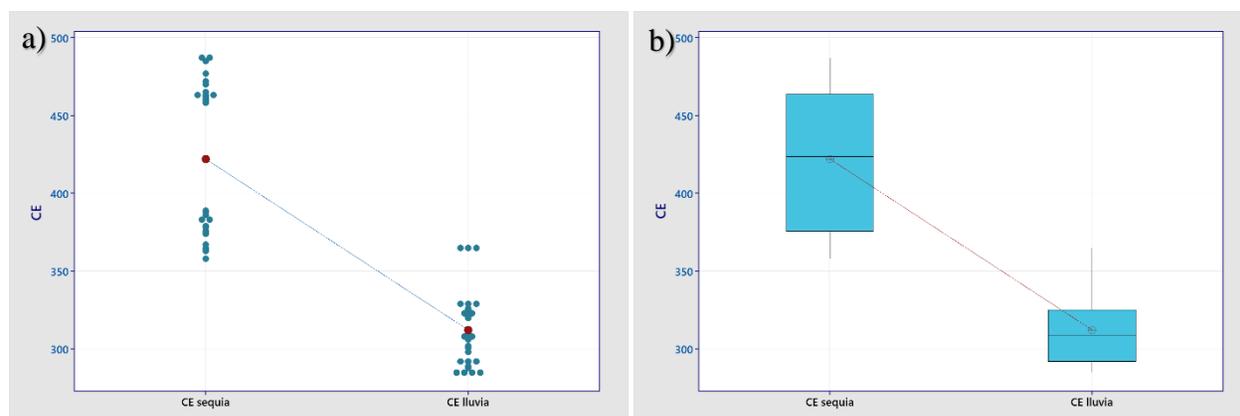
Prueba T de student					
Muestra	N° de datos	Media	Desviación estándar	Valor T	Valor p
CE seco	30	422	48.6	11.15	0.000
CE lluvioso	30	312	23.3	11.15	0.000

La conductividad eléctrica en el agua, mediante la prueba de T de student con dos colas (bilateral), ha demostrado que estadísticamente si existe una diferencia significativa entre el periodo seco y lluvioso, como se observa en la tabla 30, debido a que el valor $p = 0.000$, ha sido ser menor al valor de significancia de 0.05 (Anexo 21). De tal forma, que este valor indica que la acumulación de sales en el agua de regadío en el periodo lluvioso ha mostrado un descenso

significativo con respecto a la concentración de iones que ha presentado el agua en el periodo seco. En relación con el suelo, el agua de regadío en época de lluvia aportaría menores cantidades de sales, de modo que las precipitaciones inciden más fácilmente en las sales presentes en el agua, generando un lavado de los iones. Asimismo, el agua que utilizan para riego en periodos de lluvia no afectaría a cultivos sensibles a la salinidad.

Figura 48

a) Valores individuales de CE en ambos periodos en el agua de regadío, b) Representación de caja de CE en ambos periodos en el agua de regadío.



En la figura 48 a) se puede evidenciar como se encuentran distribuidos los valores individuales de cada muestra, donde se puede observar que la mayoría de los valores se encontraron en dos rangos diferentes en el periodo seco, mientras que el periodo lluvioso se encontró en un solo rango, estando menos dispersos. Asimismo, de acuerdo al valor $p = 0.000$, que se ha obtenido en la conductividad eléctrica del agua, en la figura 48 a) y b) se puede evidenciar que las medias de la conductividad eléctrica en el periodo seco y lluvioso, muestran una diferencia significativa, teniendo relación con el valor p obtenido, debido a que cuando el valor p es menor al nivel de significancia, siendo de 0.05, indica que las medias se encuentran muy lejanas entre sí, dando veracidad al valor p reportado por el programa estadístico Minitab.

Tabla 31

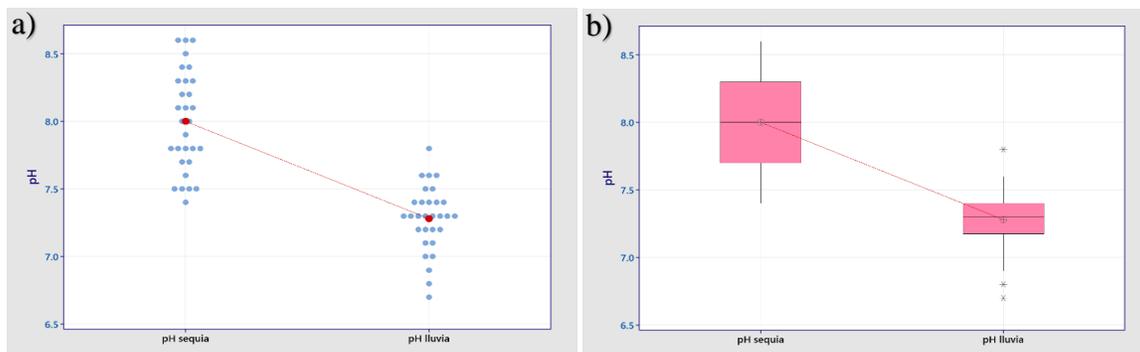
Prueba T de student del pH en el agua de regadío.

Prueba T de student					
Muestra	N° de datos	Media	Desviación estándar	Valor T	Valor p
pH seco	30	8.000	0.369	8.94	0.000
pH lluvioso	30	7.280	0.243	8.94	0.000

Respecto al pH, aplicando el método de T de student de dos colas ha demostrado que estadísticamente sí existe una diferencia significativa entre el periodo seco y lluvioso, como se observa en la tabla 31, debido a que el valor $p = 0.000$, estando por debajo del valor de significancia de 0.05 (Anexo 21). Por tanto, según el valor p obtenido, indica que el pH en el agua de regadío en el periodo lluvioso ha disminuido significativamente con respecto al pH que ha presentado el agua en el periodo seco. En relación con el suelo, el agua de regadío en época de lluvia está siendo incidida por la lluvia, disminuyendo la alcalinidad del agua y, con ello, la probabilidad de aumentar los valores de pH en los suelos agrícolas en el distrito de Pisac, ayudando a una mejor disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

Figura 49

a) Valores individuales de pH en ambos periodos en el agua de regadío, b) Representación de caja de pH en ambos periodos en el agua de regadío.



En la figura 49 a) se evidencia como se encuentran los valores individuales de cada muestra, en la que se observa que los valores se encuentran más dispersos en el periodo seco, encontrándose la mayoría de los datos en un rango de pH de 7.5 a 8.4, mientras que en el periodo lluvioso la mayoría de los valores se encontraron en un rango de pH de 7.0 a 7.6, siendo menos dispersos como se muestra en la figura 49 b). Asimismo, de acuerdo al valor $p = 0.000$, que se ha obtenido en el pH del agua, se puede evidenciar que sus medias en ambos periodos, como se muestra en la figura 49 a) y b), muestran una diferencia significativa, teniendo relación con el valor p obtenido, ya que se ha encontrado por debajo del nivel de significancia estadísticamente.

Tabla 32

Prueba T de student de la relación de adsorción de sodio en el agua de regadío.

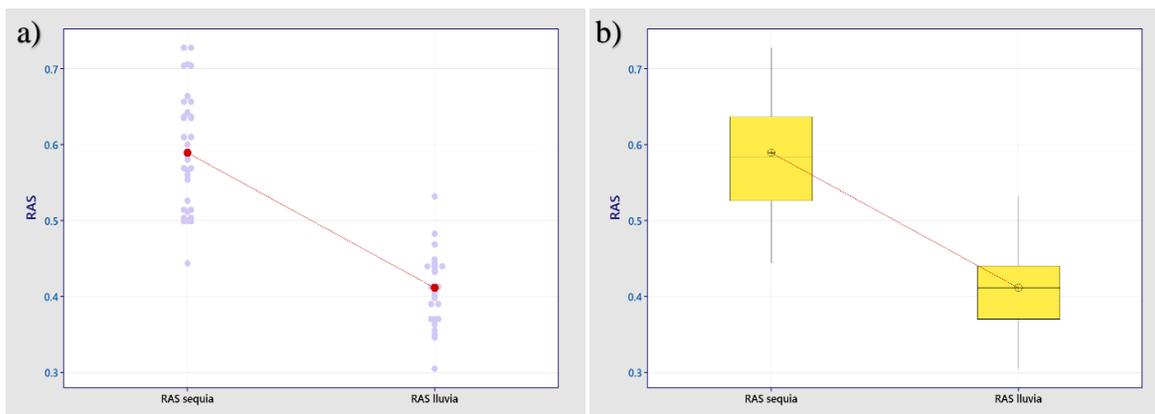
Prueba T de student					
Muestra	N° de datos	Media	Desviación estándar	Valor T	Valor p
RAS seco	30	0.5893	0.0711	11.91	0.000
RAS lluvioso	30	0.4113	0.0466	11.91	0.000

En cuanto al RAS, también se ha aplicado el método de T de student de dos colas, el cual ha demostrado que estadísticamente si existe una diferencia significativa entre el periodo seco y lluvioso, como se observa en la tabla 32, debido a que el valor $p = 0.000$ se ha encontrado por debajo del valor de significancia de 0.05 (Anexo 21). En ese sentido, según el valor p obtenido, indica que el RAS en el agua de regadío en el periodo lluvioso ha descendido significativamente con respecto a los resultados de RAS que presentó el agua en el periodo seco. En relación con el suelo, el agua de regadío en el periodo lluvioso aporta menores cantidades de sodio en relación al

Ca^{2+} y Mg^{2+} , disminuyendo las probabilidades de generar problemas respecto al sodio sobre los suelos agrícolas en el distrito de Pisac.

Figura 50

a) Valores individuales de RAS en ambos periodos en el agua de regadío, b) Representación de caja de RAS en ambos periodos en el agua de regadío.



