



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

**TEMA: DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
CANAL SECUNDARIO PIFO-PUEMBO DEL SISTEMA DE RIEGO
EL PISQUE MEDIANTE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS
ESPECTROSCÓPICOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

AUTOR: OJEDA GÓMEZ, LEONARDO JAVIER

DIRECTORA: ARROYO DAUL, JACQUELINE

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL SECUNDARIO PIFO – PUEMBO DEL SISTEMA DE RIEGO DEL PISQUE MEDIANTE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS ESPECTROSCÓPICOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA*”, realizado por el señor *LEONARDO JAVIER OJEDA GÓMEZ*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor *LEONARDO JAVIER OJEDA GÓMEZ* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 de Mayo de 2017

Dra. Jacqueline Arroyo Daul

Directora



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LEONARDO JAVIER OJEDA GÓMEZ**, con cédula de identidad N° 171681702-6, declaro que éste trabajo de titulación “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL SECUNDARIO PIFO – PUEMBO DEL SISTEMA DE RIEGO DEL PISQUE MEDIANTE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS ESPECTROSCÓPICOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo que es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 22 de mayo de 2017



LEONARDO JAVIER OJEDA GÓMEZ

C.C 171681702-6



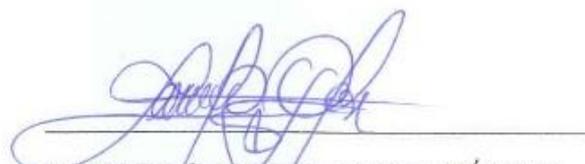
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, **LEONARDO JAVIER OJEDA GÓMEZ**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL SECUNDARIO PIFO – PUEMBO DEL SISTEMA DE RIEGO DEL PISQUE MEDIANTE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS ESPECTROSCÓPICOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA**”, cuyo contenido, ideas, y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 22 de mayo de 2017



LEONARDO JAVIER OJEDA GÓMEZ

C.C 171681702-6

DEDICATORIA

A mi querida madre Mariana de Jesús Gómez Montalván que ha sido el pilar más importante durante toda mi vida, por todo su cariño, paciencia y comprensión en todo momento y a mi padre Lauro Ojeda Yaguana por el apoyo, cariño y el soporte que ha sido en todo instante de mi vida. Les entrego este proyecto que es la mejor forma de expresarles mi esfuerzo, dedicación, cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme durante todo mi camino y darme las fuerzas para superar todos los obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre Mariana Gómez por ser una madre ejemplar que con su infinito amor me ha enseñado a nunca rendirme a ser perseverante en todo lo que me propongo.

A mi padre Lauro Ojeda y a mis hermanos Juan Carlos y José Luis que han sido la fortaleza que necesitaba para no darme por vencido en cada aspecto de mi vida.

A mi directora de tesis Dra. Jacqueline Arroyo que supo guiarme con paciencia transmitiendo sus conocimientos y todo el apoyo necesario para la realización de este proyecto.

Al personal del laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro – AGROCALIDAD, especialmente al responsable del laboratorio Ing. Rusbel Jaramillo por todo el apoyo oportuno que supo brindarme, así como a la Quim. Katty Pastás por toda su valiosa guía y conocimientos adquiridos. Al Ing. Daniel Bedoya y al Quim. Luis Cacuango por todo el apoyo brindado en el laboratorio.

Al Ing. Alfredo Valarezo por su valiosa ayuda y consejos que ayudaron a darle el impacto necesario a este estudio.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en especial, a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y a su personal Docente, por los valiosos conocimientos impartidos y por todas las enseñanzas que me brindaron durante los años de mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 El problema.....	2
1.2.1 Causas.....	2
1.2.2 Efectos.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	3

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Espectrofotometría de absorción atómica.....	4
2.1.1 Absorción atómica.....	4
2.2 Validación de métodos analíticos.....	5
2.2.1 Parámetros de validación.....	5
2.2.1.1 Linealidad.....	5
2.2.1.2 Límite de detección.....	6

2.2.1.3	Límite de cuantificación	6
2.2.1.4	Exactitud.....	6
2.2.1.4.1	Veracidad.....	7
2.2.1.4.1.1	Recuperación	7
2.2.1.4.2	Precisión	7
2.2.1.4.2.1	Repetibilidad.....	7
2.2.1.4.2.2	Reproducibilidad	7
2.2.1.5	Rango de trabajo.....	9
2.2.1.6	Incertidumbre	9
2.3	Agua	11
2.4	Calidad del agua para regadío	11
2.5	Criterios para evaluar la calidad del agua de riego.....	11
2.5.1	Salinidad	12
2.5.2	El problema de Infiltración.....	12
2.5.3	Toxicidad de iones específicos.....	12
2.5.4	Problemas misceláneos.....	12
2.5.5	Directrices de la calidad del agua de riego propuesto por la FAO.....	13
2.5.6	Criterios de la calidad del agua de riego agrícola del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE).....	14
2.5.6.1	Toxicidad de elementos traza	14
2.5.6.2	Coliformes totales.....	14
2.5.6.2.1	Escherichia coli	15
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA		16
3.1	Ubicación de la zona de estudio	16
3.1.1	Ubicación de los sitios de muestreo	17
3.1.2	Clima	18
3.1.2.1	Temperatura y precipitación.....	18

3.1.3	Suelos de las zonas	19
3.2	Materiales	19
3.2.1	Materiales y Equipo de Laboratorio	19
3.2.2	Materiales y equipos de Campo	19
3.3	Reactivos	19
3.4	Métodos	20
3.4.1	Metodología para la toma de muestras	20
3.4.2	Preservación de la muestra para metales	20
3.4.3	Preparación de la muestra.....	20
3.4.4	Preparación de estándares de la curva de calibración y método del estándar interno	21
3.4.4.1	Preparación de la solución madre para micro elementos	22
3.4.4.2	Preparación de la solución madre para macro elementos.....	22
3.4.4.3	Preparación del método del estándar interno.....	23
3.5	Procedimiento de lectura de la muestra en el espectrofotómetro de absorción atómica	23
3.6	Parámetros de validación.....	24
3.7	Diseño Experimental	24
3.7.1	Factores.....	24
3.7.2	Tratamientos	25
3.7.3	Tipo de diseño	25
3.7.4	Características de la unidad experimental	25
3.7.5	Croquis del diseño	25
3.7.6	Análisis Estadístico	26
3.7.7	Esquema del análisis de varianza	26
3.7.8	Análisis funcional.....	26
3.7.9	Variables a Medir	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1 Validación de métodos analíticos	28
4.1.1 Resultados de las pruebas de validación	31
4.1.1.1 Validación de calcio	31
4.1.1.2 Validación de magnesio	32
4.1.1.3 Validación de sodio	33
4.1.1.4 Validación de potasio	34
4.1.1.5 Validación de cobre	35
4.1.1.6 Validación de hierro	36
4.1.1.7 Validación de manganeso	37
4.1.1.8 Validación de zinc	38
4.2 Determinación de los parámetros químicos potasio, calcio, magnesio y dureza en el agua de riego	39
4.2.1 Potasio	39
4.2.2 Calcio	40
4.2.3 Magnesio	41
4.2.4 Dureza	43
4.3 Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados de acuerdo a los criterios de calidad del agua de riego de la FAO	44
4.3.1 Criterio de salinidad	44
4.3.1.1 Conductividad eléctrica	44
4.3.1.2 Sólidos Totales Disueltos	45
4.3.2 Criterio de Infiltración	47
4.3.2.1 Relación Adsorción Sodio (RAS)	47
4.3.3 Criterio de toxicidad por iones específicos	48
4.3.3.1 Sodio	48

4.3.3.2	Cloruros	49
4.3.4	Efectos misceláneos.....	51
4.3.4.1	Bicarbonatos	51
4.3.4.2	pH	52
4.3.4.2.1	Carbonatos	53
4.4	Toxicidad de elementos traza y análisis microbiológico del agua del canal de acuerdo a los criterios de calidad de agua de riego del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano	55
4.4.1	Hierro.....	55
4.4.2	Manganeso.....	56
4.4.3	Cobre	57
4.4.4	Zinc.....	57
4.4.5	Análisis microbiológico.....	58
4.4.5.1	Análisis de Coliformes Totales y <i>Escherichia coli</i>	58
4.5	Discusión	58
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones	63
5.3	Bibliografía.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Análisis simple de varianza para repetibilidad y reproducibilidad	8
Tabla 2	Directrices para las interpretaciones de la calidad del agua de riego.....	13
Tabla 3	Criterios de calidad de agua de riego dispuesto por el MAE.....	15
Tabla 4	Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el canal secundario Pifo – Pumbo del Sistema de Riego El Pisque y fechas de muestreo.....	18
Tabla 5	Límites de detección, sensibilidad, longitud de onda y rangos óptimos de concentración de elementos para la determinación por espectrofotometría de absorción atómica de llama.....	21
Tabla 6	Preparación de seis estándares de micro elementos de acuerdo al rango óptimo de concentración de cada elemento.	22
Tabla 7	Preparación de seis estándares de macro elementos de acuerdo al rango óptimo de concentración de cada elemento.	23
Tabla 8	Niveles de concentración del método del estándar interno.....	23
Tabla 9	Tratamientos del estudio	25
Tabla 10	Análisis de varianza para determinar la calidad del agua	26
Tabla 11	Porcentaje de recuperación de macro y micro elementos presentes en el material de referencia y de la muestra en tres niveles de concentración usando el método del estándar interno	28
Tabla 12	Porcentaje del coeficiente de variación de la desviación estándar para la repetibilidad.....	29
Tabla 13	Porcentaje del coeficiente de variación de la desviación estándar para la reproducibilidad.....	29
Tabla 14	Coficiente de correlación de las curvas de calibración para macro y microelementos.....	29
Tabla 15	Porcentaje de incertidumbre para cada nivel y elemento.....	30
Tabla 16	Resultados de las pruebas de validación para calcio.....	31
Tabla 17	Resultados de las pruebas de validación para magnesio.....	32
Tabla 18	Resultados de las pruebas de validación para sodio	33
Tabla 19	Resultados de las pruebas de validación para potasio.....	34
Tabla 20	Resultados de las pruebas de validación para cobre	35

Tabla 21	Resultados de las pruebas de validación para hierro.....	36
Tabla 22	Resultados de las pruebas de validación para manganeso	37
Tabla 23	Resultados de las pruebas de validación para zinc	38
Tabla 24	Promedio de la concentración de potasio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	39
Tabla 25	Promedio de la concentración de calcio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	41
Tabla 26	Promedio de la concentración de magnesio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	42
Tabla 27	Clasificación de la dureza del agua de riego.....	43
Tabla 28	Promedio de la concentración de dureza a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	43
Tabla 29	Promedio de la conductividad eléctrica (CE) a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	45
Tabla 30	Promedio de la concentración de sólidos totales disueltos a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	46
Tabla 31	Promedio de la relación adsorción sodio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	47
Tabla 32	Promedio de la concentración de sodio distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	48
Tabla 33	Promedio de la concentración de cloruros a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	50

Tabla 34	Promedio de la concentración de bicarbonatos a distintos días y sitios del canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	51
Tabla 35	Promedio del pH a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	52
Tabla 36	Promedio de la concentración de carbonatos a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	54
Tabla 37	Promedio de la concentración de hierro a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	55
Tabla 38	Promedio de la concentración de manganeso a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016.....	56
Tabla 39	Presencia y contenido de Coliformes totales y E. coli.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de un espectrofotómetro de absorción atómica.....	4
Figura 2	Ubicación del Sistema de Riego el Pisque desde la bocatoma en el río Guachalá del cantón Cayambe hasta la última toma ubicada en la parroquia Pifo del cantón Quito.	16
Figura 3	Ubicación geográfica georeferenciada de los tres puntos: 1, 2 y 3 de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque	17
Figura 4	Disposición del diseño experimental en el campo.....	25
Figura 5	Variabilidad del promedio del contenido de potasio en los tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	40
Figura 6	Variabilidad del promedio del contenido de calcio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque	41
Figura 7	Variabilidad del promedio del contenido de magnesio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque: 1, 2 y 3.	42
Figura 8	Variabilidad del promedio del contenido de dureza en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.	44
Figura 9	Variabilidad del promedio de la conductividad eléctrica en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	45
Figura 10	Variabilidad del promedio del contenido de sólidos totales disueltos en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	46
Figura 11	Variabilidad del promedio de la relación adsorción sodio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.	48

Figura 12	Variabilidad del promedio de la concentración sodio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque	49
Figura 13	Variabilidad del promedio de la concentración de cloruros en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque	50
Figura 14	Variabilidad del promedio del contenido de bicarbonatos en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.	52
Figura 15	Variabilidad del promedio del pH en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	53
Figura 16	Variabilidad del promedio del contenido de carbonatos en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	54
Figura 17	Variabilidad del promedio del contenido de hierro en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque	56
Figura 18	Variabilidad del promedio del contenido de manganeso en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	57
Figura 19	Correlación entre la concentración de carbonatos y el pH durante seis días en los tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.....	59
Figura 20	Relación entre el pH y la proporción relativa de carbono inorgánico: CO ₂ , (HCO ₃) ⁻ y (CO ₃) ²⁻	60

RESUMEN

El agua del canal secundario de las parroquias de Pifo y Puembo del Sistema de Riego El Pisque es el recurso más importante en la producción de cultivos alimenticios y ornamentales para el consumo interno como el maíz, fréjol, papa, haba, hortalizas y ciertos productos de exportación como flores y fresas. Por esta razón, fue fundamental conocer la calidad del agua del canal usado en el riego de estos cultivos para su óptima producción y salud alimentaria. Para la determinación de la calidad del agua de este canal se validaron los métodos analíticos para la estimación de macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) y micronutrientes (Fe^{2+} , Cu^+ , Mn^{2+} , Zn^{2+}) en aguas, utilizando el equipo de absorción atómica. Adicionalmente, se determinaron otros parámetros como carbonatos, bicarbonatos, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, coliformes totales, *Escherichia coli*, relación adsorción sodio y dureza. La calidad del agua del canal se la evaluó de acuerdo a los criterios de calidad del agua de riego propuestos por la FAO y MAE. La calidad de agua del canal se encontró bajo concentraciones normales de macro y micronutrientes para ser usada en riego. El efecto conjunto de la relación adsorción sodio (RAS) y la conductividad eléctrica encontrada en el agua del canal puede ofrecer una restricción severa para su uso por un potencial problema de infiltración de agua en el suelo, aunque este es más manifiesto en suelos francos o franco arcillosos. Adicionalmente la presencia de *E. coli* indica una severa restricción de uso como agua de riego.

PALABRAS CLAVE

- CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO
- VALIDACIÓN DE MÉTODOS
- ABSORCIÓN ATÓMICA
- INFILTRACIÓN
- ESCHERICHIA COLI

ABSTRACT

The Irrigation System El Pisque's water coming from the secondary channel of the parishes Pifo and Puenbo is the most important resource in the production of food and ornamental crops for domestic consumption such as maize, beans, potatoes, beans, vegetables and certain export products such as flowers and strawberries. For this reason, it was fundamental to know the secondary channel's water quality used in the irrigation of these crops for optimal production and for food health. For the water quality determination, the analytical methods for the estimation of macronutrients (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) and micronutrients (Fe^{2+} , Cu^+ , Mn^{2+} , Zn^{2+}) in water were validated using an atomic absorption equipment. In addition, other parameters such as carbonates, bicarbonates, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, total coliforms, Escherichia coli, sodium adsorption ratio, and hardness were estimated. The channel's water quality was evaluated according to the irrigation water quality criteria proposed by FAO and MAE. The water quality of the canal was found under normal concentrations of macro and micronutrients to be used in irrigation. The joint effect of the sodium adsorption (RAS) ratio and the electrical conductivity found in the canal water may offer a severe restriction for its use by a potential water infiltration problem in the soil, although this is most evident in franc and clay loam soil. Additionally, the presence of E. coli indicates a severe restriction of use as irrigation water.

KEYWORDS

- **IRRIGATION WATER QUALITY**
- **VALIDATION OF METHODS**
- **ATOMIC ABSORPTION**
- **INFILTRATION**
- **ESCHERICHIA COLI**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El 80% del agua de consumo en el Ecuador se destina para la agricultura. Por tal motivo surge la necesidad de determinar la calidad del agua que se utiliza para regar todos los cultivos. El agua de riego debe conservar características físicas, químicas y biológicas que no afecten el desarrollo de las plantas y que no se vean afectados por la contaminación, por residuos en la producción industrial, metalurgia, escurrimiento de plaguicidas de tierras agrícolas, descargas domésticas u otros que incidan en la calidad de los productos agrícolas para consumo de las personas (SENAGUA, 2010).

La calidad del agua de riego afecta a los rendimientos de los cultivos y también a las condiciones físicas del suelo, incluso si las condiciones y prácticas de producción son óptimas. Los distintos cultivos se deben elegir de acuerdo a la calidad del agua con que se cuente ya que existen cultivos sensibles y tolerantes a ciertas concentraciones químicas presentes en el agua de riego (SMART, 2015).

En este estudio se pretende validar metodologías analíticas para la determinación de macro y micronutrientes en el laboratorio y adicionalmente evaluar la calidad agrícola del agua del canal de riego que atraviesa las parroquias de Pifo y Puenbo del cual se abastecen las producciones agrícolas aledañas a este canal.

El Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE), menciona que para la acreditación de un laboratorio de análisis de ensayos éste debe cumplir con ciertas exigencias como lo son la validación de sus métodos cumpliendo ciertos parámetros. Es imperativo validar métodos analíticos para la determinación de macro y micro elementos en aguas para el Laboratorio de Suelos Aguas y Foliar de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro-AGROCALIDAD para así asegurar y garantizar la confiabilidad de los resultados.

1.1 Justificación

El agua es un componente esencial para el desarrollo de la agricultura sostenible, su aprovechamiento y conservación constituyen elementos fundamentales en cualquier estrategia de desarrollo.

Los niveles de contaminación de los recursos hídricos se incrementan año tras año, esto debido al sistema productivo que se establece y al crecimiento de la

población. En varias zonas agrícolas se utiliza este tipo de agua para regadío de diversos tipos de cultivos sin estar conscientes del potencial riesgo tóxico de este recurso (SENAGUA, 2010). Por ende es fundamental realizar un análisis de la calidad del agua que se destina para el riego

El presente estudio se basa en el uso de metodologías validadas para la determinación calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc del agua con una tecnología de fácil reproducibilidad que permita proporcionar información valiosa a los técnicos de la agricultura sobre la calidad del agua y las acciones a tomar en el agua de riego con exceso o deficiencias de éstos elementos, y que tipos de cultivos son los más apropiados de acuerdo al tipo de agua.

1.2 El problema

El laboratorio de aguas siempre busca garantizar la calidad de los resultados obtenidos mediante la utilización de métodos analíticos validados, es decir, que se cuente con métodos normalizados, confiables, y adecuados para un fin previsto o propósito específico (Uribe, López, & Ramos, 2013).

La importancia de validar métodos analíticos para la determinación de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc en aguas se basa en la necesidad del agricultor de conocer los valores nutricionales reales y confiables que están presentes en el agua para de esta manera proceder a realizar un correcto plan de fertilización o enmiendas en el agua de riego en caso que fuese necesario.

1.2.1 Causas

El laboratorio de Suelos, Foliar y Aguas de Agrocalidad no cuenta con un registro oficial donde se demuestre la validación de metodologías analíticas usadas para la determinación de macro y microelementos en aguas, y debido a que trabaja bajo los lineamientos del sistema de gestión de calidad: NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006 es indispensable documentar toda la información, que demuestre su competencia técnica a nivel nacional e internacional.

1.2.2 Efectos

Los laboratorios de ensayos buscan siempre mejorar su sistema de gestión de la calidad, que garantice y demuestre que son técnicamente competentes de producir resultados válidos. Es por eso que constantemente están instaurando la validación de

métodos analíticos para de esta forma cumplir con la norma de calidad NTE INEN-ISO/IEC 17025: 2006 y acceder así a una evaluación y calificación para obtener una acreditación por parte del SAE.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de agua del canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque mediante el uso de métodos analíticos validados de espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc en aguas.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar los parámetros de validación: linealidad, exactitud, precisión, límite de detección, límite de cuantificación, selectividad, e incertidumbre asociada al método de espectrofotometría de absorción atómica en la determinación de metales calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc en aguas de riego.

Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

Evaluar la calidad agrícola y ambiental del agua del canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque de acuerdo al sistema de clasificación del agua de riego propuesto por la FAO y el Ministerio de Ambiente Ecuatoriano.

1.4 Hipótesis

H₀: Los métodos analíticos para la determinación de macro y microelementos en aguas de riego se valida cumpliendo los requisitos de validación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE).

H₁: Los métodos analítico para la determinación de macro y microelementos en aguas de riego no se valida cumpliendo los requisitos de validación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE).

H₀: La calidad del agua de riego del canal secundario Pifo – Puembo del Sistema de Riego el Pisque es apta para el riego.

H₂: La calidad del agua de riego del canal secundario Pifo – Puembo del Sistema de Riego el Pisque no es apta para el riego.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Espectrofotometría de absorción atómica

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica de medición de elementos químicos de forma cuantitativa, cuyo principio es la medición de la radiación absorbida característica del elemento químico a medir. La medición se realiza al hacer incidir, sobre el elemento químico, una radiación proveniente de una fuente independiente de luz monocromática específica para el elemento a medir, la radiación absorbida conocida como absorbancia la cual se define como la cantidad de luz que es absorbida por la muestra. La absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración, a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas (CENAM, 2008).

La espectrofotometría de absorción atómica analiza la concentración de elementos en una muestra líquida a base de energía absorbida de ciertas longitudes de onda de la luz (por lo general 190 a 900 nm). Los espectrofotómetros de absorción atómica incluyen básicamente cuatro elementos estructurales una fuente de luz (lámpara de cátodo hueco), un atomizador para atomizar la muestra, un quemador de llama, un monocromador para seleccionar la longitud de onda de análisis del elemento de destino, y un detector para convertir la luz en una señal eléctrica (labcompare, 2009). Ver figura 1.

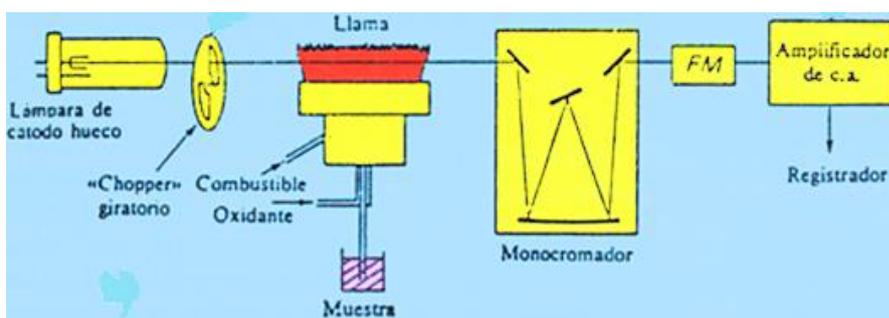


Figura 1 Esquema de un espectrofotómetro de absorción atómica

Fuente: (UNED, 2008)

2.1.1 Absorción atómica

La absorción atómica es el proceso que ocurre cuando átomos de un elemento en estado fundamental absorben energía radiante a una longitud de onda específica. La

cantidad de radiación absorbida aumenta al hacerlo el número de átomos del elemento presentes en el camino óptico, utilizándose esto con fines analíticos cuantitativos.

En la práctica, las muestras se vaporizan y se convierten en átomos libres, este proceso se denomina atomización. Sobre el vapor atómico originado se hace incidir la radiación electromagnética que será absorbida parcialmente por el analito (Skoog, Holler, & Nieman, 2001)

2.2 Validación de métodos analíticos

La validación de métodos es el proceso que se realiza para confirmar que un procedimiento analítico usado para una prueba específica es adecuado para su uso previsto. Los resultados de la validación de métodos pueden utilizarse para estimar la calidad y confiabilidad de los resultados analíticos (Huber, 1998). Se la realiza mediante el análisis de parámetros como linealidad, exactitud, precisión, límite de detección, límite de cuantificación, selectividad, incertidumbre para asegurar que los resultados sean significativos y apropiados para tomar una decisión (US Food & Drug Administration Office of Foods and Veterinary Medicine, 2015).

2.2.1 Parámetros de validación

Como se dice en la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006, los requisitos que deben cumplir los métodos, es decir, los parámetros de validación deben ser especificados previamente a la validación. Estos requisitos son los objetivos de validación. Para este caso tenemos un tipo de ensayo de determinación cuantitativa de ocho analitos en aguas, por tanto debe cumplirse con los siguientes parámetros: linealidad, exactitud, precisión, límite de detección, límite de cuantificación, selectividad, incertidumbre asociada al método.

2.2.1.1 Linealidad

La linealidad es la capacidad de un método de análisis, dentro de un determinado intervalo, de dar una respuesta instrumental (absorbancia) que sea proporcional a la concentración del analito (Daffau, 2010). Generalmente se procura que la relación sea lineal, lo que simplifica mucho los cálculos a realizar (Jurado, 2008).

$$y = bx + a \quad (1)$$

Donde:

y: lectura observada.

b: pendiente.

x: valores asignados a los patrones.

a: valor de la ordenada al origen (intercepto).

El coeficiente de correlación (r) indica el grado de relación entre la variable concentración (x) y la variable respuesta o absorbancia (y) de la curva de calibración. Para una curva de calibración, es recomendable que el coeficiente de correlación obtenido sea mayor o igual a 0.999, (Daffau, 2010).

$$r = \frac{\sum_i^n \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sqrt{\left[\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (2)$$

2.2.1.2 Límite de detección

Se define como la mínima concentración del analito detectable por el método (LD). Su determinación equivale a la concentración del analito correspondiente al valor de la medida promedio del blanco (\bar{B}) más 3 desviaciones estándar de la media del blanco ($3s_B$) (Jurado, 2008).

$$LD = \bar{B} + 3s_B \quad (3)$$

2.2.1.3 Límite de cuantificación

El límite de cuantificación (LC) se define como el contenido de analito presente derivada de la menor señal analítica que puede ser medida con precisión y exactitud. Es la concentración del analito correspondiente al valor del blanco de muestra más 10 desviaciones estándar de la media del blanco ($10s_B$) (Eurachem, 2005).

$$LC = \bar{B} + 10s_B \quad (4)$$

2.2.1.4 Exactitud

Es la proximidad de concordancia entre el resultado de una medición (concentración) y el valor de referencia aceptado. Normalmente la exactitud se estudia en dos componentes: la veracidad y la precisión (Eurachem, 2005).

2.2.1.4.1 Veracidad

La veracidad es la proximidad del resultado medio obtenido con el método y el valor real. Para asegurar la veracidad es necesario comparar el valor medio medido con un valor de referencia (que será el valor real o el considerado como tal). La veracidad puede ser determinada por el porcentaje de recuperación (Jurado, 2008).

2.2.1.4.1.1 Recuperación

Se refiere a la obtención de los valores esperados de los materiales de referencia. Se puede utilizar material de referencia certificado, un material interno del laboratorio (Eurachem, 2005). La recuperación permite observar el rendimiento de un método analítico en cuanto al proceso de extracción y la cantidad del analito existente en la muestra original. (Daffau, 2010).

$$\%Recuperación = \frac{\text{valor observado}}{\text{valor certificado}} \cdot 100 \quad (5)$$

2.2.1.4.2 Precisión

Cuando se realiza una determinación se deben obtener replicados, a partir de los cuales se puede observar el grado de concordancia que estos resultados tienen entre sí, este grado de concordancia se denomina precisión. La precisión se divide en dos parámetros repetibilidad y reproducibilidad (Jurado, 2008).

2.2.1.4.2.1 Repetibilidad

Grado de concordancia entre los resultados de mediciones repetidas de un mismo mensurando (sustancia a determinarse), llevadas a cabo totalmente bajo las mismas condiciones de medición. Las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento, analista, ubicación, instrumento y condiciones de medición. Las mediciones repetidas dentro de un corto período de tiempo (Eurachem, 2005).

2.2.1.4.2.2 Reproducibilidad

Es el grado de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mensurando, realizadas en distintas condiciones de medición. Estas condiciones pueden incluir: el principio en que se basa la medición, el método, analista e instrumento, material y patrones de referencia, ubicación, condiciones de uso y tiempo (CENAM, 2008).

El método para determinar la repetibilidad y la reproducibilidad de las mediciones están basados en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, representados como varianzas o desviaciones estándar. El método que se usa es el ANOVA (análisis de varianza)

$$s_r = \sqrt{DCM_W} \quad (6)$$

$$s_L^2 = \frac{DCM_B - DCM_W}{p} \quad (7)$$

$$s_R = \sqrt{s_r^2 + s_L^2} \quad (8)$$

Donde:

Sr: Desviación estándar de la repetibilidad

SL: Desviación estándar de la media

SR: Desviación estándar de la reproducibilidad

DCM_W: Diferencias cuadráticas medias dentro del grupo (Within)

DCM_B: Diferencias cuadráticas medias entre grupos (Between)

p: Número de observaciones que se realizan cada día (en cada nivel)

Tabla 1
Análisis simple de varianza para repetibilidad y reproducibilidad

Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas medias (DCM = SDC/v)
Entre grupos (Between)	$v_1 = k - 1$ $v_2 = n - k$	$SDC_B = \sum_{i=1}^k p (\bar{C}_i - \bar{C})^2$	$DCM_B = \frac{SDC_B}{v_1}$
Dentro del grupo (Withing)	$n = k * p$ $v_2 = n - k$	$SDC_W = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p (C_{ij} - \bar{C}_i)^2$	$DCM_W = \frac{SDC_W}{v_2}$
Global	$v = v_1 + v_2$ $v = n - 1$	$SDC_G = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p (C_{ij} - \bar{C})^2$ $SDC_G = SDC_B + SDC_W$	$DCM_G = \frac{SDC_G}{v}$

Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2008)

2.2.1.5 Rango de trabajo

Es el rango de concentraciones, que va desde los límites inferior y superior de cuantificación, que pueden ser cuantificadas de forma fiable y reproducible con exactitud y precisión, a través de la relación entre la concentración y la respuesta (Sección de Laboratorio y Asuntos Científicos de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), 2010).

$$LS = L_0 + t * S_{y.x} \quad (9)$$

$$LI = L_0 - t * S_{y.x} \quad (10)$$

En donde:

LS: Límite superior

LI: Límite inferior

L_0 : Corte de la recta con la ordenada al origen

$S_{y.x}$: Error en la estimación de y

t : El valor de la probabilidad de la distribución de t Student para n-2 grados de libertad ya que son dos variables y un nivel de confianza del 95%

2.2.1.6 Incertidumbre

La incertidumbre de medición es un parámetro único (usualmente una desviación estándar o un intervalo de confianza) que expresa el intervalo de posibles valores sobre la base de los resultados de medición. Una estimación de la incertidumbre de medición considera todos los efectos reconocidos que influyen en el resultado; las incertidumbres asociadas a cada efecto son combinadas de acuerdo a procedimientos bien establecidos (Eurachem, 2005).

La incertidumbre consta de varias componentes, los cuales pueden ser evaluados de distintas formas, la tipo A y la tipo B.

La tipo A se relaciona con fuentes de error aleatorio y pueden ser evaluadas a partir de distribuciones estadísticas de una serie de resultados que pueden caracterizarse por desviaciones estándar.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_{x,y}}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

Otro tipo de incertidumbre de tipo A es la incertidumbre dada por la precisión del método.

$$u(SR) = \frac{\%SR}{NC} * 100 \quad (12)$$

$$\%SR = \frac{SR}{\bar{y}} * 100 \quad (13)$$

Donde la incertidumbre dada por la precisión es $u(SR)$. SR es la desviación estándar de la reproducibilidad y \bar{y} es el promedio de la absorbancia dada por el equipo para cada nivel (Montoya, 2012) .

La incertidumbre tipo B no se determina por medios estadísticos, está asociada a los errores de tipo sistemático; esto se determina a partir de datos del fabricante del instrumento, especificaciones, certificados de calibración y en general de datos subjetivos.

$$u(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

Donde a_i es el valor del semi-intervalo de variación de la desviación estándar dada por el certificado de calibración del material volumétrico o de los reactivos y n es el número de repeticiones de cada nivel (Pastás, 2011). Para el cálculo de la incertidumbre de los estándares se utiliza la siguiente ecuación:

$$u[y(x_1, x_2, x_3, \dots)] = y \sqrt{\left(\frac{ux_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{ux_2}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{ux_3}{x_3}\right)^2 + \dots} \quad (15)$$

Para el cálculo de la incertidumbre combinada se utiliza la siguiente ecuación:

$$u_c[y(x_1, x_2, x_3, \dots)] = y \sqrt{u^2 x_1 + u^2 x_2 + u^2 x_3 + \dots} \quad (16)$$

Para el cálculo de la incertidumbre expandida se usa la siguiente ecuación:

$$u_{exp} = u_c \times k \quad (17)$$

Donde u_c es la incertidumbre combinada y k es un factor de cobertura que normalmente es de 2 con un nivel de confianza del 95% (Pastás, 2011).

2.3 Agua

El agua es el elemento que más abunda en nuestro planeta y es el único que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso. La mayor cantidad de agua está en los océanos, que contienen el 97% del agua que existe en nuestro planeta. Este tipo de agua permite la vida de la flora y fauna marina. En cambio el resto, que es el 3% corresponde al agua dulce, de la cual no toda se encuentra disponible ya que se encuentra formando casquetes polares y glaciares (FAO, 1996).

El agua y la agricultura están firmemente estrechas. El hombre siempre ha tratado de incrementar los rendimientos de sus cultivos, desde el principio se dio cuenta de que al regar constantemente se obtienen mayor cantidad de alimentos, por tanto, el objetivo primordial surge de asegurar un suministro apropiado de agua para las plantas y los animales, tanto en términos de cantidad como de calidad, se convirtió en una de las principales necesidades de la agricultura (IICA, 2014).

2.4 Calidad del agua para riego

La calidad del agua para riego se define como el conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas que constituyen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la producción de los cultivos y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua para riego se realiza mediante procedimientos analíticos, muestreos y monitoreo de cuerpos de agua en los cuales se trata de evaluar posibles alteraciones en las concentraciones físico químicas y biológicas que ocurren en el transcurso del tiempo, estos lineamientos se encuentran detallados en el Libro del TULAS (MAE, 2014).

2.5 Criterios para evaluar la calidad del agua de riego

La calidad de agua para riego ha sido objeto de innumerables investigaciones orientadas hacia la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas, químicas y microbiológicas.

En el siguiente estudio se adoptó los criterios propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) que son más aceptados a nivel mundial y desde el punto de vista de la normativa del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano. Los criterios de la FAO se basan en estudiar el agua

desde el punto de vista de la salinidad, problema de la infiltración, la toxicidad de iones específicos y efectos misceláneos.

2.5.1 Salinidad

Se refiere a la cantidad de sales que se encuentran en el agua, la cual se determina por medio de la conductividad eléctrica o contenido de sólidos totales disueltos. El riego continuado con aguas que tienen sales en solución puede traer como consecuencia la salinización de los suelos, reduciendo la disponibilidad de agua para planta. Las sales incrementan el esfuerzo que la planta debe ejercer para extraer el agua: esta fuerza adicional es la que se conoce como efecto osmótico o potencial osmótico (Ayers & Westcot, 1985).