En la figura 51 a) se evidencia como se encuentran los valores individuales de cada muestra de agua, en la que se observa que los valores se encuentran dispersos en el periodo seco, encontrándose la mayoría de los datos en un rango de RAS de 0.5 a 0.7, mientras que en el periodo lluvioso la mayoría de los valores se encontraron en un rango de RAS de 0.35 a 0.45, estando dispersos como se muestra en la figura 50 b). Asimismo, de acuerdo al valor $p = 0.000$, que se ha obtenido en el RAS del agua, se puede evidenciar que sus medias en ambos periodos, como se muestra en la figura 50 a) y b), muestran una diferencia significativa, teniendo relación con el valor p obtenido, ya que se ha encontrado por debajo del nivel de significancia estadísticamente.

CONCLUSIONES

1. Los suelos agrícolas en el distrito de Pisac se encuentran clasificados como suelos normales sin exceso de salinidad ni de sodio, de acuerdo a los valores obtenidos de CE, pH y PSI. No obstante, las muestras S7 y S8 evidenciaron tener una salinidad ligera, observándose una diferencia con respecto a las demás muestras. En ese sentido, los problemas reportados en cuanto al desarrollo y crecimiento óptimo de sus productos, están siendo generados por otros factores.
2. Los resultados fisicoquímicos y químicos en el agua de regadío como la CE, pH, calcio, magnesio, sodio, dureza total, alcalinidad, cloruros y sulfatos, se encontraron por debajo de los valores establecidos en los ECA categoría 3, siendo clasificada como agua de calidad para riego en ambos periodos.
3. El agua que utilizan en el distrito de Pisac para riego, por los valores bajos de CE y RAS, no están generando procesos de salinización, ni aumento de sodio en los suelos agrícolas. Sin embargo, al estar clasificada como C2S1 (salinidad moderada y bajo contenido de sodio) puede afectar a cultivos sensibles a la salinidad. De tal modo, que al ser el maíz el cultivo que siembran en el distrito de Pisac, puede provocar efectos negativos en su desarrollo, debido a que es un sembrío sensible a la salinidad.
4. El agua ha demostrado que está contribuyendo con un aporte adecuado de sales y sodio sobre los suelos agrícolas, por los valores de CE y PSI en el suelo. No obstante, manejar inadecuadamente el agua puede generar problemas de permeabilidad, efectos tóxicos, efectos osmóticos y aumento de pH en el suelo. Asimismo, los problemas reportados de anomalías en sus productos podrían deberse a la baja fertilidad, baja retención de agua y alcalinidad.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio más completo de estos suelos agrícolas como el análisis del macronutriente faltante (NO_3^-) y los micronutrientes como (B, Cu, Mn, Fe y Zn), la abundancia de cationes y aniones solubles en suelos, así como otros parámetros del suelo para conocer con más exactitud el factor o los factores que estén generando problemas en el crecimiento y desarrollo normal de sus sembríos en el distrito de Pisac.
2. Aplicar ácidos mediante inyecciones al agua de regadío tales como el ácido cítrico, ácido fosfórico, entre otros. Con el objetivo de contrarrestar y bajar los resultados altos de pH que presenta el agua de irrigación que utilizan sobre sus suelos en el distrito de Pisac; y con ello corregir la solubilidad de los nutrientes para las plantas.
3. Manejar una irrigación con frecuencia, pero con poca cantidad de agua, conservando así la humedad del suelo y de esta manera contrarrestar la baja aptitud de retención de agua, logrando mantener tanto el agua como los nutrientes más disponibles para las raíces de las plantas, evitando la acumulación de sales, aumento de alcalinidad y pH; tomando en consideración las características físicas y químicas que presentan estos suelos agrícolas en el distrito de Pisac.
4. Aportar abonos orgánicos o fertilizantes sobre estos suelos agrícolas, para ayudar a aumentar la fertilidad baja que muestran estos suelos agrícolas en el distrito de Pisac, mejorando con ello la aptitud de intercambio catiónico y contribuyendo a una productividad agrícola óptima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, B. M. T. (2016). *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cagra, región Lima*: Pontificia Universidad Católica del Perú-CENTRUM Católica (Peru).
<https://repositorio.concytec.gob.pe/server/api/core/bitstreams/ccb95bf8-c057-a36d-80ec-50430789aa25/content>
- American water Works Association, I. (1978). *Procedimiento Simplificado Para el Examen de Aguas* (2ª edición ed.). Washinton.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. (1987). La calidad del agua en la agricultura.
<https://www.sidalc.net/search/Record/unfao:843275/Description>
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29): Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Brady, N. C. (1984). *The nature and properties of soils* (Ninth edition ed.). New York. USA: Cornell University and United States Agency for International Development. Macmillan Publishing Company.
- Bueno, R. B., & Fernández, J. C. L. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito investigativo*, 4(1), 7-12.
- Cajas, E. S. C. (2018). Propiedades Químicas del Suelo.
- Camacho, R. C., & Baños, A. (2019). Impacto de la salinidad secundaria en los sistemas agrícolas. *CUBA TABACO*, 54.
- Campillo, N. S. (2012). Introducción al análisis volumétrico.
<https://www.um.es/documents/4874468/11830096/tema-4.pdf/0ef11661-8d05-43e3-8edb-10b8bc21351b>
- Can, Á. C., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., & Cruz-Crespo, E. (2014). Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(5), 77-96.

- Courel, G. F. (2019). Suelos salinos y sodicos. 1-9.
- Daliakopoulos, I., Tsanis, I., Koutroulis, A., Kourgialas, N., Varouchakis, A., Karatzas, G., & Ritsema, C. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the total environment*, 573, 727-739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
- Delgado, J. E., Bryan. (2021). *Análisis de la calidad de agua para riego en suelos agrícolas en la parroquia rural Colonche, provincia de Santa Elena*. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53424>
- Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., . . . Fiñana, I. T. (2010). Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Universidad de Córdoba*, 1-8.
- FAO. (2022). Propiedades Físicas del Suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Densidad%20del%20Suelo&text=La%20densidad%20real%2C%20de%20las,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65>.
- Fernández, L. C. L. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados* (9684890397). <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-ECOSUR:32944/Description>
- Fox, E. C. L. (2013). Evaluación de pérdida de suelo por salinización en la parte baja de la Cuenca del Jequetepeque: San Pedro de Lloc (1980-2003). <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4809>
- Gallart, F. M. (2018). *La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/94368>
- García, F. Z., Ruiz Coleto, F., Cano Rodríguez, J., Pérez García, J., & Molina de la Rosa, J. (2004). Suelo, riego, nutrición y medio ambiente del olivar. In: Viseconsejería Servicio

de Publicaciones y Divulgación.

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122599/records/64724d33e17b74d2224fbef5>

Gomez, F. A. (1958). *Sodio y potasio por fotometria de llama*: Pontificia Universidad Católica Javeriana.

Guerrero, J. M. L. (2019). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico por el método del formaldehído. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4116>

Guevara, J. A. P. (2018). Fundamentos para el estudio, identificación y determinación metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en el departamento del Valle del Cauca. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18030>

Guida, B. J. (2021). Restauración productiva de áreas irrigadas en zonas áridas: detección de sitios afectados por salinidad del suelo mediante sensores remotos. *Multequina*, 30(2), 181-198.

Huamaní, C. F. C. (2018). Determinación del efecto de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos en la desembocadura del canal de regadío de las Salinas Bajo-Chancay-Lima. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/572>

Jordán, A. (2005). Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla. In.

Laboratorio de Análisis Agrícolas. (2020). Presión osmótica en agua de riego y suelos. <https://www.fertibox.net/single-post/presion-osmotica#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20osm%C3%B3tica%20es%20un,membrana%20semipermeable%20ser%C3%ADan%20las%20ra%C3%ADces>.

Lamz, P. A., & González, C. M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales*, 34(4), 31-42.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362013000400005&script=sci_arttext&tlng=pt

- Leidi, E. O., & Pardo, J. M. (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino: qué hay de nuevo.
- Lizcano, R., Olivera, D., Saavedra, D., Machado, L., Rolando, E., Moreno, M., & Flórez, M. (2017). Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos. *Centro de Formación Agroindustrial La Angostura Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)*.
- López, W. B., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R., & García Santiago, J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 897-910.
- Martínez, F. S. O., & Pérez, I. d. I. A. E. (2009). *Calibración de un espectrofotómetro UV-Visible y Evaluación de la incertidumbre*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342019000400897&script=sci_arttext
- Medina, E. K. V., Mancilla Villa, O. R., Larios, M. M., Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., & Barreto García, O. A. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)*, 34(6), 51-59. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292016005000035&script=sci_arttext
- Monge, R. M. A. (2020). Interpretación de un análisis de agua para riego. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>
- Nishanthiny, S. C., Thushyanthy, M., Barathithasan, T., & Saravanan, S. (2010). Irrigation water quality based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. <http://drw.jfn.ac.lk/handle/123456789/113>
- Nochez, E. L. V. (2014). *Cuantificación, por fotometría de llama, de sodio y potasio en agua envasada en presentaciones de 600 y 500 mL y comercializadas en el Distrito dos de la zona metropolitana de San Salvador*. Universidad de El Salvador,
- O'Geen, A. (2018). Consejos sobre la sequía: Recuperar los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos.

https://www.researchgate.net/publication/323823646_Muestreo_de_Suelos_Tecnicas_de_Laboratorio_e_Interpretacion_de_Analisis_de_Suelos

- Ojeda, J. W. C. (2019). Calidad del agua de la irrigación canal n del río llallimayo y aptitud agrícola distrito Cupi-Melgar 2018. *Revista de Investigaciones de la Escuela de Posgrado de la UNA PUNO*, 8(2), 1069-1081.
- <https://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/1374>
- Otero, L. G., Valdes, M., Morales Díaz, M., Ortega Sastriques, F., Vázquez, I., & Delgado Calzadilla, Z. (2013). Modificación al método Schatchabell para la determinación de las bases intercambiables en suelos con salinidad. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 20-23.
- Pérez-López, E., & Rojas Alvarado, P. (2017). Implementación de un método para la determinación de sodio en soluciones parenterales por fotometría de llama. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 93-107. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822017000400093&script=sci_arttext
- Pérez, J. P. D., García, Y. B. D., Terrazas, L. M., Ramírez, C. A., & Ortega, H. M. E. (2013). Composición y caracterización química del suelo: indicadores de salinidad y sodicidad. .
- Pérez, J. P. D., Ortega, H. M. E., Ramírez Ayala, C. A., Flores, H. M., Sánchez, E. I. B., Can, Á. C., & Mancilla, O. R. V. (2019). Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en Valle del Mezquital, Hidalgo. *Acta universitaria*, 29.
- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662019000100170&script=sci_arttext
- Pinto, M. A. P. (2018). Calidad de agua superficial en el rio chili—en los sectores de Sachaca, Jacobo Hunter, Tiabaya y Uchumayo para uso de riego de vegetales y bebida de animales en la Provincia de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6160>
- Ponce, V. M. (2022). El problema de las sales en la irrigación.
- [http://ponce.sdsu.edu/el_problema_de_las_sales_en_la_irrigacion.html#:~:text=El%20origen%20de,sus%20superficies%20\(por%20adsorpci%C3%B3n\).](http://ponce.sdsu.edu/el_problema_de_las_sales_en_la_irrigacion.html#:~:text=El%20origen%20de,sus%20superficies%20(por%20adsorpci%C3%B3n).)