2.5.2 El problema de Infiltración

El agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy baja (< 0.5 dS/m) y, especialmente, cuando es menor de 0.2 dS/m porque es corrosiva y tiende a lavar la superficie del suelo dejándola libre de iones solubles y sales, especialmente de calcio y magnesio reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora sobre los agregados y sobre la estructura del suelo, facilitando la dispersión y la oclusión de los poros (Ayers & Westcot, 1985).

2.5.3 Toxicidad de iones específicos

Los problemas de toxicidad ocurren cuando determinados componentes (iones de Cl^- y Na^+) en el suelo o el agua son absorbidos por la planta y se acumulan a concentraciones elevadas que pueden provocar daño a los cultivos o bajos rendimientos. El grado de daño depende de la absorción y del grado de sensibilidad del cultivo. El daño se produce a menudo a concentraciones relativamente bajas (Ayers & Westcot, 1985).

2.5.4 Problemas misceláneos

Dentro de este grupo se incluyen combinaciones de los casos anteriores, desbalances nutricionales ocasionados por excesos de determinados iones que traen como consecuencia reducciones en la cantidad y en la calidad de las cosechas, corrosión o deposición en equipos de riego y oclusión de tuberías. Aquí se evalúan el efecto del exceso de bicarbonatos, nitratos y pH (Ayers & Westcot, 1985).

2.5.5 Directrices de la calidad del agua de riego propuesto por la FAO

El uso de estas directrices es práctico y se han utilizado con éxito en la agricultura de riego general para la evaluación de los componentes comunes en las aguas. Las directrices propuestas en la tabla 2 enfatizan la influencia a largo plazo de la calidad del agua en la producción agrícola. Estas suposiciones deben ser claramente entendidas, pero no deben convertirse en requisitos rígidos. Como ocurre con muchas de estas herramientas interpretativas en la agricultura, se desarrolla para ayudar a técnicos y personas que trabajan dentro de las ramas de la agricultura para entender mejor el efecto de la calidad del agua sobre las condiciones del suelo y la producción agrícola (Ayers & Westcot, 1985).

Tabla 2
Directrices para las interpretaciones de la calidad del agua de riego

Problema Potencial de riego	Unidades	Grado de restricción		
		Ninguna	De leve a moderada	Severa
La salinidad (1)				
CE (2)	dS / m	<0,7	0,7-3,0	> 3.0
STD (3)	mg / L	<450	450 - 2000	>2000
Infiltración (4)				
RAS = 0 – 3 y CE =		> 0,7	0,7 a 0,2	<0,2
RAS =3 – 6 y CE=		> 1.2	1,2-0,3	<0,3
RAS =6 – 12 y CE=		> 1.9	1,9-0,5	<0,5
RAS =12 – 20 y CE=		> 2.9	2,9 a 1.3	<1.3
RAS =20 – 40 y CE=		> 5.0	5,0-2,9	<2.9
Toxicidad de iones específicos (5)				
El sodio				
riego superficial (6)	RAS	<3	3,1- 9	> 9
riego por aspersión	meq / L	<3	> 3	
Cloruro				
riego superficial	meq/ L	<4	4,0 - 10	> 10
riego por aspersión	meq/L	<3	> 3	
El boro (B)	mg / L	<0,7	0,7- 3	> 3
Efectos misceláneos (7)				
El nitrógeno (NO ₃ - N)	mg / L	<5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (Sobrecarga de aspersión solamente)	meq / L	<1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Rango normal 6.5 a 8.4		

(1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos, (2) CE = Conductividad eléctrica del agua de regadío, (3) SDT = Sólidos disueltos totales, (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo, (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos, (6) RAS, relación de absorción de sodio, (7) Afecta a los cultivos susceptibles.

Fuente: (Ayers & Westcot, 1985)

2.5.6 Criterios de la calidad del agua de riego agrícola del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE)

Según el Ministerio del Ambiente (MAE, 2014) se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la tabla 3 donde se establecen los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola desde el punto de vista la toxicidad de elementos traza y coliformes fecales como la *Escherichia coli*.

2.5.6.1 Toxicidad de elementos traza

Los elementos traza como el hierro, cobre, manganeso y zinc cuando se encuentran en gran cantidad en el agua de riego producen toxicidad en plantas, esto se evalúa de acuerdo a los límites permisibles por la normativa ecuatoriana.

2.5.6.2 Coliformes totales

Según (Pisabarro, 2009), pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae* y se los llamas así debido a que viven en el tracto intestinal (entérico) de animales de sangre caliente y humanos. También se sabe de enterobacterias que también se encuentran en vida libre en el agua y en el suelo. Las enterobacterias son bacilos gram-negativos anaerobios facultativos, son fermentadores de glucosa. Entre los principales géneros de enterobacterias se encuentran:

Shigella es un patógeno invasivo penetrante que causa disentería bacilar, es muy infecciosa y la ingestión de un número reducido de microorganismos es suficiente para causar la enfermedad (Pisabarro, 2009).

Salmonella causa enfermedades alimentarias enteritis, fiebre entérica (fiebre tifoidea o tifus), septicemia primaria (Pisabarro, 2009).

Proteus causa infecciones de las vías urinarias tales como cistitis y pielonefritis, sepsis, cálculos renales e infecciones de vejiga, infecciones de heridas y neumonías.

Klebsiella es un patógeno oportunista causantes frecuentes de infecciones nosocomiales. Las enfermedades que produce son: neumonía y rinitis. El contagio de estas enfermedades suele ser por el consumo de alimentos contaminados con materia fecal y por contagio oro-fecal (Pisabarro, 2009).

2.5.6.2.1 Escherichia coli

Escherichia coli es una bacteria que pertenece a la familia *Enterobacteriaceae* fermentadora de la lactosa, poseen enterotoxinas que afectan al funcionamiento del aparato digestivo y puede producir enfermedades tales como: infecciones gastrointestinales, neumonía, meningitis, enfermedades de las vías urinarias: cistitis y pielonefritis, diarreas acuosas y diarreas con sangre. Estas enfermedades son causadas por el consumo de agua o alimentos contaminados con materia fecal y son más susceptibles niños menores de 5 años, adultos mayores y personas que se encuentren inmunodeprimidas (Pisabarro, 2009). Ver tabla 3.

Tabla 3
Criterios de calidad de agua de riego dispuesto por el MAE

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aluminio	Al	mg/L	5.00
Arsénico	As	mg/L	0.10
Berilio	Be	mg/L	0.10
Boro	B	mg/L	0.75
Cadmio	Cd	mg/L	0.05
Zinc	Zn	mg/L	2.00
Cobalto	Co	mg/L	0.01
Cobre	Cu	mg/L	0.20
Cromo	Cr +6	mg/L	0.10
Flúor	F	mg/L	1.00
Hierro	Fe	mg/L	5.00
Litio	Li	mg/L	2.50
Mercurio	Hg	mg/L	0.001
Manganeso	Mn	mg/L	0.2
Molibdeno	Mo	mg/L	0.01
Níquel	Ni	mg/L	0.20
Plomo	Pb	mg/L	5.00
Selenio	Se	mg/L	0.02
Vanadio	V	mg/L	0.01
Coliformes fecales	NMP		1000
Huevos parásitos			Ausencia
Aceites y grasas	Película visible		Ausencia
Materia flotante	Visible		Ausencia

Fuente: (MAE, 2014)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Ubicación de la zona de estudio

El Sistema de Riego El Pisque se encuentra ubicado en el noreste de la provincia de Pichincha, en la parte nororiental del Cantón Quito, y dentro de la microcuenca del río Pisque que pertenece a la subcuenca del río Guayllabamba. La bocatoma que se conecta al canal principal del Sistema de Riego se encuentra en el Río Guachalá. “A este río legan también a través de un túnel de trasvase las aguas del río Granobles que juntos forman el río Pisque. Ambos ríos se encuentran en el cantón Cayambe y alimentan el canal principal del Sistema de Riego El Pisque”. (A. Valarezo, comunicación personal, 9 de mayo de 2017). Ver figura 2.

El canal de riego principal tiene una longitud de 60 km hacia el sur y a lo largo del mismo se ubican 59 tomas de agua en total, que se unen a los canales secundarios. El caudal de agua, adjudicado por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) al Sistema de Riego el Pisque, es de 5200 L/s. la organización que está a cargo de gestionar, administrar y manejar éste sistema es la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego el Pisque (JGUSRP) (Ramos, 2016).



Figura 2 Ubicación del Sistema de Riego el Pisque desde el río Guachalá hasta la última toma ubicada en la parroquia Pifo del cantón Quito.

Fuente: (Mencías, 2015)

El Sistema de Riego El Pisque inicia desde la bocatoma en el río Guachalá. El sistema sirve para regar las parroquias de Otón, Cusubamba, Ascázubi (del cantón Cayambe), El Quinche, Guayllabamba, Checa, Yaruquí, Tababela, Pifo y Puembo (del cantón Quito) donde concluye el sistema (Mencías, 2015), ver figura 2.

El presente estudio se llevó a cabo en la parte sur del Sistema de Riego el Pisque, desde la toma 59 del canal principal ubicada en la parroquia Pifo hasta la parroquia Puembo. El canal secundario tiene una longitud de 8,63 km.

En las parroquias de Pifo y Puembo los cultivos predominantes son: pastos, maíz, fréjol, habas, trigo, cebada, papas, hortalizas, frutales y flores.

3.1.1 Ubicación de los sitios de muestreo

El muestreo se realizó en tres puntos ubicados en las parroquias de Pifo y Puembo. El primer punto se ubicó en la toma N° 59 que es la última del canal principal en la parroquia de Pifo, el segundo punto fue ubicado en el redondel de Pifo y el tercer punto, en Puembo como se puede observar en la figura 3 y en la tabla 4.

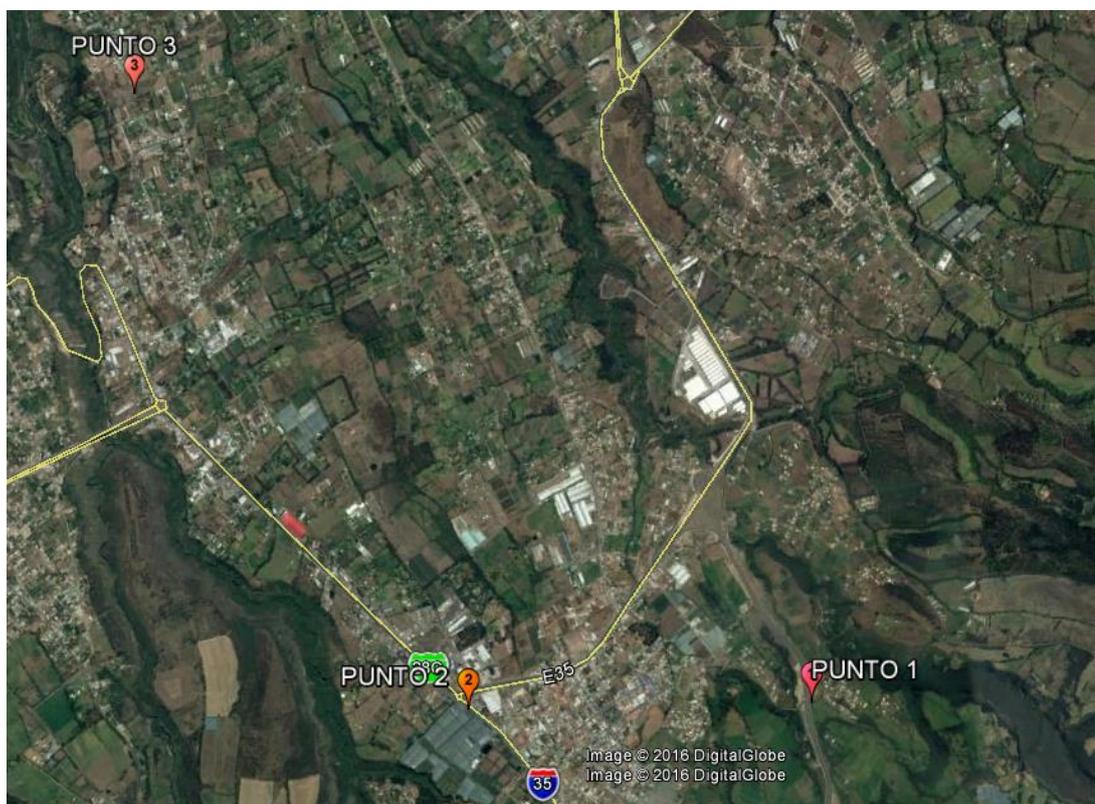


Figura 3 Ubicación geográfica georeferenciada de los tres puntos: 1, 2 y 3 de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque

La ubicación de los puntos 1, 2 y 3 a ser monitoreados se seleccionaron con el fin de que proporcionen una muestra de agua representativa, preferiblemente, donde se observe la posibilidad de que ocurran cambios marcados en la calidad, o donde la utilización del agua del canal es importante. Otra razón fue la accesibilidad o facilidad para acceder a los puntos de muestreo.

Tabla 4

Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el canal secundario Pifo – Puenbo del Sistema de Riego El Pisque y fechas de muestreo

Puntos de muestreo	Latitud (N)	Longitud (E)	Altura (msnm)	Parroquia	Día	Fecha
Punto 1	9975111m	797497m	2630	Pifo	1	24/06/2016
					2	27/06/2016
Punto2	9975021m	795303m	2589	Pifo	3	29/06/2016
					4	01/07/2016
Punto 3	9978837m	793035m	2.434	Puenbo	5	04/07/2016
					6	06/07/2016

3.1.2 Clima

Se consideraron las estaciones meteorológicas de la Tola- Tumbaco (M0002) y Yaruquí (M0346) pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), ver la figura 2. De estas se tomaron los datos de precipitación y temperatura de los últimos 40 años de la zona de estudio.

3.1.2.1 Temperatura y precipitación

Según el INHAMI, del análisis de la serie de temperatura y precipitación registrada en las estaciones meteorológicas de La Tola - Tumbaco y Yaruquí, de los años 1965 al 2014, se observó que la temperatura promedio de las estaciones durante este periodo fue de aproximadamente 16,1°C, con una temperatura máxima de 24,6°C y una mínima de 12,7°C citado en (Mencías, 2015).

Según el INHAMI las precipitaciones en la zona variaron, los meses menos lluviosos fueron entre junio a septiembre, con una precipitación media mensual de 51 mm y los meses de enero a mayo fueron los que registraron mayores precipitaciones con aproximadamente 173 mm de promedio mensual citado en (Mencías, 2015).

Los parámetros seleccionados para evaluar la calidad del agua de riego del canal secundario Pifo-Puenbo del Sistema de Riego El Pisque fueron potasio, calcio,

magnesio, sodio, cobre, manganeso, hierro, zinc, así como la conductividad eléctrica, pH, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, dureza y relación adsorción sodio.

3.1.3 Suelos de las zonas

En las parroquias de Pifo y Puenbo se encuentran suelos que poseen una coloración que va desde de color pardo oscuro a muy negro, su origen proviene de cenizas volcánicas, se encuentran sobre material cementado (cangahua) a menos de un metro de profundidad, su textura es arenosa y areno limosa (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1979).

3.2 Materiales

3.2.1 Materiales y Equipo de Laboratorio

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer
- Plancha de calentamiento Thermo scientific
- Matraces Erlenmeyer de 125 mL
- Balones aforados de 100 mL
- Campana de extracción
- Pipetas volumétricas
- Pipetas de volumen variable Brand
- Vasos de precipitación
- Tubos de ensayo
- Bureta digital Brand

3.2.2 Materiales y equipos de Campo

- Potenciómetro portátil Mettler Toledo
- Conductívimetro Mettler Toledo
- Envases de polietileno de 1 L
- Una caja de refrigeración
- GPS Garmin Etrex H

3.3 Reactivos

- Acetileno de grado comercial estándar AGA.
- Agua desionizada (d.i.).
- Ácido clorhídrico al 37% Merck.
- Solución de calcio.

- Solución de lantano.
- Peróxido de hidrógeno al 30% marca Merck.
- Ácido nítrico HNO₃ al 60% Merck.
- Soluciones estándares de calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc en concentración de 1000 mg/L, marca AccuStandard.
- Material de Referencia Certificado de calcio 21,9 mg/L, magnesio 6,49 mg/L, potasio 22,1 mg/L y sodio 39,4 mg/L, marca ERA.
- Material de Referencia Certificado de cobre 0,33 mg/L, hierro 1,38 mg/L, manganeso 1,46 mg/L y zinc 1,86 mg/L, marca ERA.

3.4 Métodos

3.4.1 Metodología para la toma de muestras

Las muestras se tomaron directamente en tres puntos del canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque. Se tomó 1 L de muestra para metales en envase de polietileno adicionando 5 mL de ácido nítrico como preservante, 1L de muestra para carbonatos, bicarbonatos, cloruros, pH, conductividad eléctrica en envase de polietileno. Se tomó muestras para el análisis microbiológico en envase esterilizado de plástico de 125 mL.

Se procedió a etiquetar cada uno de los envases con información acerca del lugar, parroquia fecha, tipo de análisis, número de repetición, nombre del colector, tipo de preservación. Luego se los colocó en la caja de refrigeración a 4 °C para garantizar su buen estado y la cadena de custodia hasta el posterior análisis en laboratorio. Se determinó “*in situ*” el pH, además, el muestreo se lo realizó durante seis días en tres puntos del canal y con tres repeticiones por tipo de análisis.

3.4.2 Preservación de la muestra para metales

Tomada la muestra para metales, se aciduló con 5 mL de HNO₃ al 60% hasta un pH aproximadamente de 2. Se conservó la muestra después de acidulada aproximadamente a 4°C hasta su posterior análisis (APHA, 2006).