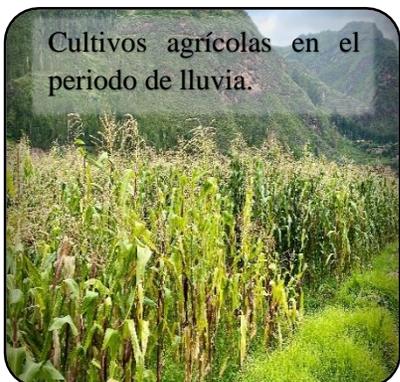
- Porta, J. C., & López, M. R. A. (2005). *Agenda de campo de suelos: Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*: Mundi-Prensa.
- Raj, H. G., da Silva Dias, N., & Feitosa de Laceda, C. (2016). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos basicos y aplicados. <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>
- Ramírez, P. P. O. (2017). Caracterización Físicoquímica Y Abundancia Microbiana De Suelos Agrícolas Con Baja Productividad En El Noreste De Guanajuato.
<http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/3710>
- Rashidi, M., & Seilsepour, M. (2011). Prediction of soil sodium adsorption ratio based on soil electrical conductivity. *Middle East Journal of Scientific Research*, 8(2), 379-383.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113287270>
- Rhoades, J., Kandiah, A., & Mashali, A. (1992). The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper 48. *FAO, Rome*, 133.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Handbook No.60.U. S. Salinity Laboratory Staff, USDA, Washington, DC.
- Rodier, J. (2011). *Análisis de aguas* (Omega Ed.). Barcelona.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. *Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay*.
- Rueda, J. M. T. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*, 5(1), 1539-1563.
- Salgado, J. A. T., Palacios, O. V., Galvis, A. S., Gavi, F. R., & Mejia, E. S. (2012). Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 79-95.

- Torres, F., & Rojas, A. (2018). El suelo agrícola en México: retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(3).
- Vitorino, B. F. (1988). *Manual de análisis de suelos* (3ra ed.). Cusco - Perú.
- Water, S. (s.f). Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad.
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf
- Zanor, G. A., López-Pérez, M. E., Martínez-Yáñez, R., Ramírez-Santoyo, L. F., Gutiérrez-Vargas, S., & León-Galván, M. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 19(4). <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.036>
- Zavaleta, A., & Edafología, A. (1992). El suelo en relación con la producción. *CONCYTEC. Lima, Perú*.(03).
- Zumbado, H. F. (2020). *Análisis químico de los alimentos: métodos clásicos*: Editorial Universitaria (Cuba).
- Zúñiga, O. E., Osorio Saravia, J. C., Cuero Guependo, R., & Peña Ospina, J. A. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, 64(1), 5769-5779.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472011000100003&script=sci_arttext

ANEXOS



Anexos 1. Zonas de muestreo del agua de regadío y proceso de muestreo.



Anexos 2. Zonas de muestreo de los suelos agrícolas y proceso de muestreo.



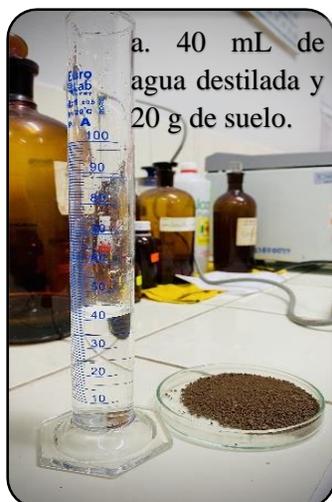
Anexos 3. Recepción de las muestras de suelos en el laboratorio de suelos de la Escuela Profesional de Química.



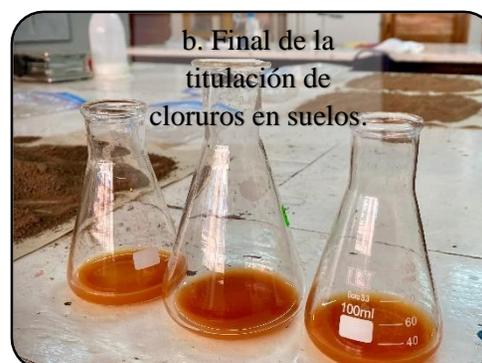
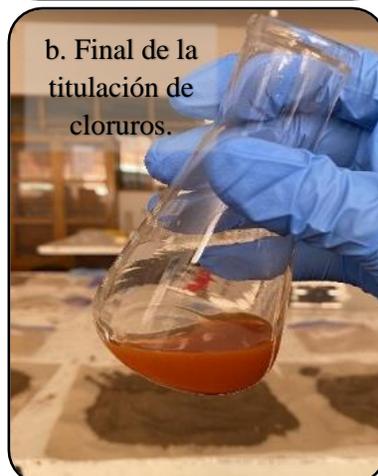
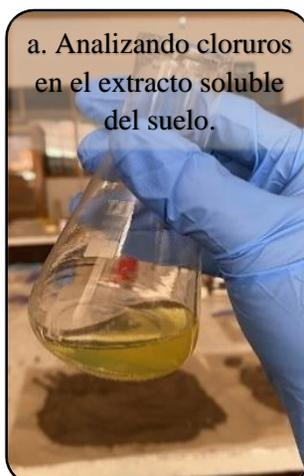
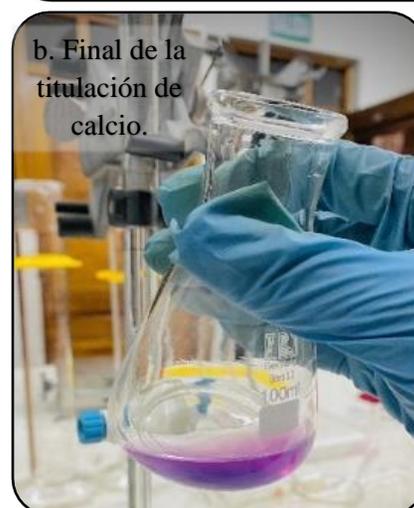
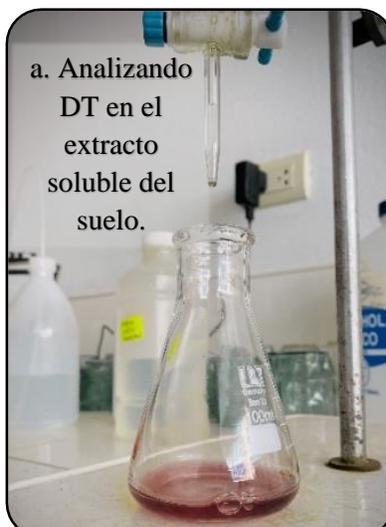
Anexos 4. Proceso del pretratamiento de los suelos agrícolas en el laboratorio de suelos.



Anexos 4. Procesos del análisis físico de los suelos agrícolas en el laboratorio de suelos.



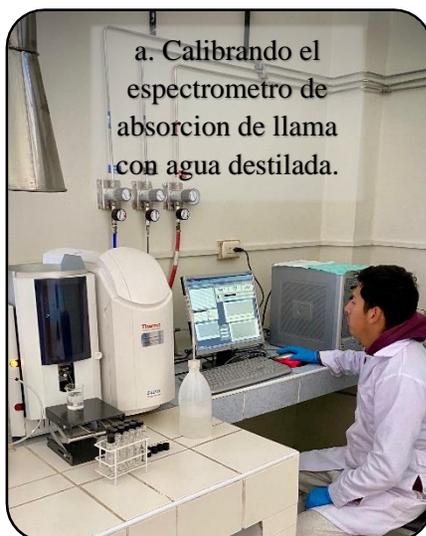
Anexos 5. Proceso de extracción de los iones solubles de los suelos agrícolas.



Anexos 6. Procesos de la determinación del análisis químico de los suelos agrícolas.



Anexos 7. Proceso de la extracción de cationes intercambiables de los suelos agrícolas.



Anexos 8. Proceso de la determinación de cationes intercambiables de los suelos agrícolas.



a. Midiendo
pH en el agua.



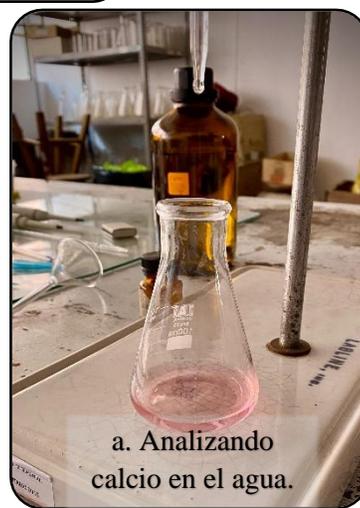
a. Midiendo
CE en el agua.



a. Analizando
DT en el agua.