3.4.3 Preparación de la muestra

Se transfirió 100 mL de la muestra acidulada a un matraz Erlenmeyer, bajo una campana de extracción se añadió 5 mL de HNO₃ al 60%, luego se refluyó la solución suavemente en la plancha calefactora (aproximadamente 95 °C) y se dejó evaporar

hasta el menor volumen posible sin que ocurra precipitación (10 a 20 mL), después se agregó perlas de vidrio para ayudar a la ebullición y reducir al mínimo las salpicaduras. Se continuó con el calentamiento y se añadió HNO₃ al 60%, hasta que la digestión estuvo completa, esto es cuando el digerido tiene un color claro o transparente. Luego se lavó las paredes del matraz con agua d.i., se filtró con papel filtro whatman y se transfirió cuantitativamente el digerido a un balón aforado de 100 mL y se aforó con agua d.i. y se agitó.

3.4.4 Preparación de estándares de la curva de calibración y método del estándar interno

Para elaborar la curva de calibración se seleccionó un blanco y seis soluciones estándares que cubran el rango de concentraciones esperado de la muestra y que estén en el rango óptimo del elemento a determinar, ver tabla 5, en base a esto se preparó una solución madre para micro elementos (hierro, cobre, manganeso y zinc y otra para macro elementos (calcio, magnesio, sodio y potasio) (APHA, 2006).

Tabla 5
Límites de detección, sensibilidad, longitud de onda y rangos óptimos de concentración de elementos para la determinación por espectrofotometría de absorción atómica de llama

Elemento	Longitud de onda (nm)	Gases de la Llama	Límite de detección del instrumento (mg/L)	Sensibilidad (mg/L)	Rango óptimo de concentración (mg/L)
Ca	422,7	A-Ac	0,003	0,08	0,2-20
Cu	324,7	A-Ac	0,01	0,1	0,2-10
Fe	248,3	A-Ac	0,02	0,12	0,3-10
K	766,5	A-Ac	0,005	0,04	0,1-2
Mg	285,2	A-Ac	0,0005	0,007	0,02-2
Mn	279,5	A-Ac	0,01	0,05	0,1-10
Na	589	A-Ac	0,002	0,015	0,03-1
Zn	213,9	A-Ac	0,005	0,02	0,05-2

Fuente: (APHA, 2006)

Para la preparación de la serie de soluciones estándares de metales se preparó una solución madre. Se diluyó apropiadamente cada solución estándar de 1000 mg/L

con agua d.i. y 0,5 mL de HNO₃ al 60% para cubrir el rango óptimo de concentraciones de la siguiente manera:

3.4.4.1 Preparación de la solución madre para micro elementos

En un balón de 100 mL se preparó la solución madre de micro elementos donde se tomó: 1mL de estándar de hierro de 1000 mg/L con pipeta volumétrica, 1mL de estándar de cobre de 1000 mg/L con pipeta volumétrica, 1mL de estándar de manganeso de 1000 mg/L con pipeta volumétrica, 0.2 mL de estándar de zinc de 1000 mg/L con pipeta volumétrica y 0,5 mL de ácido nítrico concentrado al 60%.

Esta solución madre se aforó a 100 mL con agua d.i.. La concentración de la solución madre fue de 10 mg/L para hierro, cobre, manganeso y de 2 mg/L para zinc, esta solución madre fue el estándar seis, ver tabla 5.

De la solución madre se realizaron diluciones para preparar seis estándares con variadas concentraciones hasta un volumen de 10 mL con pipetas volumétricas. Ver tabla 6.

Tabla 6
Preparación de seis estándares de micro elementos de acuerdo al rango óptimo de concentración de cada elemento.

No. estándar	Volumen de solución madre (mL)	Concentración final del estándar de Fe (mg/L)	Concentración final del estándar de Cu (mg/L)	Concentración final del estándar de Mn (mg/L)	Concentración final del estándar de Zn (mg/L)
1	0,1	0.1	0.1	0.1	0.02
2	1	1	1	1	0.2
3	2,5	2.5	2.5	2.5	0.5
4	5	5	5	5	1
5	7,5	7.5	7.5	7.5	1.5
6	10	10	10	10	2

3.4.4.2 Preparación de la solución madre para macro elementos

En un balón de 100 mL se preparó la solución madre de macro elementos donde se tomó con pipeta volumétrica: 2 mL de estándar de calcio de 1000 mg/L, 2 mL de estándar de sodio de 1000 mg/L, 0,2 mL de estándar de potasio de 1000 mg/L, 0.2 mL de estándar de magnesio de 1000 mg/L y 0,5 mL de ácido nítrico concentrado al 60%. Esta solución madre se aforó a 100 mL con agua d.i. La concentración de la solución madre fue de 20 mg/L para calcio y sodio y de 2 mg/L para potasio y

magnesio, esta solución madre fue el estándar seis, ver tabla 6. De la solución madre se realizaron diluciones con pipetas volumétricas para preparar seis estándares con variadas concentraciones hasta un volumen de 10 mL, ver tabla 7.

Tabla 7
Preparación de seis estándares de macro elementos de acuerdo al rango óptimo de concentración de cada elemento.

No. estándar	Volumen de solución madre (mL)	Concentración final del estándar de Ca (mg/L)	Concentración final del estándar de Na (mg/L)	Concentración final del estándar de K (mg/L)	Concentración final del estándar de Mg (mg/L)
1	0,1	0.02	0.02	0.02	0.02
2	1	2	2	0,2	0.2
3	2,5	5	5	0.5	0.5
4	5	10	10	1	1
5	7,5	15	15	1.5	1.5
6	10	20	20	2	2

3.4.4.3 Preparación del método del estándar interno

Se prepararon tres niveles de concentraciones conocidas para los macro y micro elementos: nivel bajo, nivel medio y nivel alto, estos niveles se prepararon dentro del rango óptimo de concentraciones, ver tabla 8.

Tabla 8
Niveles de concentración del método del estándar interno

	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	K	Ca	Mg
Nivel bajo	0,50	0,50	0,50	0,10	4,00	0,10	1,00	0,10
Nivel medio	2,00	1,00	1,00	0,30	9,00	1,00	3,00	0,20
Nivel alto	9,00	9,00	9,00	1,80	18,00	1,80	18,00	1,80

3.5 Procedimiento de lectura de la muestra en el espectrofotómetro de absorción atómica

Para determinar Ca y Mg, se mezcló 10 mL de la muestra y de la serie de estándares con 1 mL de solución de lantano antes de la lectura, para determinar Fe y Mn, se mezcló 10 mL de la muestra y de la serie de estándares con 2,5 mL de solución de calcio antes de la lectura. Luego se seleccionó la lámpara del elemento

que se va a usar, la longitud de onda y el ancho del slip y se ajustó el mechero, vertical y horizontalmente, hasta obtener la máxima respuesta. Después se encendió la llama y se reguló el flujo del acetileno y del aire, se aspiró un blanco consistente en agua con óxido de lantano o solución de calcio según sea el caso en la misma concentración en las muestras y en la serie de estándares. A continuación se leyó dos veces el blanco para ajustar a cero el instrumento y se calibró el instrumento con la serie de soluciones estándares empezando por el blanco y terminando con el estándar más alto. Enseguida se leyeron las soluciones y se registró la concentración del elemento en el blanco, estándares y muestras y al finalizar el análisis, se aspiró el blanco y se cerró primero la válvula del acetileno y luego la del aire (APHA, 2006).

3.6 Parámetros de validación

Los parámetros de validación que se determinaron fueron: límite de detección, límite de cuantificación, linealidad, exactitud, precisión, linealidad e incertidumbre. Estos parámetros se determinaron en ocho elementos: calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, cobre, manganeso y zinc para aguas. Para esto se elaboraron seis estándares y un blanco para realizar las curva de calibración de cada elemento.

Luego se corrieron las curvas de calibración durante cinco días con tres repeticiones por día para cada uno de los estándares en los ocho elementos. Estos parámetros se presentaron en un registro de validación a la institución Agrocalidad para los ocho elementos calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc que aplica a aguas de todo tipo.

3.7 Diseño Experimental

Para evaluar la calidad del agua de riego se implementó un diseño completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3 x 6 con 3 repeticiones.

3.7.1 Factores

Los sitios de muestreo identificados como: Punto 1, Punto 2 y Punto 3 y el tiempo que duró el monitoreo (Día 1, Día 2, Día 3, Día 4, Día 5, Día 6).

3.7.2 Tratamientos

Tabla 9 Tratamientos del estudio

N° trat.	Tratamiento	N° trat.	Tratamiento
T1	Día 1 x Punto 1	T10	Día 4 x Punto 1
T2	Día 1 x Punto 2	T11	Día 4 x Punto 2
T3	Día 1 x Punto 3	T12	Día 4 x Punto 3
T4	Día 2 x Punto 1	T13	Día 5 x Punto 1
T5	Día 2 x Punto 2	T14	Día 5 x Punto 2
T6	Día 2 x Punto 3	T15	Día 5 x Punto 3
T7	Día 3 x Punto 1	T16	Día 6 x Punto 1
T8	Día 3 x Punto 2	T17	Día 6 x Punto 2
T9	Día 3 x Punto 3	T18	Día 6 x Punto 3

3.7.3 Tipo de diseño

El experimento fue un diseño completamente al azar en arreglo factorial 3 x 6 con 3 repeticiones.

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + e_{k(i)} + T_j + ST_{ij} + e_{ijk} \quad (18)$$

Donde:

Y_{ijk} : Calidad del agua para regadío

μ : Media general

S_i : Efecto del i-ésimo sitio

$e_{k(i)}$: error para el sitio

T_j : Efecto del j-ésimo tiempo

ST_{ij} : efecto de la interacción sitio x tiempo

e_{ijkl} : Error experimental

3.7.4 Características de la unidad experimental

La unidad experimental consistió en un área de 5 m² de cada punto del canal donde se tomó las muestras de agua.

3.7.5 Croquis del diseño

Se realizó una disposición en el campo del diseño experimental de los tratamientos.

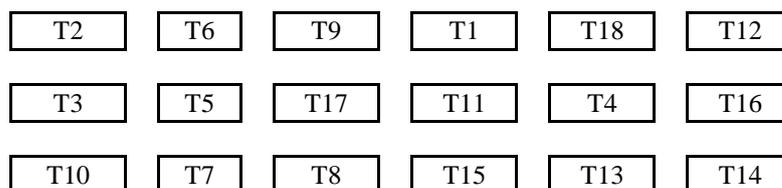


Figura 4 Disposición del diseño experimental en el campo

3.7.6 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) como se indica en la tabla 10.

3.7.7 Esquema del análisis de varianza

Tabla 10
Análisis de varianza para determinar la calidad del agua

F de V	g l
Total	53
Sitio	2
Tiempo	5
Sitio x Tiempo	10
Error	36

F de V: Fuentes de variación

g l: grados de libertad

3.7.8 Análisis funcional

Se utilizó la prueba de comparación de medias LSD al 5%. Estas pruebas se realizaron con el programa estadístico Infostat.

3.7.9 Variables a Medir

Los nutrientes potasio, calcio, magnesio, sodio, cobre, hierro, manganeso y zinc se determinaron mediante absorción atómica (AA) con un espectrofotómetro Perkin Elmer, donde se leyó primero dos blancos y luego se corrió la curva de calibración con seis estándares para cada elemento y enseguida se leyeron las muestras, estos resultados se expresan en miligramos/ Litro (mg/L).

La dureza se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza} = (\text{Ca} * 2,5) + (\text{Mg} * 4,12) \quad (19)$$

Donde:

Ca: Concentración del ion calcio en mg/L, Mg: Concentración del ion magnesio en mg/L y Dureza: Contenido de calcio y magnesio expresado en mg/L

La conductividad eléctrica (CE) se determinó con un conductivímetro Mettler Toledo el cual se lo calibró previamente con una solución de conductividad eléctrica conocida, luego se introdujo el sensor directamente en la muestra y se generó automáticamente la lectura del instrumento, expresada en descisiemens/metro (dS/m).

Los sólidos totales disueltos (STD) se determinaron mediante el método gravimétrico mediante la filtración en una bomba de vacío y papel filtro, luego se evaporó y pesó las muestras.

La relación adsorción sodio (RAS) se determinó por medio de la fórmula:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (20)$$

Na⁺: concentración del ion sodio en meq/L, Ca²⁺: concentración del ion calcio en meq/L, Mg²⁺: concentración del ion magnesio en meq/L y RAS: valor adimensional

El contenido de cloruros se determinó mediante método volumétrico, añadiendo a las muestras de agua cromato de potasio y titulando con nitrato de plata hasta que cambie de color amarillo a color ladrillo. Los resultados se expresaron en mg/L.

Los bicarbonatos se determinaron mediante el método volumétrico añadiendo verde de bromo cresol a las muestras y titulando con ácido sulfúrico hasta que cambie de color verde a un color azul. Los resultados se expresaron en mg/L.

El pH se determinó con la ayuda de un potenciómetro Mettler Toledo, el cual se lo calibró previamente con una solución de pH conocida, luego se introdujo el sensor directamente en la muestra donde se generó automáticamente la lectura por el instrumento.

Los carbonatos se determinaron mediante el método volumétrico añadiendo fenolftaleína a las muestras y si tomaban un color rosado se las titulaba con ácido sulfúrico hasta que se haga transparente. Los resultados se expresaron en mg/L.

Los coliformes totales y E. coli se determinaron mediante la técnica del número más probable (NMP), en el cual se realizaron 3 diluciones de la muestra, en donde se tomaron 10mL, 1mL y 0,1 mL, de la muestra y en cada dilución se preparó en cinco repeticiones en tubos de ensayo. Luego se añadió 10 mL de un medio de cultivo cromogénico Fluorocult y se incubó durante 24 hora a 37°C. En las muestras positivas para coliformes totales se observó que las muestras tomaron un color verde azulado. En las muestras positivas de coliformes totales se determinó la presencia y contenido de E. coli. A estas muestras se las llevó a la cámara UV donde se observó la fluorescencia de las muestras detectando la presencia de E. coli.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Validación de métodos analíticos

Con los estándares de macro y microelementos se elaboraron las curvas de calibración durante cinco días con tres repeticiones donde se registraron las absorbancias de cada estándar y sus repeticiones durante este periodo. Las absorbancias obtenidas se procedieron a tabularlas de acuerdo a las ecuaciones correspondientes a cada parámetro de validación. De éstos cálculos se obtuvieron los siguientes resultados:

El límite de detección se calculó con la ecuación (3) y los resultados que se obtuvieron para calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, cobre, manganeso y zinc fue de 0,02 mg/L.

El límite de cuantificación se calculó con la ecuación (4) y los resultados que se obtuvieron fueron: 0,99 mg/L para calcio, 0,11 mg/L para magnesio, 4,09 mg/L para sodio, 0,10 mg/L para potasio, 0,49 mg/L para cobre, 0,44 mg/L para hierro, 0,48 mg/L para manganeso y 0,11 mg/L para zinc.

La exactitud se calculó a través del porcentaje de recuperación con la ecuación (5). En la tabla 11 se observan los resultados en porcentaje de recuperación de los cationes en el material de referencia certificado (MRC) y de los elementos químicos presentes en la muestra utilizando los tres niveles de concentración mediante el método del estándar interno.

Tabla 11
Porcentaje de recuperación de macro y micro elementos presentes en el material de referencia y de la muestra en tres niveles de concentración usando el método del estándar interno

% Recuperación	MRC	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Calcio	99,43%	99,40%	99,20%	99,50%
Magnesio	87,49%	107,33%	97,33%	101,44%
Sodio	96,07%	102,20%	99,49%	99,51%
Potasio	95,84%	102,67%	99,27%	99,67%
Cobre	85,86%	98,40%	97,00%	97,47%
Hierro	92,42%	87,73%	99,60%	104,10%
Manganeso	96,99%	96,27%	100,67%	97,18%
Zinc	97,20%	105,33%	98,22%	100,96%

La precisión se calculó a través de la repetibilidad para tres niveles de concentración del método del estándar interno. Ver tabla 12.

Tabla 12
Porcentaje del coeficiente de variación de la desviación estándar para la repetibilidad

% CV _{Sr}	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Calcio	3,12%	0,97%	1,47%
Magnesio	6,36%	5,63%	1,82%
Sodio	1,13%	0,24%	0,53%
Potasio	4,36%	3,21%	0,54%
Cobre	1,05%	1,51%	2,85%
Hierro	3%	0,86%	4,72%
Manganeso	1,86%	2,21%	2,84%
Zinc	6,36%	3,50%	3,86%

La precisión también se calculó a través de la reproducibilidad para tres niveles de concentración del método del estándar interno. Ver tabla 13.

Tabla 13
Porcentaje del coeficiente de variación de la desviación estándar para la reproducibilidad

% CV _{SR}	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Calcio	4,17%	1,16%	1,80%
Magnesio	7,61%	6,52%	2,08%
Sodio	1,26%	0,25%	0,62%
Potasio	4,48%	4,30%	0,55%
Cobre	1,15%	1,73%	3,82%
Hierro	3,96%	1,11%	5,05%
Manganeso	1,91%	2,42%	2,87%
Zinc	7,61%	3,87%	5%

La linealidad se evaluó de acuerdo al coeficiente de correlación de las curvas de calibración de la ecuación (2). En la tabla 14 se encuentran los resultados obtenidos de la linealidad.

Tabla 14
Coeficiente de correlación de las curvas de calibración para macro y microelementos

Elemento	R ²
Calcio	0,99992
Magnesio	0,99995
Sodio	0,9993
Potasio	0,99996
Cobre	0,9999
Hierro	0,99994
Manganeso	0,99992
Zinc	0,99992

La incertidumbre se calculó utilizando las ecuaciones 15, 16 y 17 para cada uno de los niveles de concentración del método del estándar interno: nivel bajo, nivel medio y nivel alto. En la tabla 15 se encuentran los porcentajes de incertidumbre obtenidos.

Tabla 15
Porcentaje de incertidumbre para cada nivel y elemento

	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Calcio	27,90%	12,10%	11,34%
Magnesio	23,27%	15,63%	6,44%
Sodio	15,73%	5,17%	3,07%
Potasio	22,66%	17,40%	15,03%
Cobre	25,32%	10,29%	8,83%
Hierro	24,35%	6,54%	11,63%
Manganeso	24,03%	9,98%	7%
Zinc	27,63%	18,30%	19,44%

3.1.1 Resultados de las pruebas de validación

3.1.1.1 Validación de calcio

Tabla 16

Resultados de las pruebas de validación para calcio

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02	
	LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3	
			Hoja 1 de 1	
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Macroelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Calcium (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS	OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE	
LIMITE DETECCION	0,20 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE	
LIMITE CUANTIFICACION	2,00 mg/L	0,99 mg/L	CUMPLE	
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	99,43 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	99,40 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	99,20 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	99,50 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 7\%$	3,12 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 7\%$	0,97 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 7\%$	1,47 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 10\%$	4,17 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 10\%$	1,16 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 10\%$	1,80 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima	0,00539	EVALUADO	
	Pendiente máxima	0,00555	EVALUADO	
	Intercepto mínimo	-0,00077	EVALUADO	
	Intercepto máximo	0,00090	EVALUADO	
b. COEFICIENTE CORRELACION	$R^2 \geq 0,995$	0,99992	EVALUADO	
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	27,90	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	12,10	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	11,34	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
<p>Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/28 Determinación de Macroelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliars y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,99 mg/L-17,91mg/L.</p>				

3.1.1.2 Validación de magnesio

Tabla 17

Resultados de las pruebas de validación para magnesio

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO		DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02
		LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3
				Hoja 1 de 1
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Microelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Magnesium (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS		OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE
LIMITE DETECCION		0,02 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE
LIMITE CUANTIFICACION		0,20 mg/L	0,11 mg/L	CUMPLE
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	87,49 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	107,33 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	97,33 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	101,44 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 7\%$	6,36 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 7\%$	5,63 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 7\%$	1,82 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 10\%$	7,61 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 10\%$	6,52 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 10\%$	2,08 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,48667	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,49875	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00729	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00380	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99995	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	23,27	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	15,63	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	6,44	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/ Determinación de Macroelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliars y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,11 mg/L - 1,83 mg/L.				

3.1.1.3 Validación de sodio

Tabla 18

Resultados de las pruebas de validación para sodio

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO		DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02
		LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3
				Hoja 1 de 1
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Macroelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Sodium (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS		OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE
LIMITE DETECCION		2,00 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE
LIMITE CUANTIFICACION		5,00 mg/L	4,09 mg/L	CUMPLE
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	96,07 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	102,20 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	99,49 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	99,51 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 7\%$	1,13 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 7\%$	0,24 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 7\%$	0,53 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{SR} \leq 10\%$	1,26 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{SR} \leq 10\%$	0,25 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{SR} \leq 10\%$	0,62 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,01296	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,01477	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00798	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00665	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99930	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	15,73	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	5,17	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	3,07	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
<p>Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/ Determinación de Macroelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliar y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 4,09 mg/L - 17,91 mg/L.</p>				

3.1.1.4 Validación de potasio

Tabla 19

Resultados de las pruebas de validación para potasio

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02	
	LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3	
			Hoja 1 de 1	
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Macroelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Potassium (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS		OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE
LIMITE DETECCION		0,02 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE
LIMITE CUANTIFICACION		0,20 mg/L	0,10 mg/L	CUMPLE
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	95,84 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	102,67 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	99,27 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	99,67 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 7\%$	4,36 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 7\%$	3,21 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 7\%$	0,54 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 10\%$	4,48 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 10\%$	4,30 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 10\%$	0,55 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,11334	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,11567	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00116	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00133	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99996	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	22,66	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	17,40	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	15,03	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
<p>Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/ Determinación de Macroelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliars y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,10 mg/L-1,79 mg/L.</p>				

3.1.1.5 Validación de cobre

Tabla 20

Resultados de las pruebas de validación para cobre

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN			PGT/LA/03-FO02
	LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS			Rev. 3
				Hoja 1 de 1
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Microelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Copper (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS		OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE
LIMITE DETECCION		0,10 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE
LIMITE CUANTIFICACION		1,00 mg/L	0,49 mg/L	CUMPLE
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	85,86 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	98,40 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	97,00 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	97,47 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{Sr} \leq 7\%$	1,05 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{Sr} \leq 7\%$	1,51 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{Sr} \leq 7\%$	2,85 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{SR} \leq 10\%$	1,15 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{SR} \leq 10\%$	1,73 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{SR} \leq 10\%$	3,82 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,03230	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,03331	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00264	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00241	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99990	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	25,32	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	10,29	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	8,83	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
<p>Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/28 Determinación de Microelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,49 mg/L - 8,77 mg/L.</p>				

3.1.1.6 Validación de hierro

Tabla 21

Resultados de las pruebas de validación para hierro

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO		DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02
		LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3
				Hoja 1 de 1
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Microelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Iron (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS		OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE
LIMITE DETECCION		0,10 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE
LIMITE CUANTIFICACION		1,00 mg/L	0,44 mg/L	CUMPLE
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	92,42 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	87,73 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	99,60 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	104,10 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 7\%$	3,00 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 7\%$	0,86 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 7\%$	4,72 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{SR} \leq 10\%$	3,96 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{SR} \leq 10\%$	1,11 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{SR} \leq 10\%$	5,05 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,02357	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,02426	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00220	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00140	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99994	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	24,35	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	6,54	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	11,63	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/28 Determinación de Microelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,44 mg/L-9,37 mg/L.				

3.1.1.7 Validación de manganeso

Tabla 22

Resultados de las pruebas de validación para manganeso

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO		DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02
		LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3
				Hoja 1 de 1
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Microelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Manganesum (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS		OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE
LIMITE DETECCION		0,10 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE
LIMITE CUANTIFICACION		1,00 mg/L	0,48 mg/L	CUMPLE
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	96,99 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	96,27 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	100,67 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	97,18 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{sr} \leq 7\%$	1,86 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{sr} \leq 7\%$	2,21 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{sr} \leq 7\%$	2,84 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{SR} \leq 10\%$	1,91 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{SR} \leq 10\%$	2,42 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{SR} \leq 10\%$	2,87 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,03532	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,03624	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00366	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00147	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99992	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	24,03	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	9,98	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	7,00	CUMPLE
OTROS:				
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/ Determinación de microelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,48 mg/L-8,75 mg/L.				

3.1.1.8 Validación de zinc

Tabla 23

Resultados de las pruebas de validación para zinc

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO		DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN		PGT/LA/03-FO02
		LABORATORIO: SUELOS, FOLIARES Y AGUAS		Rev. 3
				Hoja 1 de 1
1. MÉTODO DE ENSAYO				
	INTERNO	PEE/SFA/ , Determinación de Microelementos		
	REFERENCIA	APHA 3500, Zinc (atomic absorption, direct aspiration)		
2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN				
PARÁMETROS	OBJETIVO DE VALIDACIÓN	RESULTADO	CUMPLE / NO CUMPLE	
LIMITE DETECCION	0,02 mg/L	0,02 mg/L	CUMPLE	
LIMITE CUANTIFICACION	0,20 mg/L	0,11 mg/L	CUMPLE	
EXACTITUD				
a. VERACIDAD / RECUPERACION	MRC	80%-120%	97,20 %	CUMPLE
	NIVEL BAJO	80%-120%	105,3 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	80%-120%	98,22 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	80%-120%	100,9 %	CUMPLE
PRECISION				
b. REPETIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{Sr} \leq 7\%$	6,36 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{Sr} \leq 7\%$	3,50 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{Sr} \leq 7\%$	3,86 %	CUMPLE
c. REPRODUCIBILIDAD	NIVEL BAJO	$CV_{SR} \leq 10\%$	7,61 %	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$CV_{SR} \leq 10\%$	3,87 %	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$CV_{SR} \leq 10\%$	5,00 %	CUMPLE
LINEALIDAD				
a. FUNCION RESPUESTA	Pendiente mínima		0,08297	EVALUADO
	Pendiente máxima		0,08548	EVALUADO
	Intercepto mínimo		-0,00149	EVALUADO
	Intercepto máximo		0,00116	EVALUADO
b. COEFICIENTE CORRELACION		$R^2 \geq 0,995$	0,99992	EVALUADO
INCERTIDUMBRE	NIVEL BAJO	$U \leq 30\%$	27,63	CUMPLE
	NIVEL MEDIO	$U \leq 30\%$	18,30	CUMPLE
	NIVEL ALTO	$U \leq 30\%$	19,44	CUMPLE
4. CONCLUSIONES SOBRE DECLARACIÓN DE VALIDACIÓN				
Una vez revisado los resultados de la validación y comparados con los objetivos establecidos, declaramos que el método de ensayo PEE/SFA/ Determinación de Microelementos para muestras de Aguas por Absorción Atómica en Llama en el laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD, se declara VALIDADO dentro de los rangos de 0,11 mg/L-1,82 mg/L.				

3.2 Determinación de los parámetros químicos potasio, calcio, magnesio y dureza en el agua de riego

3.2.1 Potasio

La presencia de potasio en el agua de riego constituye una fuente importante de suministro de potasio a las plantas. Además de su valor nutritivo, la presencia de potasio en el agua de riego también mitiga el efecto adverso de sodio en el suelo. Paliwal y Yadav afirmaron que menos sodio se adsorbe en las partículas del suelo si existe potasio suficiente, posiblemente debido a la mayor energía de unión de potasio a las superficies de arcilla del suelo que el sodio citado en (Satyanarayana, 2013).

Los resultados del contenido de potasio se encuentran tabulados en la tabla 24. En esta tabla podemos observar que en el punto 1 del canal secundario Pifo – Puenbo, en el día 5 la mayor concentración de potasio fue de 1,99 mg/L y la menor concentración fue de 1,58 mg/L, ver la tabla 24 y figura 5.

Tabla 24

Promedio de la concentración de potasio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

K (mg/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	1,58 ± 0,07 b	1,70 ± 0,07 d	1,79 ± 0,13 d
D2	1,68 ± 0,07 b	1,71 ± 0,07 d	2,02 ± 0,14 d
D3	1,85 ± 0,06 a	1,98 ± 0,07 c	5,12 ± 0,27 a
D4	1,83 ± 0,06 a	3,05 ± 0,06 a	3,94 ± 0,21 b
D5	1,99 ± 0,06 a	2,00 ± 0,07 c	3,10 ± 0,17 c
D6	1,83 ± 0,06 a	2,21 ± 0,07 b	2,67 ± 0,16 c

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, p<0.05).

La mayor concentración de potasio en el punto 2 del canal fue de 3,05mg/L en el día 4 y la menor concentración fue de 1,70 mg/L.

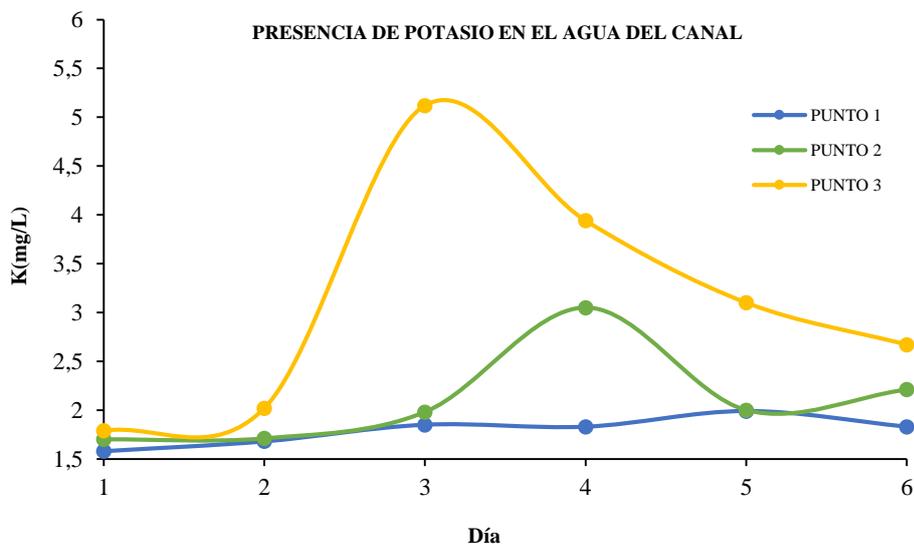


Figura 5 Variabilidad del promedio del contenido de potasio en los tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque

La mayor concentración de potasio en el punto 3 del canal fue de 5,12 mg/L en el día 3 y la menor concentración fue de 1,79 mg/L en el día 1. Es aquí donde se registra la mayor variabilidad del contenido de potasio, ver figura 5.

3.2.2 Calcio

El calcio se encuentra generalmente en las aguas naturales y cuando se provee técnicamente a los suelos se vuelven friables y generalmente permiten que el agua drene fácilmente (EarthWorks, 2014). Los resultados de la concentración de calcio en el canal están tabulados en la tabla 9. De esta tabla se puede indicar que la mayor concentración de calcio en el punto 1 del canal fue de 5,02 mg/L en el día 4 y la menor concentración fue de 3,70 mg/L en el día 3. La mayor concentración de calcio en el punto 2 del canal fue de 4,90 mg/L en el día 4 y la menor concentración fue de 3,87 mg/L en el día 3, ver tabla 25 y figura 6.

Tabla 25

Promedio de la concentración de calcio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

Ca (mg/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	4,34 ± 0,08 b	4,43 ± 0,05 b	4,79 ± 0,13 d
D2	4,46 ± 0,08 b	4,12 ± 0,05 c	4,35 ± 0,12 e
D3	3,70 ± 0,08 c	3,87 ± 0,05 d	5,08 ± 0,14 d
D4	5,02 ± 0,09 a	4,9 ± 0,05 a	7,54 ± 0,24 a
D5	4,29 ± 0,08 b	4,07 ± 0,05 c	6,57 ± 0,19 b
D6	4,51 ± 0,08 b	4,28 ± 0,05 b	5,39 ± 0,15 c

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

La mayor concentración de calcio en el punto 3 del canal fue de 7,54 mg/L en el día 4 y la menor concentración fue de 4,35 mg/L en el día 3. En este punto es donde se registró la mayor variabilidad en el contenido de calcio que en el resto de sitios como se indica en la figura 6.

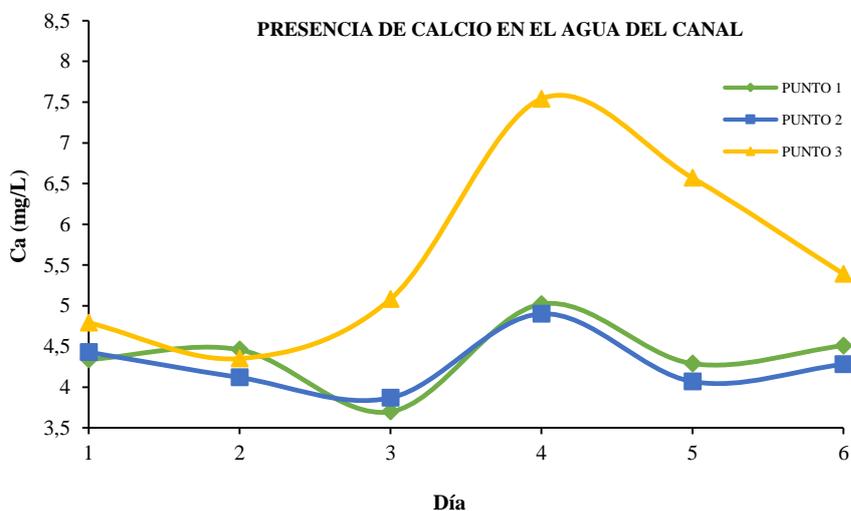


Figura 6 Variabilidad del promedio del contenido de calcio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque

3.2.3 Magnesio

El magnesio se encuentra en la naturaleza, y se halla en cantidades importantes en muchos minerales rocosos. El magnesio se encuentra en las aguas superficiales en

concentraciones alrededor de los 4 mg/L (Martínez, 2010). Los resultados de la concentración de magnesio en el canal están tabulados en la tabla 26. La mayor concentración de magnesio en el punto 1 del canal fue de 3,59 mg/L en el día 6 y la menor concentración fue de 2,69 mg/L en el día 3, ver tabla 26.

Tabla 26

Promedio de la concentración de magnesio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

Mg (mg/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	3,06 ± 0,07 b	3,10 ± 0,04 a	2,91 ± 0,09 c
D2	3,18 ± 0,07 b	2,91 ± 0,04 b	2,79 ± 0,09 c
D3	2,69 ± 0,08 c	2,84 ± 0,05 b	3,17 ± 0,08 b
D4	2,97 ± 0,08 c	2,56 ± 0,05 d	3,61 ± 0,08 a
D5	2,97 ± 0,08 c	2,76 ± 0,05 c	3,20 ± 0,08 b
D6	3,59 ± 0,07 a	3,23 ± 0,04 a	3,73 ± 0,08 a

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

La mayor concentración de magnesio en el punto 2 del canal fue de 3,23 mg/L en el día 6 y la menor concentración fue de 2,56 mg/L en el día como se indica en la figura 7.