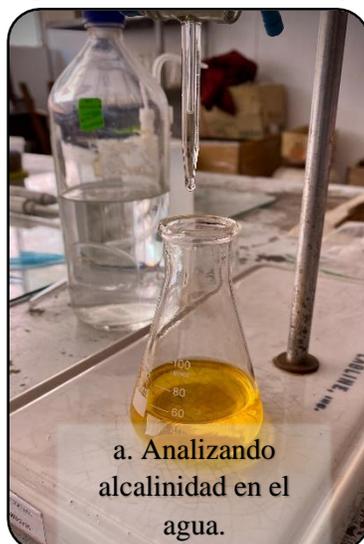
b. Final de la
titulación de DT.



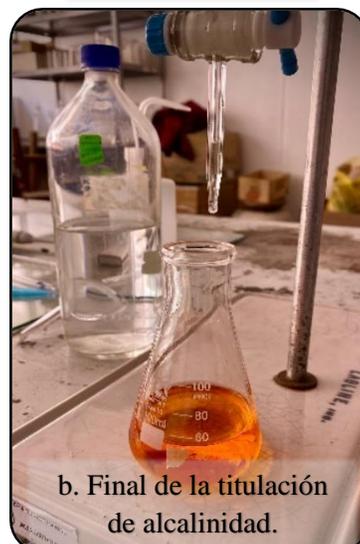
a. Analizando
calcio en el agua.



a. Analizando
cloruros en el agua.



a. Analizando
alcalinidad en el
agua.

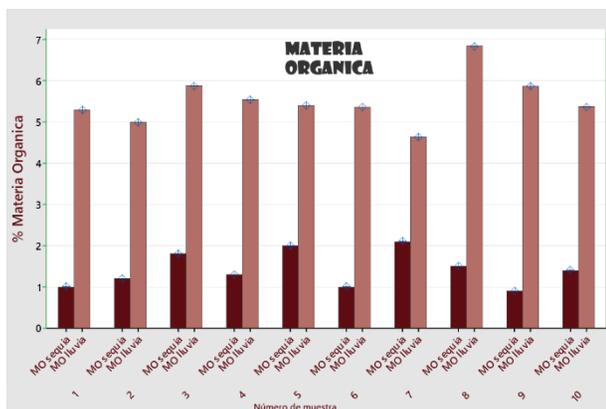
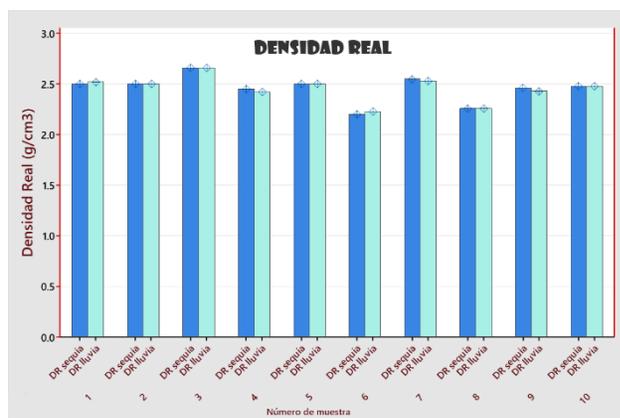
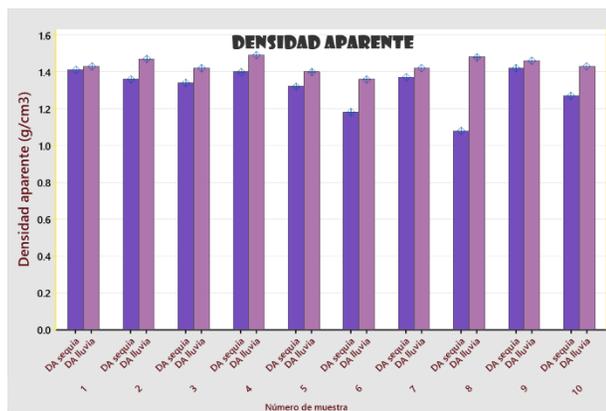
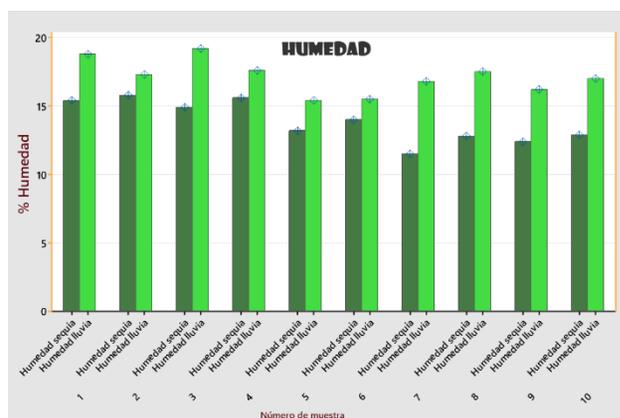


b. Final de la titulación
de alcalinidad.

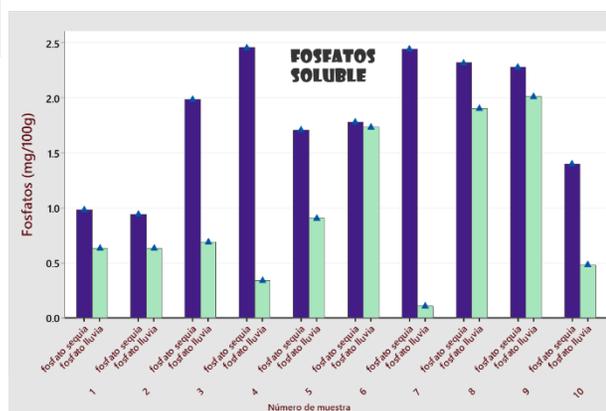
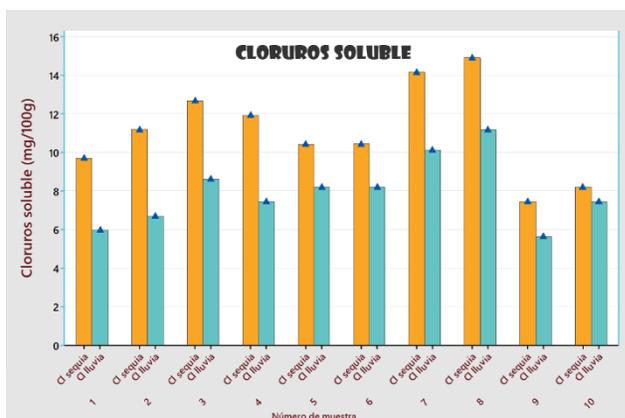
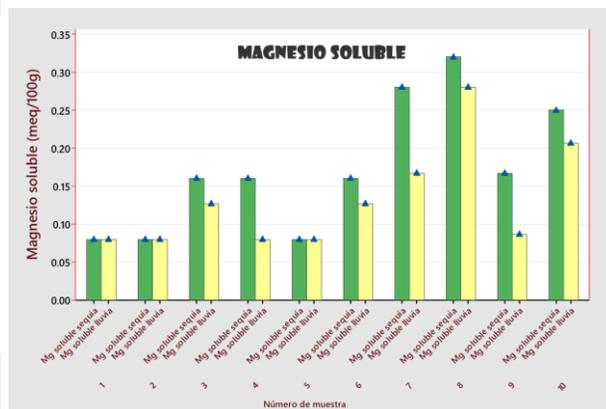
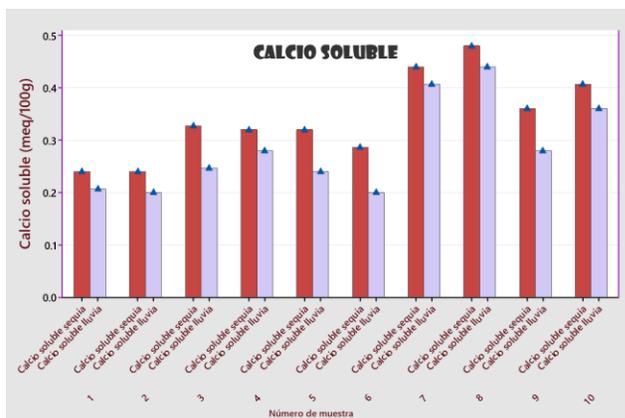
Anexo 9. Proceso de la determinación del análisis fisicoquímico del agua de regadío.



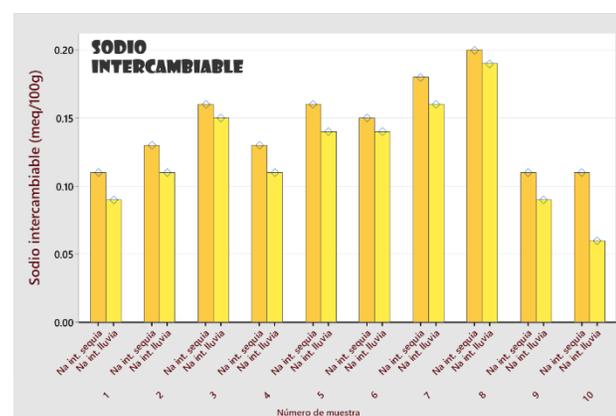
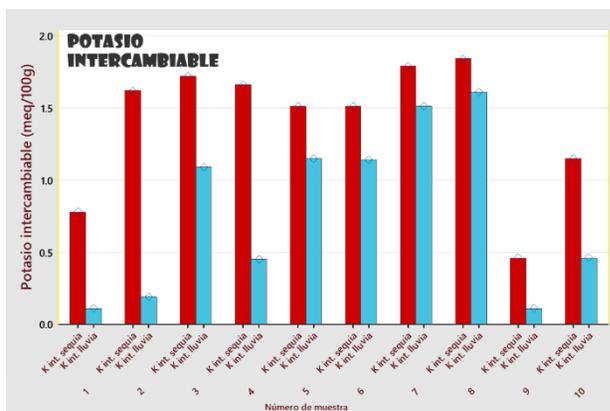
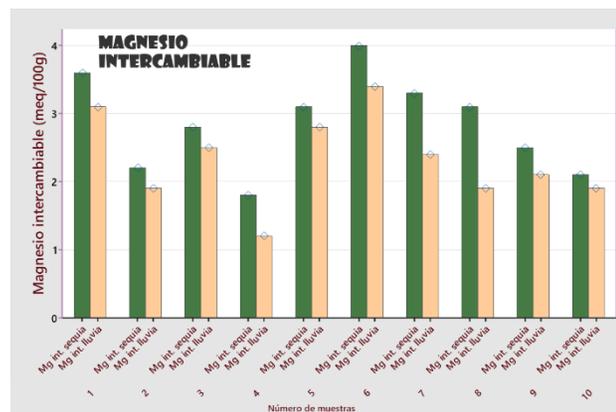
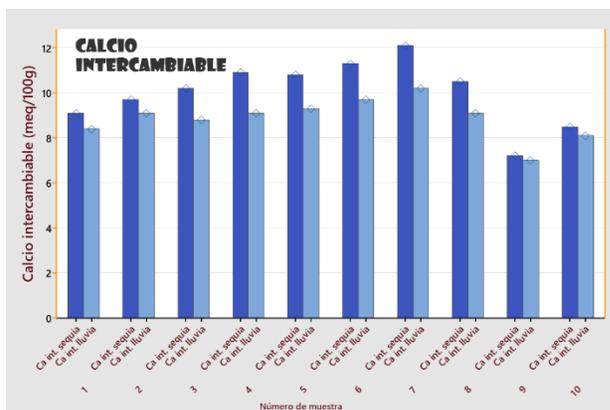
Anexo 10. Equipos e instrumentos que se utilizaron en la tesis en los análisis fisicoquímicos del agua de regadío y los suelos agrícolas.



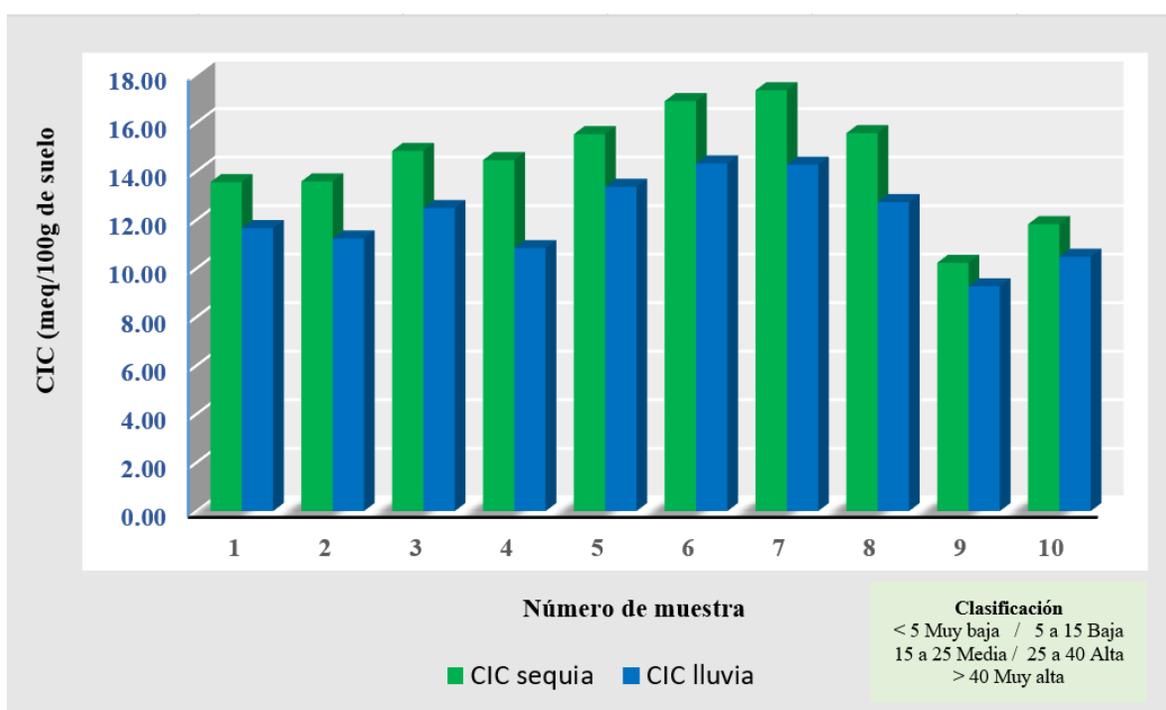
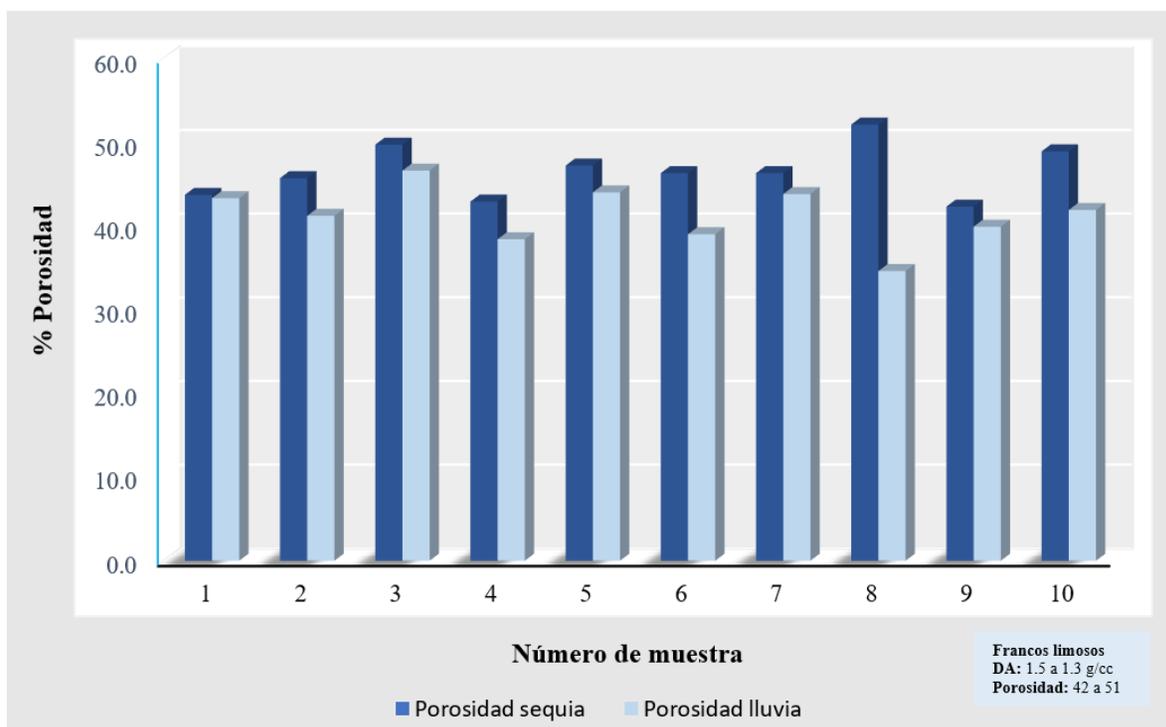
Anexo 11. Gráficos de comparación de humedad, DA, DR, MO de los suelos agrícolas en ambos periodos.



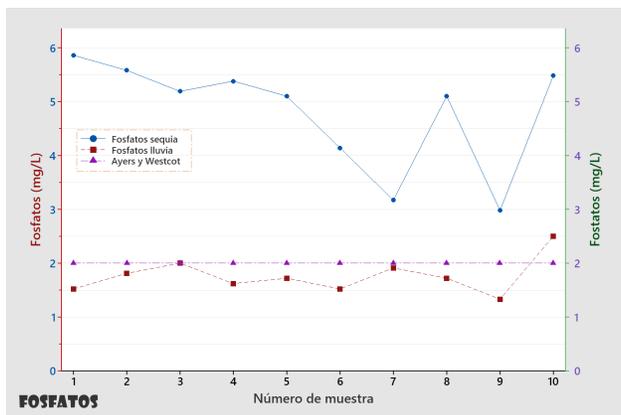
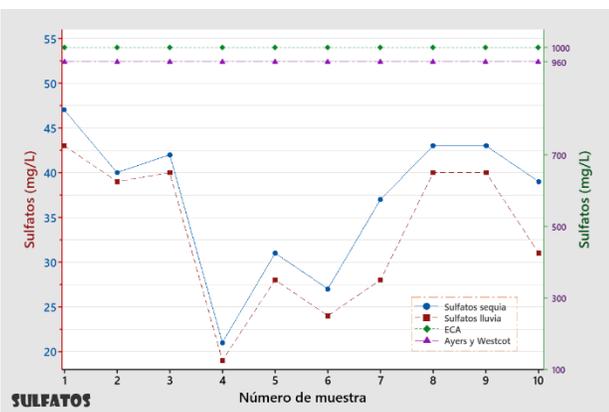
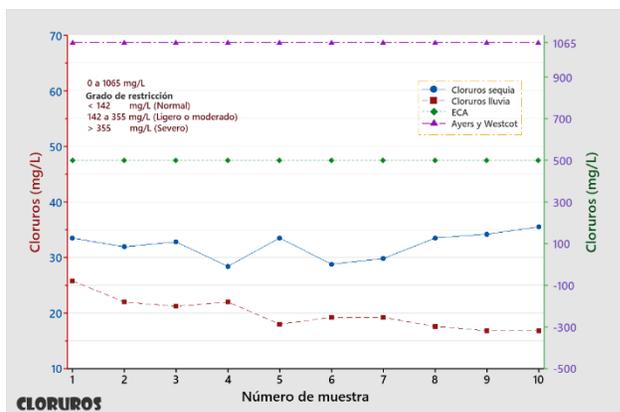
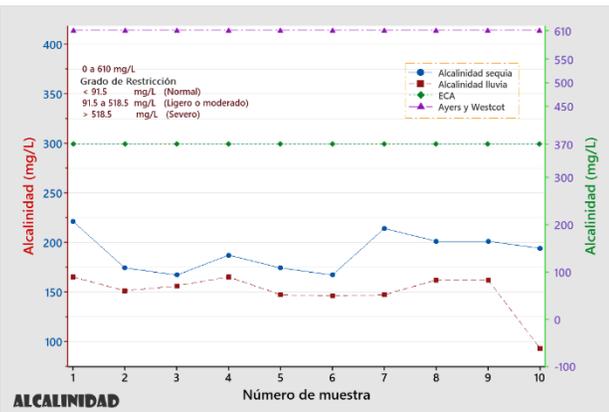
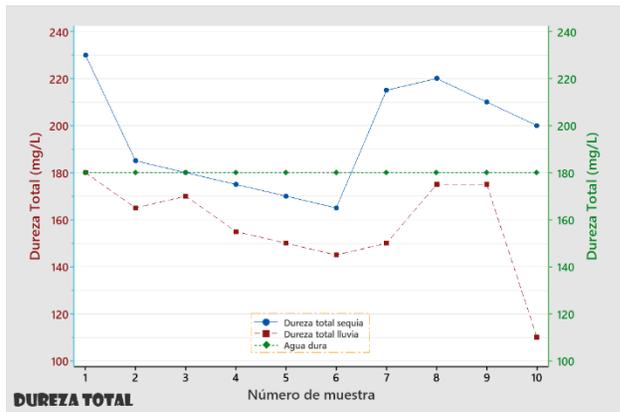
Anexo 12. Gráficos de comparación de calcio, magnesio, cloruros y fosfatos solubles de los suelos agrícolas en ambos periodos.