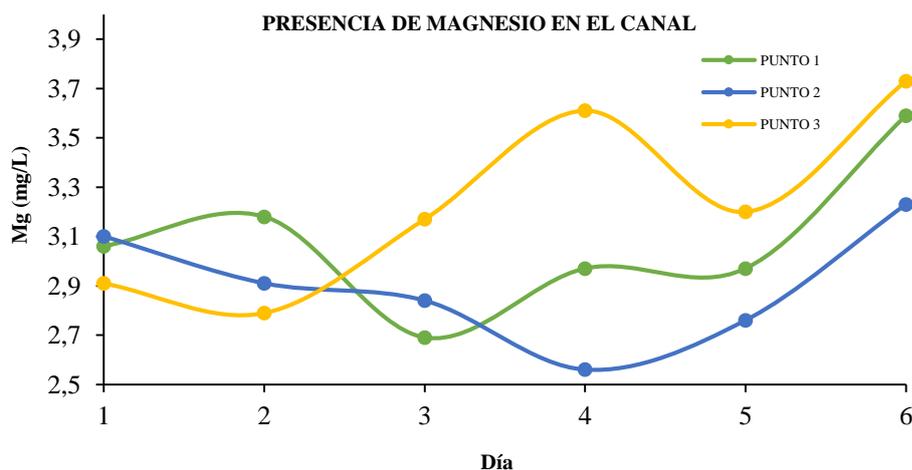


Figura 7 Variabilidad del promedio del contenido de magnesio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque: 1, 2 y 3.

La mayor concentración de magnesio en el punto 3 del canal fue de 3,73 mg/L en el día 6 y la menor concentración fue de 2,79 mg/L en el día 2. En este punto es donde se registró la mayor variabilidad en el contenido de magnesio que en el resto de puntos, como se indica en la figura 7.

3.2.4 Dureza

La dureza se expresa como la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio y sus unidades en mg/L de CaCO₃ (Lenntech, 2007). Es importante para conocer el riesgo de obstrucciones en los ramales de riego, goteos y boquillas, y para indicarnos la utilidad de un agua en determinados tipos de suelo. Se puede utilizar aguas duras para corregir un suelo con exceso de sodio. La interpretación de los resultados la realiza en base a la tabla 27.

Tabla 27
Clasificación de la dureza del agua de riego

Dureza (mg Ca CO ₃ /L)	Clasificación
0 - 75	Suave
75 - 100	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
>300	Muy Dura

Fuente: (unedcervera, 2006)

La mayor concentración de la dureza en el punto 1 del canal fue de 26,04 mg CaCO₃/L y la menor concentración fue de 20,34 mg CaCO₃/L en el día 6, ver tabla 28 y figura 8.

Tabla 28
Promedio de la concentración de dureza a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

DIA	Dureza(mg CaCO ₃ /L)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	23,43 ± 0,52 b	23,96 ± 0,29 a	23,92 ± 0,65 d
D2	24,22 ± 0,53 b	22,29 ± 0,29 b	22,35 ± 0,63 e
D3	20,34 ± 0,49 d	21,36 ± 0,29 c	25,74 ± 0,69 c
D4	24,74 ± 0,53 b	22,76 ± 0,29 b	33,68 ± 0,85 a
D5	22,93 ± 0,51 c	21,54 ± 0,29 c	29,57 ± 0,76 b
D6	26,04 ± 0,54 a	23,99 ± 0,29 a	28,80 ± 0,74 b

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, p<0.05).

La mayor concentración de la dureza en el punto 2 del canal fue de 23,99 mg CaCO₃/L en el día 6 y la menor concentración fue de 21,36 mg CaCO₃/L en el día 3. La mayor concentración de la dureza en el punto 3 del canal fue de 33,68 mg CaCO₃/L en el día 4 y la menor concentración fue de 22,35 mg CaCO₃/L. En este punto es donde se registra la mayor variabilidad en el contenido de dureza que en el resto de sitios como se indica en la figura 8 existen aguas suaves. El agua del canal es suave o blanda en todos los sitios.

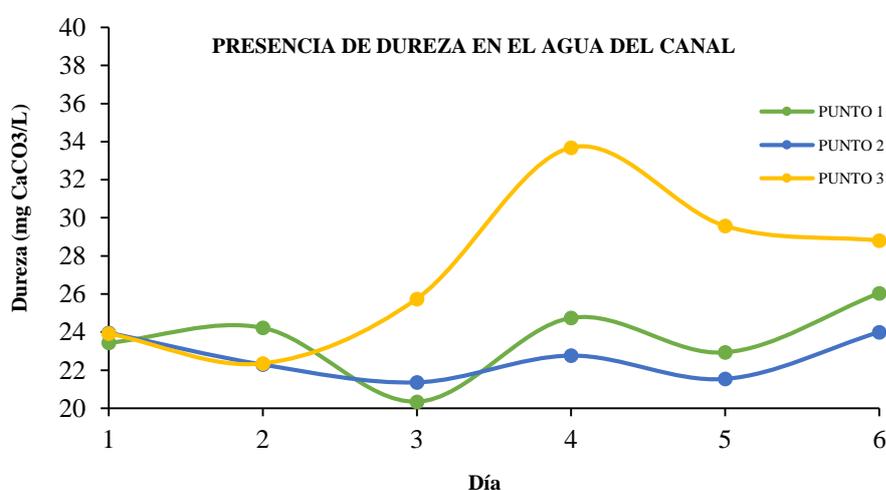


Figura 8 Variabilidad del promedio del contenido de dureza en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

3.3 Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados de acuerdo a los criterios de calidad del agua de riego de la FAO

3.3.1 Criterio de salinidad

El criterio de salinidad se evaluó de acuerdo a la conductividad eléctrica y a los sólidos totales disueltos en el agua.

3.3.1.1 Conductividad eléctrica

El agua cuando posee sales disueltas puede conducirla en forma proporcional a la cantidad de sales presentes. Este concepto se usa para la medición de su salinidad por medio de la conductividad eléctrica (IPNI, 2012). La mayor conductividad eléctrica observada en el punto 1 del canal fue de 0,11 dS/m en el día 6; y la menor CE fue de 0,07 dS/m en el día 3, ver tabla 29 y figura 9.

Tabla 29

Promedio de la conductividad eléctrica (CE) a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

DIA	CE (dS/m)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	0,083 ± 0,001 c	0,088 ± 0,001 b	0,085 ± 0,002 f
D2	0,080 ± 0,001 d	0,088 ± 0,001 b	0,093 ± 0,001 e
D3	0,073 ± 0,002 e	0,087 ± 0,001 b	0,108 ± 0,002 c
D4	0,070 ± 0,002 f	0,08 ± 0,001 c	0,126 ± 0,001 b
D5	0,089 ± 0,002 b	0,088 ± 0,001 b	0,101 ± 0,001 d
D6	0,112 ± 0,001 a	0,104 ± 0,001 a	0,134 ± 0,001 a

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

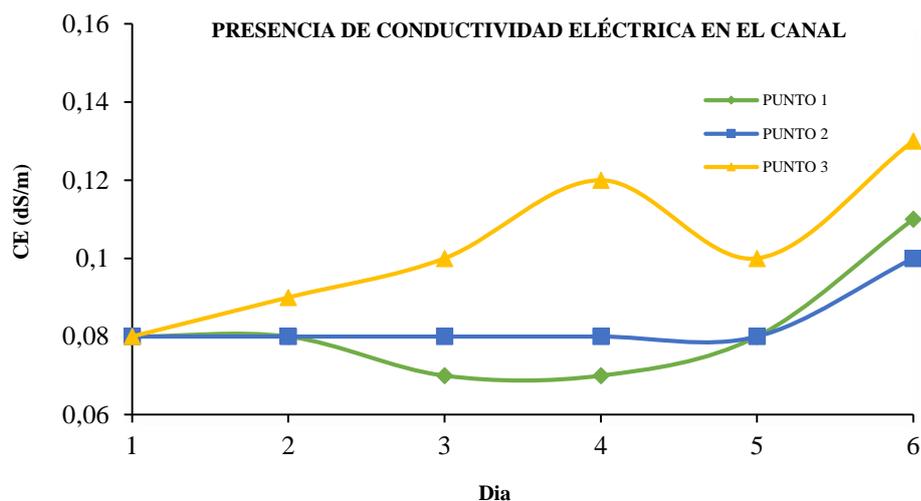


Figura 9 Variabilidad del promedio de la conductividad eléctrica en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque

La mayor conductividad eléctrica en el punto 2 del canal fue de 0,10 dS/m en el día 6 y la menor CE fue de 0,08 dS/m en los demás días. La conductividad eléctrica en el punto 3 del canal fue de 0,13 dS/m en el día 6; y la menor CE fue de 0,08 dS/m en el día 1.

3.3.1.2 Sólidos Totales Disueltos

Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Los STD y la CE están fuertemente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua,

mayor será el valor de la conductividad eléctrica (Lenntech, 2007). Los resultados se encuentran tabulados en la tabla 14. De esta tabla se puede indicar que la mayor concentración de STD en el punto 1 del canal fue de 71,47 mg/L en el día 6 y la menor concentración fue de 42,67 mg/L en el día 4, ver tabla 30 y figura 10.

Tabla 30

Promedio de la concentración de sólidos totales disueltos a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

STD (mg/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	51,2 ± 0,55 c	51,84 ± 0,3 b	53,76 ± 0,35 f
D2	48,64 ± 0,51 d	50,77 ± 0,29 b	55,89 ± 0,36 e
D3	46,93 ± 0,49 e	51,20 ± 0,29 b	67,2 ± 0,44 c
D4	42,67 ± 0,44 f	49,92 ± 0,29 c	77,23 ± 0,52 b
D5	52,91 ± 0,57 b	50,99 ± 0,29 b	64,21 ± 0,42 d
D6	71,47 ± 0,93 a	66,56 ± 0,36 a	81,49 ± 0,56 a

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

El mayor contenido de STD en el punto 2 del canal fue de 66,56 mg/en el día 6 y la menor concentración fue de 49,92 mg/L en el día 4.

El mayor contenido de sólidos totales disueltos en el punto 3 del canal fue de 81,49mg/L en el día 6 y la menor concentración fue de 53,77 mg/L en el día 1, ver en la figura 10.

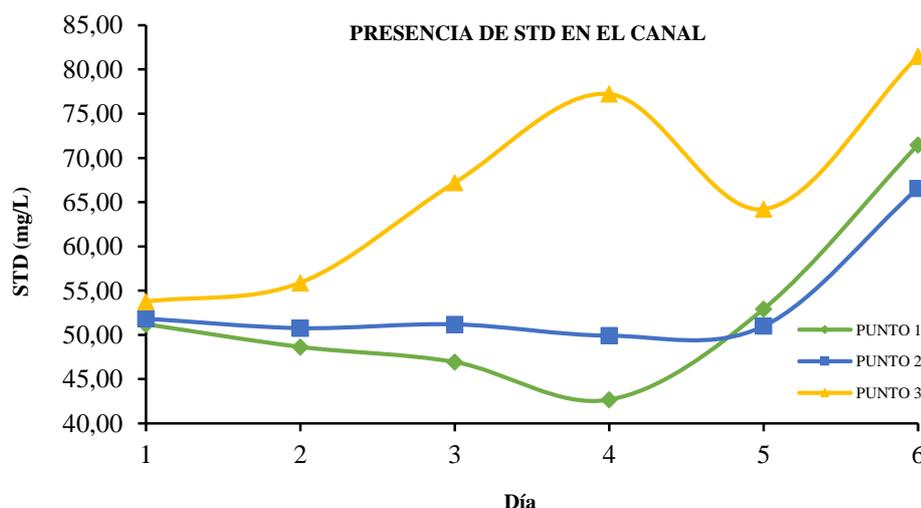


Figura 10 Variabilidad del promedio del contenido de sólidos totales disueltos en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque

3.3.2 Criterio de Infiltración

Para el criterio del potencial problema de infiltración del agua en el suelo se determinó la relación adsorción sodio (RAS).

3.3.2.1 Relación Adsorción Sodio (RAS)

El contenido de sodio en relación con el calcio y el magnesio se conoce como relación adsorción sodio. Se lo utiliza para la predicción de un problema potencial ocasionado por el sodio, se lo evalúa simultáneamente con la conductividad eléctrica para determinar la tasa de infiltración del agua en el suelo (Ayers & Westcot, 1985), ver tabla 2.

La interpretación de la RAS se la realizó simultáneamente junto con la conductividad eléctrica para evaluar el potencial problema de infiltración del agua en el suelo.

El mayor valor de RAS en el punto 1 del canal fue de 0,57 en el día 6; y la menor concentración fue de 0,30 en el día 1, ver tabla 31 y figura 11.

Tabla 31

Promedio de la relación adsorción sodio a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

DIA	RAS		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	0,33 ± 0,02 c	0,32 ± 0,02 c	0,32 ± 0,02 b
D2	0,31 ± 0,02 c	0,31 ± 0,02 c	0,33 ± 0,02 b
D3	0,46 ± 0,02 b	0,47 ± 0,02 b	0,56 ± 0,02 a
D4	0,42 ± 0,02 b	0,49 ± 0,02 b	0,53 ± 0,02 a
D5	0,46 ± 0,02 b	0,52 ± 0,02 a	0,55 ± 0,02 a
D6	0,57 ± 0,02 a	0,53 ± 0,02 a	0,52 ± 0,02 a

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

El mayor valor de RAS en el punto 2 del canal fue de 0,53 en el día 6 y la menor concentración fue de 0,31 en el día 2. En el punto 3 el mayor valor de RAS del canal fue de 0,56 en el día 3 y la menor concentración fue de 0,32 en el día 1, ver la figura 11.

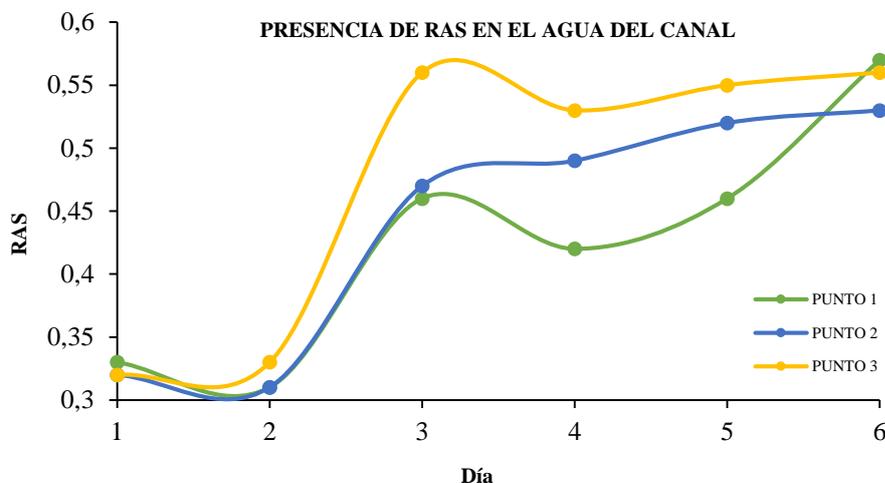


Figura 11 Variabilidad del promedio de la relación adsorción sodio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

3.3.3 Criterio de toxicidad por iones específicos

3.3.3.1 Sodio

La toxicidad de sodio por concentraciones relativamente altas en agua (Na^+ o RAS). Los síntomas de toxicidad incluyen quemazones, encrespamiento de la hoja y necrosis de tejidos lo cual ocurre inicialmente en los bordes externos y a medida que la gravedad de la toxicidad aumenta, progresa en los tejidos intervenales. (IPNI, 2012). La mayor concentración de sodio en el punto 1 del canal fue de 6,66 mg/L lo que es igual a 0,29 meq/L en el día 6 y la menor concentración fue de 3,51 mg/L o 0,15 meq/L en el día 2, ver la tabla 32 y figura 12.

Tabla 32

Promedio de la concentración de sodio distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

Na (mg/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	3,66 ± 0,34 c	3,64 ± 0,22 b	3,60 ± 0,25 b
D2	3,51 ± 0,33 c	3,34 ± 0,22 b	3,55 ± 0,25 b
D3	4,81 ± 0,37 b	4,99 ± 0,21 a	6,57 ± 0,26 a
D4	4,77 ± 0,37 b	5,47 ± 0,20 a	7,15 ± 0,26 a
D5	5,04 ± 0,38 b	5,59 ± 0,20 a	6,86 ± 0,26 a
D6	6,66 ± 0,44 a	5,97 ± 0,20 a	6,46 ± 0,26 a

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

La mayor concentración de sodio en el punto 2 del canal fue de 5,97 mg/L lo que es igual a 0,26 meq/L en el día 6 y la menor concentración fue de 3,34 mg/L o 0,15 meq/L en el día 2.

La mayor concentración de sodio en el punto 3 del canal fue de 7,15 mg/L lo que es igual 0,31 meq/L en el día 4 y la menor concentración fue de 3,55 mg/L o 0,15 meq/L en el día 2, ver figura 12.

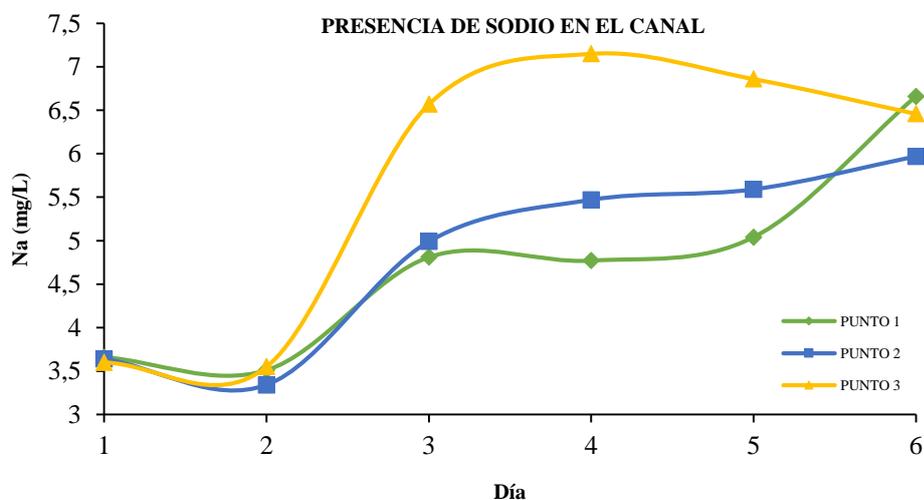


Figura 12 Variabilidad del promedio de la concentración sodio en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque

3.3.3.2 Cloruros

Es la más común de las toxicidades específicas de iones. Este ion que permanece libre en la solución del suelo, es absorbido por las plantas hasta las hojas en donde se acumula. Si la concentración excede la tolerancia de las plantas se presentan síntomas de toxicidad tales como quemazón de los tejidos foliares que se inicia por los ápices y se extiende a lo largo de los bordes a medida que la gravedad de la toxicidad aumenta. Cuando la toxicidad es excesiva se produce necrosis acompañada por defoliación (IPNI, 2012).