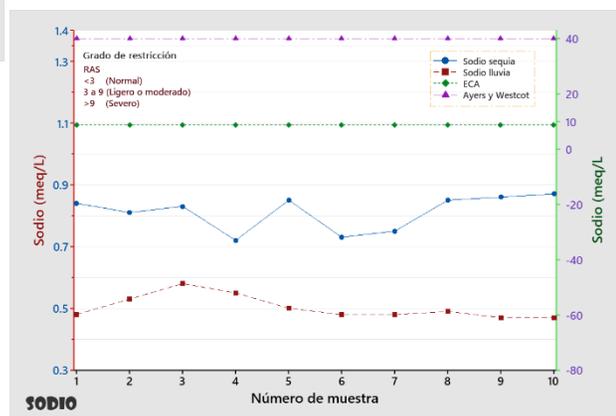
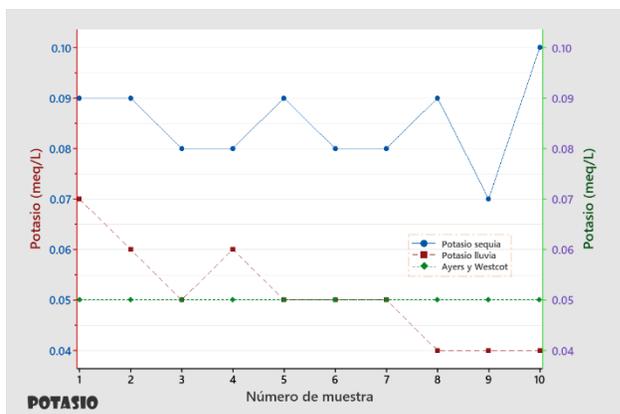
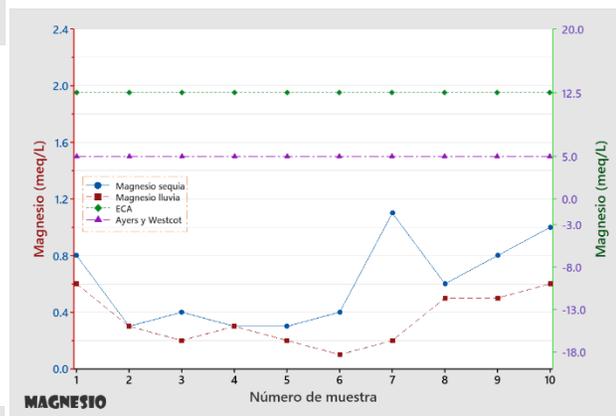
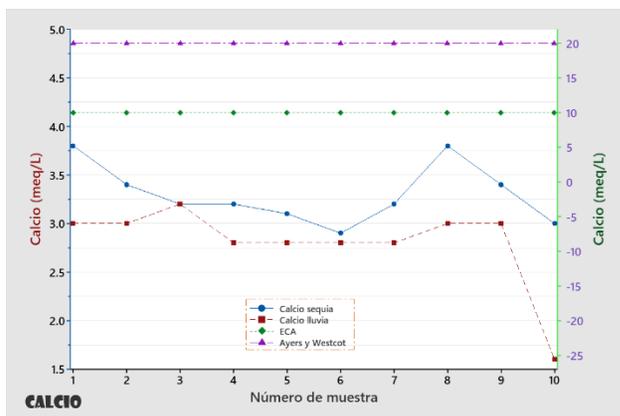


Anexo 13. Gráficos de comparación de ambos periodos de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables en los suelos agrícolas.



Anexo 14. Gráficos de comparación en ambos periodos de porosidad y capacidad de intercambio catiónico de los suelos agrícolas en el distrito de Pisac.





Anexo 16. Gráficos de comparación de ambos periodos de calcio, magnesio, cloruros, fosfatos, alcalinidad, sulfatos, potasio y sodio en el agua de riego.

		Salinidad del agua aplicada (CEa)											
		(dS m ⁻¹)											
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
Valor de HCO ₃ /Ca	0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
	0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
	0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
	1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
	1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
	1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
	1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
	2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
	2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
	2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
	3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
	3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
	4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
	4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
	5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
	7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
	10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
	20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
	30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

Anexo 17. Tabla de corrección del valor de Calcio para el cálculo del RAS ajustado (Ayers & Westcot, 1987).

Valores obtenidos de cada análisis por triplicado en el periodo seco de los suelos agrícolas									
ID	HUMEDAD				MO			DA	
S1	15.3	15.6	15.4	0.9	1.2	1.0	1.41	1.4	1.42
S2	15.9	15.8	15.7	1.0	1.5	1.3	1.37	1.35	1.36
S3	14.8	14.9	15.0	1.6	1.7	2.2	1.35	1.34	1.33
S4	15.5	15.7	15.8	1.0	1.3	1.6	1.40	1.40	1.40
S5	13.0	13.3	13.4	1.9	2.0	2.1	1.32	1.31	1.33
S6	13.9	14.1	14.0	0.9	1.2	1.1	1.19	1.18	1.18
S7	11.4	11.6	11.5	2.0	1.9	2.4	1.37	1.36	1.38
S8	12.6	12.8	13.0	1.3	1.4	1.8	1.08	1.08	1.09
S9	12.0	12.7	12.5	0.6	0.9	1.2	1.42	1.43	1.41
S10	11.8	12.6	14.3	1.3	1.2	1.7	1.26	1.27	1.28
ID	DR				CE			PH	
S1	2.50	2.50	2.51	0.621	0.619	0.620	7.5	7.6	7.7
S2	2.51	2.50	2.50	0.660	0.660	0.661	7.7	7.6	7.8
S3	2.67	2.66	2.66	0.760	0.760	0.760	7.5	7.4	7.6
S4	2.46	2.44	2.45	0.720	0.721	0.719	7.7	7.7	7.8
S5	2.49	2.50	2.51	0.655	0.655	0.655	7.5	7.6	7.4
S6	2.20	2.20	2.21	0.620	0.620	0.620	7.2	7.3	7.4
S7	2.54	2.55	2.56	2.102	2.101	2.103	7.8	7.8	7.9
S8	2.26	2.26	2.27	2.140	2.140	2.140	7.8	8.0	7.9
S9	2.46	2.45	2.47	0.459	0.460	0.461	7.6	7.8	7.7
S10	2.48	2.48	2.49	0.499	0.499	0.499	7.6	7.6	7.8
ID	FOSFATO				CLORUROS			CALCIO SOLUBLE	
S1	1.00	0.99	0.97	9.49	9.89	9.69	0.26	0.22	0.24
S2	0.97	0.96	0.90	11.18	11.18	11.2	0.20	0.28	0.24
S3	1.97	2.00	2.00	12.67	12.47	12.87	0.32	0.32	0.34
S4	2.43	2.44	2.51	11.62	12.22	11.94	0.34	0.30	0.32
S5	1.70	1.71	1.72	10.23	10.43	10.63	0.34	0.32	0.30
S6	1.78	1.78	1.79	10.43	10.43	10.45	0.30	0.28	0.28
S7	2.46	2.45	2.43	13.82	14.00	14.68	0.46	0.42	0.44
S8	2.31	2.32	2.33	14.91	14.91	14.93	0.44	0.46	0.54
S9	2.28	2.28	2.29	7.25	7.45	7.65	0.36	0.38	0.34
S10	1.40	1.40	1.41	8.00	8.20	8.40	0.40	0.40	0.42
ID	MAGNESIO SOLUBLE				CALCIO INT			MAGNESIO INT	
S1	0.04	0.08	0.12	9.0	9.2	9.0	3.3	3.9	3.6
S2	0.02	0.08	0.14	9.6	9.6	9.8	2.1	2.1	2.3
S3	0.20	0.16	0.12	10.0	10.2	10.4	2.7	2.7	2.9
S4	0.10	0.16	0.22	10.6	11.2	10.8	1.5	1.8	2.1
S5	0.04	0.08	0.12	10.6	10.8	11.0	3.0	3.0	3.2
S6	0.20	0.12	0.16	11.2	11.6	11.0	3.9	3.9	4.1
S7	0.28	0.24	0.32	12.0	12.0	12.2	3.0	3.3	3.6

S8	0.26	0.32	0.38	10.4	10.8	10.2	3.0	3.0	3.2
S9	0.16	0.16	0.18	7.0	7.2	7.4	2.4	2.4	2.6
S10	0.26	0.24	0.25	8.4	8.4	8.6	2.1	1.8	2.4
ID	POTASIO INT			SODIO INT			PSI		
S1	0.77	0.78	0.78	0.09	0.12	0.12	0.68	0.86	0.89
S2	1.62	1.61	1.64	0.14	0.13	0.11	1.04	0.97	0.79
S3	1.75	1.71	1.69	0.15	0.16	0.17	1.03	1.08	1.12
S4	1.65	1.66	1.66	0.13	0.13	0.14	0.94	0.88	0.95
S5	1.48	1.50	1.54	0.17	0.14	0.16	1.11	0.91	1.01
S6	1.50	1.51	1.51	0.14	0.15	0.16	0.84	0.87	0.95
S7	1.75	1.78	1.83	0.18	0.18	0.19	1.06	1.04	1.07
S8	1.84	1.84	1.85	0.22	0.20	0.17	1.42	1.26	1.10
S9	0.43	0.49	0.45	0.08	0.11	0.13	0.81	1.08	1.23
S10	1.10	1.14	1.20	0.11	0.12	0.10	0.94	1.05	0.81
ID	ARENA			LIMO			ARCILLA		
S1	27.5	27.6	27.7	68.0	68.9	68.8	3.6	3.5	3.6
S2	28.5	28.4	28.2	68.1	68.2	68.6	3.5	3.4	3.2
S3	26.4	26.4	26.5	70.4	70.4	70.5	3.1	3.1	3.2
S4	25.6	25.5	25.3	72.0	71.9	71.7	3.0	2.9	2.7
S5	26.9	26.9	26.5	71.9	71.9	71.5	1.7	1.7	1.3
S6	17.5	17.6	17.8	78.8	79.8	79.0	3.1	3.2	3.3
S7	23.5	23.4	23.2	73.9	73.8	73.6	3.1	3.0	2.8
S8	24.1	24.1	24.2	73.1	73.3	73.2	2.5	2.7	2.6
S9	35.4	35.4	35.6	61.8	61.8	62.0	2.8	2.8	2.9
S10	26.4	26.5	26.6	70.5	70.6	70.7	2.7	2.8	2.9
ID	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO								
S1	13.16			14.00			13.50		
S2	13.46			13.44			13.85		
S3	14.60			14.77			15.16		
S4	13.88			14.79			14.70		
S5	15.25			15.44			15.90		
S6	16.74			17.16			16.77		
S7	16.93			17.26			17.82		
S8	15.46			15.84			15.42		
S9	9.91			10.20			10.58		
S10	11.71			11.46			12.30		

Anexo 18. Tabla de resultados obtenidos por triplicado de cada parámetro fisicoquímico de los suelos agrícolas en el periodo seco.

Valores obtenidos de cada análisis por triplicado en el periodo lluvioso de los suelos agrícolas

ID	HUMEDAD			MO			DA		
S1	18.7	18.9	19.0	5.30	5.32	5.27	1.43	1.42	1.44
S2	17.4	17.3	17.2	4.98	4.99	5.01	1.47	1.46	1.48
S3	19.1	19.3	19.2	5.87	5.88	5.89	1.43	1.41	1.42
S4	17.6	17.8	17.4	5.54	5.55	5.53	1.49	1.48	1.50
S5	15.2	15.6	15.4	5.37	5.40	5.43	1.39	1.41	1.40
S6	15.4	15.1	15.9	5.36	3.37	3.35	1.36	1.36	1.36
S7	16.8	16.6	17.0	4.63	4.65	4.66	1.43	1.42	1.42
S8	17.5	17.4	17.6	6.83	6.84	6.86	1.49	1.47	1.48
S9	16.1	16.2	16.3	5.88	5.87	5.86	1.46	1.45	1.47
S10	17.1	16.9	17.0	5.38	5.36	5.37	1.44	1.45	1.43
ID	DR			CE			PH		
S1	2.51	2.52	2.53	0.556	0.557	0.555	7.4	7.4	7.5
S2	2.51	2.50	2.49	0.596	0.594	0.595	7.3	7.4	7.2
S3	2.66	2.67	2.65	0.682	0.681	0.683	7.4	7.6	7.4
S4	2.42	2.41	2.43	0.659	0.659	0.659	7.8	7.6	7.6
S5	2.50	2.51	2.49	0.610	0.611	0.609	7.4	7.4	7.5
S6	2.24	2.23	2.22	0.589	0.589	0.589	7.3	7.1	7.2
S7	2.53	2.53	2.54	1.961	1.962	1.960	7.6	7.4	7.4
S8	2.26	2.27	2.26	1.982	1.982	1.982	7.4	7.3	7.5
S9	2.44	2.43	2.42	0.419	0.419	0.419	7.3	7.5	7.4
S10	2.49	2.47	2.48	0.438	0.439	0.437	7.6	7.5	7.5
ID	FOSFATO			CLORUROS			CALCIO SOLUBLE		
S1	0.64	0.63	0.63	5.96	5.98	5.96	0.20	0.20	0.22
S2	0.59	0.65	0.66	6.70	6.90	6.50	0.18	0.20	0.22
S3	0.74	0.67	0.66	8.96	8.24	8.64	0.26	0.24	0.24
S4	0.34	0.33	0.35	7.47	7.43	7.45	0.24	0.28	0.32
S5	0.89	0.91	0.92	8.20	8.20	8.22	0.24	0.20	0.28
S6	1.74	1.75	1.72	8.20	8.22	8.20	0.22	0.20	0.18
S7	0.12	0.10	0.11	10.45	9.75	10.15	0.40	0.40	0.42
S8	1.92	1.91	1.89	11.18	11.38	10.98	0.46	0.42	0.44
S9	1.97	2.03	2.04	5.97	5.25	5.65	0.32	0.28	0.24
S10	0.44	0.50	0.51	7.35	7.45	7.55	0.40	0.32	0.36
ID	MAGNESIO SOLUBLE			CALCIO INT			MAGNESIO INT		
S1	0.04	0.08	0.12	8.6	8.4	8.2	3.0	3.0	3.2
S2	0.08	0.08	0.10	9.0	9.0	9.2	1.8	1.8	2.0
S3	0.14	0.12	0.12	8.7	9.1	8.5	2.4	2.4	2.6
S4	0.08	0.12	0.04	9.0	9.0	9.2	1.2	1.5	0.9
S5	0.08	0.10	0.08	9.5	9.1	9.3	2.7	2.7	2.9
S6	0.14	0.12	0.12	9.6	10.0	9.4	3.3	3.3	3.5

S7	0.16	0.16	0.18	10.4	10.0	10.2	2.4	2.7	2.1
S8	0.24	0.32	0.28	9.2	9.0	9.0	1.8	1.8	2.0
S9	0.08	0.08	0.10	6.9	6.9	7.1	2.1	2.4	1.8
S10	0.22	0.20	0.20	8.3	7.9	8.1	1.8	1.8	2.0
ID	POTASIO INT			SODIO INT			PSI		
S1	0.10	0.14	0.08	0.09	0.11	0.06	0.76	0.94	0.52
S2	0.18	0.22	0.16	0.11	0.13	0.08	0.99	1.17	0.70
S3	1.42	0.39	1.47	0.13	0.16	0.16	1.03	1.33	1.26
S4	0.45	0.45	0.46	0.09	0.12	0.12	0.84	1.08	1.12
S5	1.14	1.18	1.12	0.15	0.17	0.12	1.11	1.29	0.89
S6	1.14	1.14	1.15	0.14	0.14	0.15	0.99	0.96	1.06
S7	1.50	1.54	1.48	0.14	0.17	0.17	0.97	1.18	1.22
S8	1.62	1.54	1.67	0.19	0.21	0.16	1.48	1.67	1.25
S9	0.10	0.14	0.08	0.09	0.11	0.06	0.98	1.15	0.66
S10	0.45	0.42	0.50	0.04	0.07	0.07	0.38	0.69	0.66
ID	ARENA			LIMO			ARCILLA		
S1	27.6	27.7	27.4	69.0	69.0	69.1	3.6	3.7	3.4
S2	28.4	28.4	28.5	68.2	68.3	68.2	3.3	3.3	3.3
S3	26.3	26.4	26.1	70.6	70.5	70.5	3.3	3.4	3.1
S4	25.7	25.7	25.3	71.6	71.6	71.7	2.8	2.8	2.8
S5	26.4	26.6	26.5	71.9	71.9	72.0	1.4	1.6	1.7
S6	17.9	17.4	17.5	79.1	79.2	79.3	3.2	3.2	3.2
S7	23.2	23.3	23.1	73.7	73.7	73.9	3.0	3.0	3.1
S8	35.6	35.4	35.4	73.3	73.3	73.5	2.5	2.6	2.5
S9	24.2	24.2	24.4	61.8	61.8	61.9	2.7	2.9	2.8
S10	26.5	26.5	26.6	70.6	70.7	70.6	2.9	2.7	2.8
ID	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO								
S1	11.79			11.65			11.54		
S2	11.09			11.15			11.44		
S3	12.65			12.05			12.73		
S4	10.74			11.07			10.68		
S5	13.49			13.15			13.44		
S6	14.18			14.58			14.20		
S7	14.44			14.41			13.95		
S8	12.81			12.55			12.83		
S9	9.19			9.55			9.04		
S10	10.59			10.19			10.67		

Anexo 19. Tabla de resultados obtenidos por triplicado de cada parámetro fisicoquímico de los suelos agrícolas en el periodo lluvioso.