Los resultados del contenido de cloruros se encuentran tabulados en la tabla 17. De esta tabla podemos indicar que el mayor contenido de cloruros en el punto 1 del canal fue de 0,17 meq/L en el día 2 y 3 y el menor contenido fue de 0,15 meq/L en el día 5, ver tabla 33 y figura 13.

Tabla 33

Promedio de la concentración de cloruros a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

Cloruros (meq/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	0,16 ± 0,01 a	0,14 ± 0,01 b	0,15 ± 0,01 c
D2	0,17 ± 0,01 a	0,16 ± 0,01 a	0,15 ± 0,01 c
D3	0,17 ± 0,01 a	0,17 ± 0,01 a	0,23 ± 0,01 b
D4	0,16 ± 0,01 a	0,17 ± 0,01 a	0,33 ± 0,01 a
D5	0,15 ± 0,01 b	0,15 ± 0,01 a	0,19 ± 0,01 c
D6	0,16 ± 0,01 a	0,15 ± 0,01 a	0,16 ± 0,01 c

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

El mayor contenido de cloruros en el punto 2 del canal fue de 0,17 meq/L en el día 3 y el menor contenido fue de 0,14 meq/L en el día 1.

El mayor contenido de cloruros en el punto 3 del canal fue de 0,33 meq/L en el día 4 y el menor contenido fue de 0,15 meq/L en el día 1 y 2. En este sitio es donde se registró la mayor variabilidad en el contenido de cloruros como se indica en la figura 13.

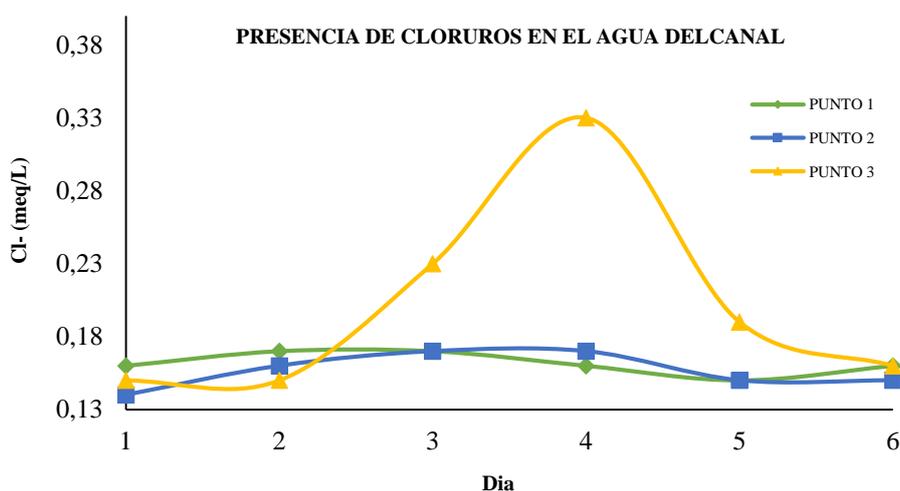


Figura 13 Variabilidad del promedio de la concentración de cloruros en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puenbo del Sistema de Riego El Pisque

3.3.4 Efectos misceláneos

3.3.4.1 Bicarbonatos

El agua de riego que contiene una elevado contenido de sales poco solubles, como el bicarbonato de calcio, se presenta un problema progresivo dando lugar a la formación de depósitos blanquecinos en las hojas o frutos cuando se utilizan aspersores con contenidos elevados de estas sales al evaporarse el agua. Aunque no se presenta toxicidad, los depósitos a menudo se acumulan en las hojas y las frutas y son de especial preocupación cuando las flores, hortalizas o frutas se cosechan frescas (Ayers & Westcot, 1985).

Los resultados se encuentran tabulados en la tabla 34. De esta tabla se puede indicar que la mayor concentración de bicarbonatos en punto 1 del canal fue de 41,67 mg CaCO₃/L en el día 6 y la menor concentración fue de 31,67 mg CaCO₃/L en el día 5, ver tabla 34 y figura 14.

Tabla 34

Promedio de la concentración de bicarbonatos a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

HCO ₃ ⁻ (mg CaCO ₃ /L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	35,00 ± 1,46 b	36,67 ± 1,46 a	33,33 ± 1,46 c
D2	40,67 ± 1,46 a	38,33 ± 1,46 a	37,33 ± 1,46 c
D3	33,67 ± 1,46 b	26,67 ± 1,46 b	42,00 ± 1,46 b
D4	33,67 ± 1,46 b	23,33 ± 1,46 b	45,00 ± 1,46 b
D5	31,67 ± 1,46 b	32,00 ± 1,46 a	43,00 ± 1,46 b
D6	41,67 ± 1,46 a	38,33 ± 1,46 a	53,00 ± 1,46 a

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, p<0.05).

La mayor concentración de bicarbonatos en el punto 2 del canal fue de 38,33 mg CaCO₃/L y los días 2 y 6 y la menor concentración fue de 23,33 mg CaCO₃/L en el día 4. La mayor concentración de bicarbonatos en el punto 3 del canal fue de 53,00 mg CaCO₃/L (0,53 meq/L) en el día 6 y la menor concentración fue de 33,33 mg CaCO₃/L en el día 1, ver la figura 14.

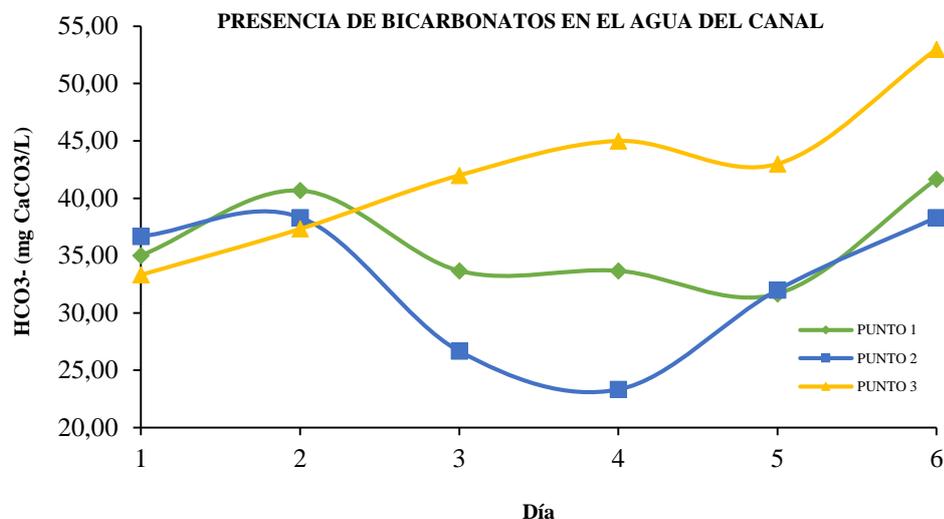


Figura 14 Variabilidad del promedio del contenido de bicarbonatos en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

3.3.4.2 pH

El pH en las aguas de riego se encuentra generalmente entre 6.5 y 8.4. Un valor por encima o por debajo de este rango da la pauta de que el agua necesita análisis más amplio. El agua con un contenido bajo de sales ($CE < 0.2$ dS/m) puede tener un pH fuera del rango normal (IPNI, 2012).

Estos datos se encuentran tabulados en la tabla 35. De esta tabla se puede indicar que el mayor pH en el punto 1 del canal fue de 8,20 en el día 4 y bajó el pH a 7,62 en el día 1. Como se puede ver en la tabla 35 y figura 15.

Tabla 35

Promedio del pH a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

DIA	pH		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	7,62 ± 0,04 c	7,67 ± 0,04 d	7,80 ± 0,02 c
D2	7,74 ± 0,04 c	8,13 ± 0,05 b	8,33 ± 0,02 a
D3	7,81 ± 0,04 b	8,00 ± 0,05 d	7,85 ± 0,02 c
D4	8,20 ± 0,04 a	9,57 ± 0,09 a	8,34 ± 0,02 a
D5	7,85 ± 0,04 b	8,08 ± 0,05 b	7,97 ± 0,02 b
D6	7,86 ± 0,04 b	7,96 ± 0,04 c	7,95 ± 0,02 b

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

El mayor pH en el punto 2 del canal fue de 9,57, es aquí donde se registró el mayor valor de pH del canal y el menor pH en el día 4 fue de 7,67 en día 1. El mayor pH en el punto 3 del canal fue de 8,34 en día 4 y el menor pH fue de 7,80 en el día 1, ver figura 15.

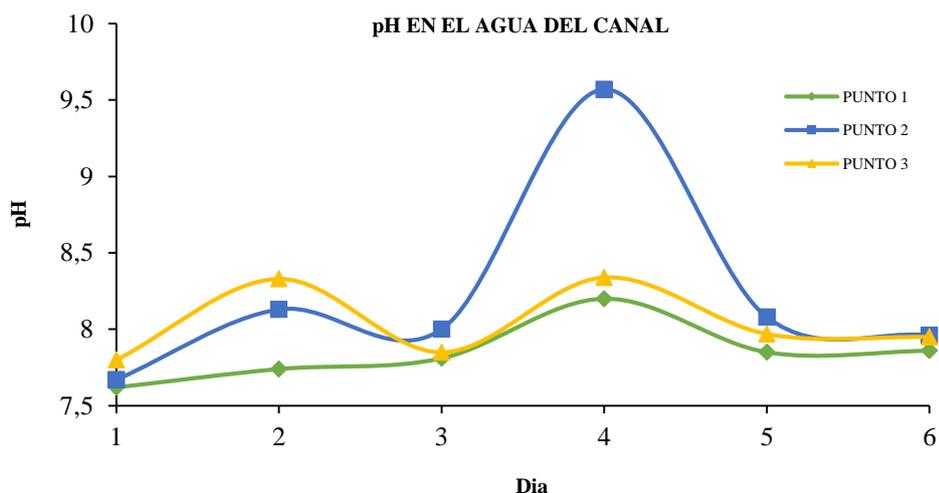


Figura 15 Variabilidad del promedio del pH en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puambo del Sistema de Riego El Pisque

3.3.4.2.1 Carbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en fuentes naturales de agua dulce se forman generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de CO_2 disuelto en el agua (CO_2 atmosférico o CO_2 generado en sedimentos ricos en materia orgánica). El CO_2 reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico, el cual disuelve entonces las rocas de carbonato en el agua (Fuentes & Massol, 2002).

Los resultados se encuentran tabulados en la tabla 36. De esta tabla podemos indicar que la mayor concentración de carbonatos en el punto 1 del canal fue de 11,33 mg CaCO_3/L en el día 5; y en los días 1, 2, 3 y 4 no se detectó la presencia de carbonatos, ver en la tabla 36 y figura 16.

Tabla 36

Promedio de la concentración de carbonatos a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puembo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

CO ₃ ²⁻ (mg CaCO ₃ /L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 f	0,00 ± 0,00 c
D2	0,00 ± 0,00 c	5,33 ± 0,67 e	4,00 ± 0,00 b
D3	0,00 ± 0,00 c	16,00 ± 0,01 b	0,00 ± 0,00 c
D4	0,00 ± 0,00 c	30,67 ± 2,91 a	0,00 ± 0,00 c
D5	11,33 ± 1,76 a	12,67 ± 1,76 c	6,67 ± 1,76 a
D6	6,67 ± 1,76 b	6,67 ± 0,67 d	0,00 ± 0,00 c

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, p<0.05).

La mayor concentración de carbonatos en el punto 2 del canal fue de 30,67 mg CaCO₃/L en el día 4 y en el día 1 no se detectó la presencia de carbonatos.

La mayor concentración de carbonatos en el punto 3 del canal fue de 6,67 mg CaCO₃/L en el día 5 y en los días 1, 3, 4 y 6 no se detectó la presencia de carbonatos, ver figura 16.

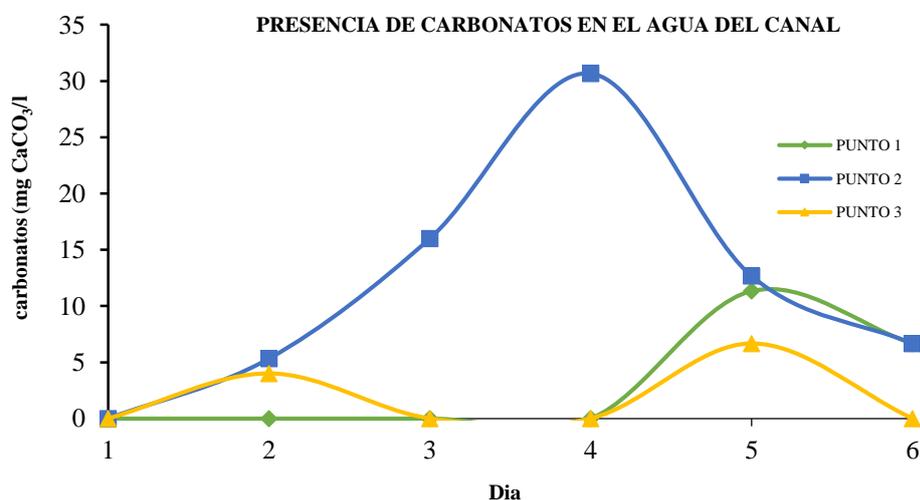


Figura 16 Variabilidad del promedio del contenido de carbonatos en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

3.4 Toxicidad de elementos traza y análisis microbiológico del agua del canal de acuerdo a los criterios de calidad de agua de riego del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano

3.4.1 Hierro

El hierro no es tóxico para las plantas en suelos drenados, pero puede ayudar a la acidificación del suelo y la pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno. El riego por aspersión cuando tiene altos contenidos de hierro puede dar lugar a depósitos desagradables en las plantas y equipos (Ayers & Westcot, 1985). El hierro se determinó mediante AA con un espectrofotómetro Perkin Elmer y cuyos datos se encuentran tabulados en la Tabla 19. De esta Tabla se puede indicar que la mayor concentración de hierro en el punto 1 del canal fue de 2,73 mg/L en el día 1 y la menor concentración fue de 0,69 mg/L en el día 6, ver tabla 37 y figura 17.

Tabla 37
Promedio de la concentración de hierro a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puenbo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

Fe (mg/L)			
DIA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	2,73 ± 1,48 a	2,55 ± 0,05 a	2,76 ± 0,18 a
D2	1,25 ± 0,13 b	0,86 ± 0,02 c	0,33 ± 0,02 d
D3	1,18 ± 0,11 b	0,91 ± 0,02 c	3,15 ± 0,26 a
D4	1,13 ± 0,10 b	0,62 ± 0,02 e	0,78 ± 0,03 b
D5	1,29 ± 0,13 b	1,21 ± 0,03 b	0,65 ± 0,03 c
D6	0,69 ± 0,05 c	0,73 ± 0,02 d	0,40 ± 0,02 d

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

La mayor concentración de hierro en el punto 2 del canal fue de 2,55 mg/L en el día 1 y la menor concentración fue de 0,62 mg/L el día 4. La mayor concentración de hierro en el punto 3 del canal fue de 3,15 mg/L en el día 3 y la menor concentración fue de 0,33 mg/L el día 2, ver figura 17.

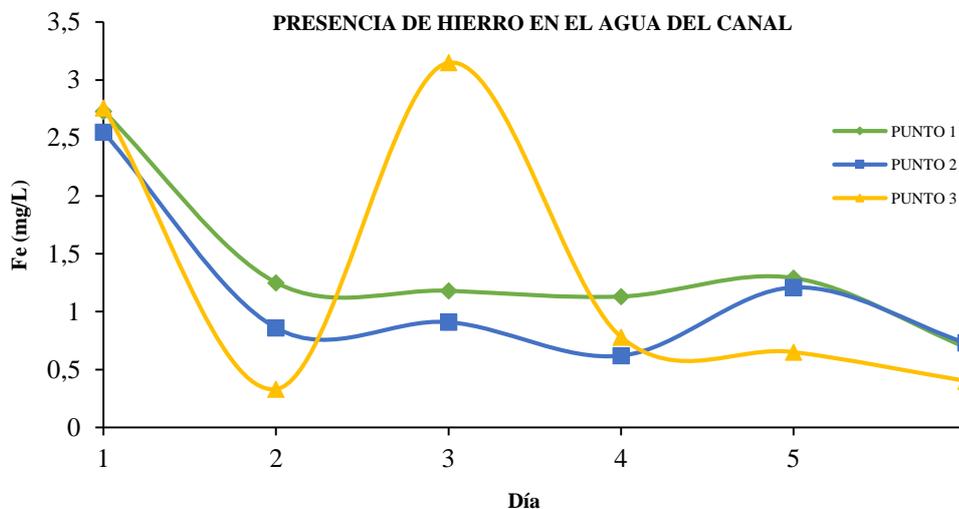


Figura 17 Variabilidad del promedio del contenido de hierro en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puambo del Sistema de Riego El Pisque

3.4.2 Manganeseo

El manganeso es tóxico para las plantas en unas pocas cantidades, pero casi siempre se encuentra en suelos ácidos (Ayers & Westcot, 1985). El manganeso se determinó mediante AA con un espectrofotómetro Perkin Elmer, cuyos datos se encuentran tabulados en la tabla 24. De esta tabla se puede observar que la mayor concentración de manganeso en el punto 1 del canal fue de 0,05 mg/L en el día 5 y en los días 3 y 6 no se detectó la presencia de manganeso. Ver tabla 38 y figura 18.