Valores obtenidos en cada análisis por triplicado en el periodo seco en el agua de regadío									
ID	CE			PH			DT		
A1	458	462	461	8.3	8.5	8.6	225	230	235
A2	379	383	383	7.4	7.5	7.8	175	185	195
A3	386	389	388	7.5	7.5	7.8	170	185	185
A4	358	363	364	7.7	7.9	7.8	160	180	185
A5	459	463	463	7.7	7.8	8.2	160	175	175
A6	365	367	375	7.6	7.5	8.0	160	165	170
A7	374	378	376	8.0	8.3	8.6	210	215	220
A8	460	463	465	8.4	8.1	8.6	210	220	230
A9	470	472	477	8.1	8.3	8.4	205	210	215
A10	485	487	487	8.1	8.2	7.8	190	205	205
ID	ALCALINIDAD			CLORUROS			SULFATOS		
A1	214	221	229	30.5	33.5	36.5	47.60	46.90	46.90
A2	182	174	167	25.9	37.9	31.9	24.78	40.68	55.00
A3	180	167	155	32.8	32.8	33.0	24.56	46.19	55.63
A4	187	181	194	28.4	26.4	30.4	7.85	30.37	24.94
A5	162	174	187	36.5	30.5	33.5	26.12	31.08	36.50
A6	167	160	174	34.8	22.8	28.8	22.19	32.50	26.80
A7	207	222	214	28.8	29.8	30.8	38.00	37.00	37.00
A8	195	201	207	36.5	30.5	30.5	48.15	43.03	38.00
A9	207	195	201	36.2	32.2	34.2	33.81	48.15	48.00
A10	194	186	202	33.5	35.5	37.5	29.64	50.43	37.44
ID	ACIDEZ			FOSFATOS			CALCIO		
A1	0	0	0	5.86	5.86	5.86	3.8	3.9	3.7
A2	10	10	10	5.58	5.58	5.58	3.2	3.4	3.6
A3	10	10	10	5.29	5.19	5.09	2.9	3.3	3.4
A4	0	0	0	5.36	5.38	5.40	3.1	3.4	3.1
A5	0	0	0	4.80	5.40	5.10	2.7	3.1	3.4
A6	10	10	10	4.04	4.24	4.14	2.7	2.9	3.1
A7	0	0	0	2.87	3.47	3.17	3.2	3.1	3.4
A8	0	0	0	5.1	5.10	5.10	3.7	3.8	3.9
A9	0	0	0	2.98	2.98	2.98	3.4	3.3	3.5
A10	0	0	0	5.45	5.51	5.48	3.0	3.0	3.0
ID	MAGNESIO			POTASIO			SODIO		
A1	0.8	0.8	0.8	0.08	0.09	0.10	0.78	0.85	0.90
A2	0.3	0.3	0.3	0.07	0.10	0.10	0.66	0.96	0.81
A3	0.5	0.4	0.3	0.09	0.09	0.08	0.83	0.83	0.83
A4	0.1	0.2	0.6	0.08	0.07	0.08	0.72	0.67	0.77
A5	0.5	0.4	0.1	0.10	0.08	0.09	0.92	0.78	0.85

A6	0.5	0.4	0.3	0.09	0.07	0.08	0.89	0.57	0.73
A7	1.0	1.2	1.0	0.08	0.08	0.08	0.73	0.75	0.78
A8	0.5	0.6	0.7	0.10	0.08	0.09	0.92	0.78	0.84
A9	0.7	0.9	0.8	0.08	0.09	0.09	0.94	0.82	0.83
A10	0.8	1.1	1.1	0.10	0.10	0.10	0.84	0.84	0.95
ID	RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO								
A1	0.51			0.55			0.60		
A2	0.50			0.71			0.58		
A3	0.64			0.61			0.61		
A4	0.57			0.50			0.57		
A5	0.73			0.59			0.64		
A6	0.70			0.44			0.56		
A7	0.50			0.51			0.53		
A8	0.63			0.53			0.55		
A9	0.66			0.57			0.57		
A10	0.61			0.59			0.66		

Anexo 19. Tabla de resultados obtenidos por triplicado de cada parámetro fisicoquímico del agua de regadío en el periodo seco.

Valores obtenidos en cada análisis por triplicado en el periodo lluvioso en el agua de regadío									
ID	CE			PH			DT		
A1	365	365	365	7.6	7.5	7.4	185	185	170
A2	322	323	320	7.2	7.4	7.3	165	160	170
A3	329	329	329	7.6	7.3	7.3	170	165	175
A4	325	326	323	7.4	7.3	7.8	160	160	145
A5	298	301	302	7.0	7.3	7.4	155	150	145
A6	310	311	308	7.2	7.3	7.0	145	150	140
A7	308	309	306	7.2	7.3	7.1	150	160	140
A8	292	292	292	7.3	7.5	7.4	180	175	170
A9	285	288	289	7.2	7.1	7.6	175	170	180
A10	285	285	285	6.8	6.7	6.9	105	110	115
ID	ALCALINIDAD			CLORUROS			SULFATOS		
A1	165	165	165	28.8	25.8	22.8	42.90	42.90	43.6
A2	151	159	144	22.0	22.0	22.0	38.90	38.90	39.6
A3	164	156	149	21.2	21.2	21.2	35.19	45.50	39.8
A4	165	165	165	22.0	24.0	20.0	24.50	14.19	18.8
A5	135	147	160	18.0	21.0	15.0	27.90	27.90	28.6
A6	146	146	146	19.2	19.2	19.2	23.90	23.90	24.6
A7	141	147	154	18.2	19.2	20.2	33.50	23.19	27.8
A8	168	162	156	17.6	17.6	17.6	40.00	40.00	41.0
A9	162	162	162	16.8	18.8	14.8	40.00	41.00	40.0
A10	87	99	93	16.8	16.8	16.8	32.00	31.00	31.0
ID	ACIDEZ			FOSFATOS			CALCIO		
A1	10	10	10	1.52	1.50	1.54	2.9	3.0	3.1
A2	10	10	10	1.81	1.81	1.81	3.0	3.0	3.0
A3	10	10	10	1.98	2.02	2.00	3.0	3.2	3.4
A4	10	10	10	1.60	1.64	1.62	2.8	2.8	2.8
A5	10	10	10	1.69	1.72	1.75	2.7	2.9	2.8
A6	10	10	10	1.42	1.52	1.62	2.8	2.9	2.7
A7	10	10	10	1.91	1.91	1.91	2.9	2.7	2.8
A8	10	10	10	1.72	1.72	1.72	3.0	3.0	3.0
A9	10	10	10	1.33	1.33	1.33	3.0	3.0	3.0
A10	10	10	10	2.40	2.60	2.50	1.5	1.6	1.7
ID	MAGNESIO			POTASIO			SODIO		
A1	0.60	0.61	0.59	0.07	0.07	0.07	0.48	0.41	0.55
A2	0.30	0.30	0.30	0.07	0.06	0.05	0.53	0.53	0.53
A3	0.19	0.21	0.20	0.05	0.05	0.05	0.58	0.58	0.58
A4	0.31	0.30	0.29	0.06	0.05	0.07	0.50	0.55	0.60
A5	0.20	0.21	0.19	0.05	0.05	0.05	0.35	0.50	0.65

A6	0.09	0.10	0.11	0.05	0.05	0.05	0.48	0.55	0.41
A7	0.20	0.21	0.19	0.05	0.04	0.06	0.43	0.48	0.53
A8	0.50	0.50	0.50	0.04	0.04	0.04	0.49	0.49	0.49
A9	0.50	0.50	0.50	0.03	0.04	0.05	0.32	0.62	0.47
A10	0.60	0.60	0.60	0.04	0.03	0.05	0.47	0.47	0.47
ID	RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO								
A1	0.36			0.31			0.40		
A2	0.41			0.41			0.41		
A3	0.46			0.44			0.43		
A4	0.40			0.44			0.48		
A5	0.29			0.40			0.53		
A6	0.40			0.45			0.35		
A7	0.35			0.40			0.43		
A8	0.37			0.37			0.37		
A9	0.24			0.47			0.36		
A10	0.46			0.45			0.44		

Anexo 20. Tabla de resultados obtenidos por triplicado de cada parámetro fisicoquímico del agua de regadío en el periodo lluvioso.

Informe de Prueba T e IC de dos muestras para CE en el agua de regadío Minitab

Método

μ_1 : media de población de CE sequia

μ_2 : media de población de CE lluvia

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

		IC de 95%
	Desv.Est.	para la
Diferencia agrupada		diferencia
109.77	38.14	(90.05; 129.48)

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
CE sequia	30	422.0	48.6	8.9
CE lluvia	30	312.2	23.3	4.3

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
11.15	58	0.000

Informe de Prueba T e IC de dos muestras para pH en el agua de regadío Minitab

Método

μ_1 : media de población de pH sequia

μ_2 : media de población de pH lluvia

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

		IC de 95%
	Desv.Est.	para la
Diferencia agrupada		diferencia
0.7200	0.3121	(0.5587; 0.8813)

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
pH sequia	30	8.000	0.369	0.067
pH lluvia	30	7.280	0.243	0.044

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
8.94	58	0.000

Informe de Prueba T e IC de dos muestras para RAS en el agua de regadío Minitab

Método

μ_1 : media de población de RAS sequia

μ_2 : media de población de RAS lluvia

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
RAS sequia	40	0.5893	0.0711	0.011
RAS lluvia	30	0.4113	0.0466	0.0085

Estimación de la diferencia

Diferencia agrupada	Desv.Est.	IC de 95% para la diferencia
0.1779	0.0618	(0.1481; 0.2078)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
11.91	68	0.000

Informe de Prueba T e IC de dos muestras para CE en los suelos agrícolas Minitab

Método

μ_1 : media de población de CE sequia

μ_2 : media de población de CE lluvia

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
CE sequia	30	0.924	0.615	0.11
CE lluvia	30	0.849	0.577	0.11

Estimación de la diferencia

Diferencia agrupada	Desv.Est.	IC de 95% para la diferencia
0.075	0.596	(-0.234; 0.383)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0.48	58	0.630

Informe de Prueba T e IC de dos muestras para pH en los suelos agrícolas Minitab

Método

μ_1 : media de población de pH sequia

μ_2 : media de población de pH lluvia

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
pH sequia	30	7.643	0.187	0.034
pH lluvia	30	7.430	0.144	0.026

Estimación de la diferencia

Desv.Est.	IC de 95% para la Diferencia agrupada
0.2133	0.1670 (0.1270; 0.2996)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
4.95	58	0.000

Informe de Prueba T e IC de dos muestras para PSI en los suelos agrícolas Minitab

Método

μ_1 : media de población de PSI sequia

μ_2 : media de población de PSI lluvia

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
PSI sequia	30	0.993	0.154	0.028
PSI lluvia	30	1.011	0.282	0.052

Estimación de la diferencia

Desv.Est.	IC de 95% para la Diferencia agrupada
-0.0178	0.2275 (-0.1353; 0.0998)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.30	58	0.763

Anexo 21. Resultados del análisis estadístico en el paquete estadístico Minitab del agua y suelo.