Tabla 38

Promedio de la concentración de manganeso a distintos días y sitios del canal secundario Pifo - Puambo del Sistema de Riego el Pisque en el cantón Quito en los meses de junio y julio del 2016

DIA	Mn (mg/L)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
D1	0,04 ± 0,01 a	0,04 ± 0,01 a	0,06 ± 0,01 a
D2	0,01 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 b
D3	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c	0,04 ± 0,01 a
D4	0,03 ± 0,01 b	0,02 ± 0,00 b	0,03 ± 0,01 a
D5	0,05 ± 0,01 a	0,06 ± 0,01 a	0,07 ± 0,02 a
D6	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 b

(Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, prueba de LSD, $p < 0.05$).

La mayor concentración de manganeso en el punto 2 del canal fue de 0,06 en el día 5 y en los días 2, 3 y 6 no se detectó la presencia de manganeso.

La mayor concentración de manganeso en el punto 3 del canal fue de 0,07 mg/L el día 5 y en los días 2 y 6 no se detectó la presencia de éste metal, como se indica en la figura 18.

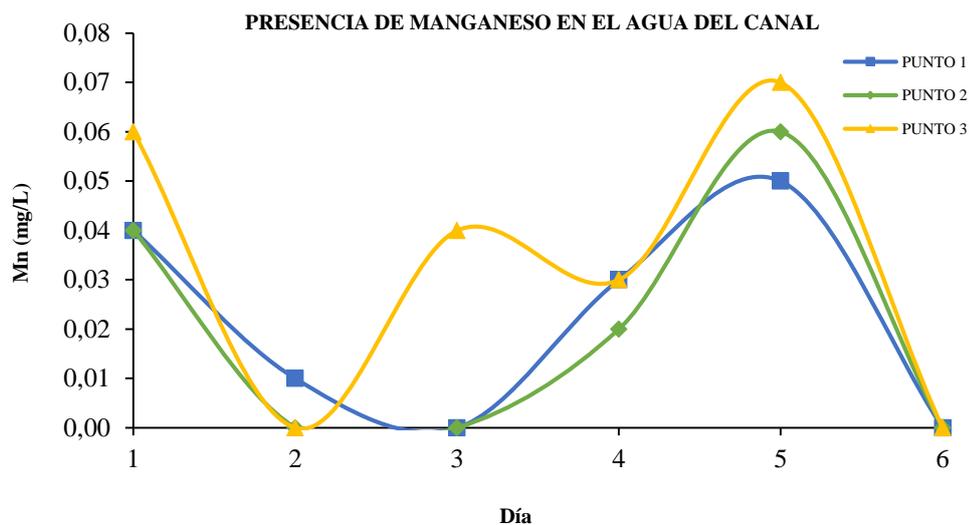


Figura 18 Variabilidad del promedio del contenido de manganeso en tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

3.4.3 Cobre

EL cobre es tóxico muchas de plantas en cantidades mayores a los 0,2 mg/L (Ayers & Westcot, 1985). En esta investigación también se estudió la presencia de cobre en el agua de riego pero cabe destacar que las concentraciones mínimas que el equipo de espectrofotometría puede detectar estaban por debajo del límite de detección, por lo que el cobre no fue detectado en el agua del canal.

3.4.4 Zinc

El zinc es tóxico para las plantas a concentraciones mayores a 2 mg/L, pero su toxicidad disminuye con $\text{pH} > 6,0$ en suelos de orgánicos y de textura fina (Ayers & Westcot, 1985). El zinc se determinó por AA mediante un espectrofotómetro. Los resultados que se obtuvieron fueron algunos no detectados, por lo que no hubo diferencias significativas entre los sitios de muestreo y se obtuvo un promedio de 0,02 mg/L de zinc en el canal.

3.4.5 Análisis microbiológico

3.4.5.1 Análisis de Coliformes Totales y *Escherichia coli*

Dentro de los coliformes totales se encuentran las bacterias de la familia *Enterobactericea* como las bacterias de los géneros: *Klebsiella*, *Shigella*, *Proteus*, *Salmonella*, *Escherichia*. Los coliformes totales y *E.coli* se determinaron mediante la técnica del número más probable (NMP), cuyos resultados se encuentran tabulados en la tabla 39.

Tabla 39
Presencia y contenido de Coliformes totales y *E. coli*

Puntos de muestreo	Día	Presencia de CT	Ausencia CT	Presencia de EC	Ausencia de EC	Contenido de CT (NMP/100mL)	Contenido de EC (NMP/100mL)	Norma (NMP/100mL)
Punto 1	1	x		x		>1600	>1600	
	2	x		x		>1600	>1600	
Punto2	3	x		x		>1600	>1600	
	4	x		x		>1600	>1600	<1000
Punto 3	5	x		x		>1600	>1600	
	6	x		x		>1600	>1600	

CT: Coliformes totales, EC: *Escherichia coli*

En el 100% de las muestras evaluadas durante los seis días y en los tres puntos del canal de riego, se determinó la presencia de coliformes totales y *E. coli* con un contenido de >1600 NMP/100mL.

3.5 Discusión

La validación de métodos de análisis es importante para la aceptación de datos verdaderos que permiten a los agricultores tomar decisiones certeras en cuanto al manejo de la calidad del agua. Este proceso es vital que exista en todos los laboratorios para dar confiabilidad al usuario. Este proceso que ha validado los métodos analíticos de determinación de los nutrientes mencionados permitirá dar confiabilidad a los resultados proporcionados a futuro por el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD. Este laboratorio ha subido un escaño en su proceso de gestión de calidad de obtención de datos. Lazos y Hernández en el 2004

resaltan la practicidad de validar los métodos con la finalidad de que cumplan su función prevista.

En un estudio de Bauder, Waskom, Sutherland, & Dav, 2014 se determinó que cuando el agua de riego contiene una elevada RAS y una CE muy baja se produce una hinchazón y dispersión de las arcillas. Además, se forman costras superficiales, obstrucción de poros del suelo, aumenta la escorrentía, se produce degradación de la estructura del suelo, se limita la penetración y movimiento del agua en el suelo, especialmente en suelos susceptibles que contienen más de 30% de arcilla. En el presente estudio se registró una CE muy baja de 0,13 dS/m y un RAS de 0,57 en el canal de riego, lo que indicaría una restricción severa según las directrices propuestas por la FAO. El suelo de la zona de Pifo-Puemboal posee una textura arenosa y arenolimsa no presentaría problema grave, ya que posee menos del 30% de arcilla en su composición granulométrica.

También se realizó un análisis de correlación entre las concentraciones de carbonatos y la reacción del suelo para evaluar el grado de asociación. Del cual se pudo observar que existió un grado de correlación fuerte cuyo valor es de $r=0,74$ con un nivel de confiabilidad del 95% entre el pH y la concentración de carbonatos. Notándose particularmente que a mayor contenido de carbonatos en el agua del canal, de 30,67 mg CaCO_3/L , mayor es el valor de pH que se encuentra en el mismo, $\text{pH}=9,57$, ver figura 19.

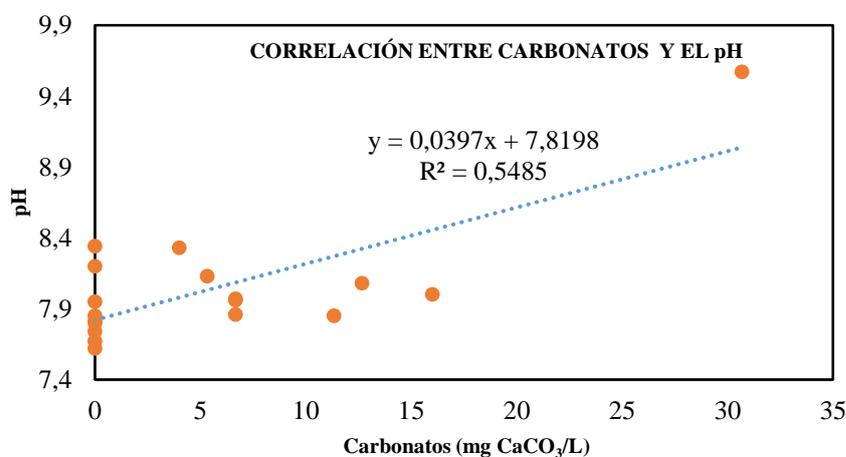


Figura 19 Correlación entre la concentración de carbonatos y el pH durante seis días en los tres puntos de muestreo en el canal secundario Pifo-Puembo del Sistema de Riego El Pisque.

Otro investigador como Ramírez, en 2016, menciona en su artículo sobre la reacción de los carbonatos en el agua, que cuando el pH es mayor a 8,3 se debe en gran medida a la presencia de carbonatos y bicarbonatos y cuando el pH es mayor a 9,4 se debe a la presencia solo de carbonatos, ver figura 21. Esto corrobora lo encontrado en este estudio. Ver figura 20.

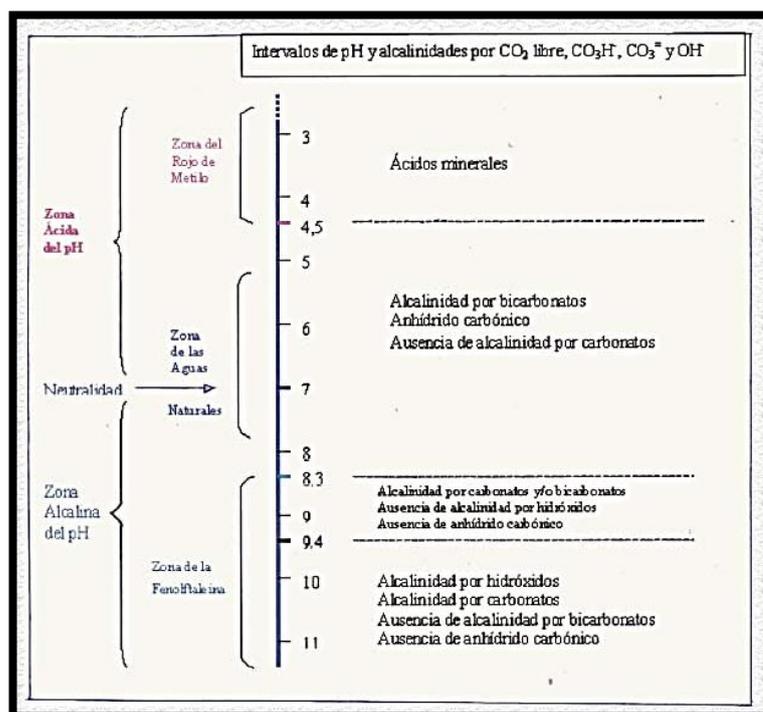


Figura 20 Relación entre el pH y la proporción relativa de carbono inorgánico: CO₂, (HCO₃)⁻ y (CO₃)²⁻
(Ramírez, 2016)

De igual forma Bauder, Waskom, Sutherland, & Dav, 2014 afirman que los carbonatos elevados hacen que los cationes de calcio y magnesio generen minerales insolubles (precipitados), dejando al sodio como catión dominante en la solución lo que podría intensificar el problema de infiltración del agua en el suelo, resaltando el potencial problema de infiltración en suelos con contenidos de arcilla mayor a 30%.

En 2012, la FAO en su estudio de prevención de *E. coli* en alimentos indica que la *E. coli* es liberada por los animales y los seres humanos en sus heces, por lo que se asume que se ha producido contaminación fecal a lo largo del canal principal cuyas aguas son conducidas finalmente al canal secundario. Este tipo de contaminación se asume se produce por escorrentía cuando los animales domésticos se encuentran

cerca del canal cuyas aguas son usadas como abrevaderos, y por descargas involuntarias de heces fecales humanas. Contaminándose así las semillas, hortalizas y frutos que se riegan con el agua del canal y se consumen sin previa cocción. Estos productos frescos contaminados pudieran ser causantes de epidemias por bacterias patógenas humanas ya que la concentración de *E. coli* y coliformes totales es mayor a 1600 NMP/100mL.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La metodología para la determinación de los macro y micronutrientes presentes en aguas mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica cumple con los parámetros de validación para el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD: límite de detección (0,02 mg/L), límite de cuantificación (0,20mg/L – 5mg/L), exactitud (porcentaje de recuperación entre 80% - 120%), precisión (repetibilidad con un $CV \leq 7\%$ y reproducibilidad con un $CV \leq 10\%$), linealidad ($R^2 \geq 0,995$) e incertidumbre ($U \leq 30\%$).
- El agua del canal presenta baja conductividad eléctrica igual a 0.13 dS/m, así mismo presenta un contenido bajo de STD de 81.49 mg/L, lo que indica que el agua no es salina y puede ser usada sin ningún tipo de restricción en riego.
- El agua del canal posee una baja CE de 0.13 dS/m y al evaluarlo simultáneamente con la RAS registrada de 0.57, se observa que puede ofrecer una restricción severa para su uso por un potencial problema de infiltración de agua en el suelo, pero al ser más evidente este inconveniente en suelos francos o franco arcillosos, no se presentaría ningún problema para los suelos de las parroquias de Pifo y Puenbo ya que estos poseen una textura liviana.
- El agua del canal presenta bajas concentraciones de: sodio de 0,31meq/L, cloruros de 0,33 meq/L y bicarbonatos de 0,53 mg $CaCO_3/L$ que no representan ningún tipo de restricción de uso en riego.
- El pH del agua del canal de riego se registró entre 7,62 a 8,34 y de acuerdo a la FAO está dentro del rango óptimo de 6,5 a 8, por tal motivo, el agua es apta para el riego. Sin embargo en el día 4, en el punto 2 del canal se registró el pH con un valor de 9,57 que se correlaciona con la presencia de $CaCO_3$ en cantidades de 30,67 mg/L en ese día.
- El agua del canal es recomendable para el uso agrícola desde el punto de vista del contenido de bicarbonatos ya que los valores menores a 1,5 meq/L no representan problema y el agua del canal registró un valor de 0,53 meq/L.

- El contenido de hierro de 3,15 mg/L, manganeso de 0,07 mg/L y zinc de 0,02 mg/L en el agua del canal no sobrepasa los límites permisibles para uso agrícola de acuerdo al MAE y se puede usar sin ningún tipo de restricción.
- El agua del canal presentó elevadas concentraciones de coliformes totales y E. coli con un contenido mayor a 1600 NMP/100mL que indica una evidente y constante contaminación fecal debido a descargas domésticas y pecuarias desde el canal principal, lo que indica que el agua no es apta para el riego de acuerdo a la normativa nacional que permite un contenido máximo de coliformes fecales de 1000 NMP/100mL.

5.2 Recomendaciones

- Al existir una restricción severa, cuando se correlacionan la CE y la RAS para el uso de agua de riego y su potencial problema de infiltración del agua en el suelo, se recomienda realizar estudios para cada zona, ya que depende principalmente de la clase textural del suelo y se debe tomar en cuenta los factores biogeoclimáticos en la formación del suelo, sus propiedades físicas y químicas, el ordenamiento de horizontes y grado de compactación del mismo. En caso de presentarse problemas de infiltración se recomienda realizar algún tipo de enmienda donde se incorpore fertilizantes cálcicos, materia orgánica, un adecuado método de riego y manejo del suelo.
- Se debe realizar análisis anual de la calidad del agua del canal de la que se abastecen las parroquias de Pifo y Puenbo para que los usuarios del sistema de riego el Pisque cuenten con información real y actualizada.
- Se debe concientizar a los usuarios de JGUSRP y a la población en general sobre el problema de contaminación fecal que existe en el canal de riego y que se debe evitar las descargas domésticas, agropecuarias y otros productos de la contaminación antropogénica para salvaguardar la salud y calidad del agua de riego y de la población.
- Los organismo gubernamentales de control debe realizar periódicamente el control microbiológico de los productos alimenticios que se producen en la zona de Pifo y Puenbo, especialmente a los que se consumen sin cocción para problemas de salud pública.

5.3 Bibliografía

- APHA, A. P. (2006). *Standard Methods For Examination of Water and Wastewater* (22 ed.). Baltimore, Maryland: Port City Press.
- Ayers & Westcot. (1985). *Water quality for agriculture*. (F. a. Nations, Editor) Recuperado el 22 de noviembre de 2016, de FAO Irrigation And Drainage Paper: <http://www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234E00.htm>
- Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L., & Dav, J. V. (2014). *Irrigation Water Quality Criteria*. Colorado State University Extension.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Obtenido de Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA).
- CENAM. (2008). Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en las mediciones analíticas que emplean las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica y de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente. *Centro Nacional de Metrología*.
- Daffau, B. (2010). Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”. *Guía Técnica N°1 Instituto de Salud Pública de Chile*, 28. Obtenido de http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/12/Guia%20T%C3%A9cnica%20de%20validaci%C3%B3n%20de%20M%C3%A9todos%20y%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20incertidumbre%20de%20la%20medici%C3%B3n_1.pdf
- EarthWorks. (2014). *Irrigation Water Guidelines*. Obtenido de Soil First Consulting: http://www.earthworksturf.com/pdf/soiltest/Irrigation_%20Water_Guidelines.pdf
- Eurachem. (2005). *Métodos analíticos adecuados a su propósito* (Segunda ed.). México: Publicación Técnica.
- FAO. (1993). *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 4 de Abril de 2017, de Las Políticas De Recursos Hídricos Y La Agricultura: <http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s00.htm#Contents>

- FAO. (1996). *ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL*. Obtenido de Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura: <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s06.htm>
- FAO. (2012). *Prevención de E. coli en los alimentos*. Recuperado el 4 de Abril de 2017, de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/Preventing_Ecoli_es.pdf
- Fuentes, F., & Massol, A. (2002). *Manual de Laboratorios Ecología de Microorganismos*. Obtenido de Universidad de Puerto Rico: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcinidad.pdf>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: Mc Graw-Hill.
- Huber, L. (1998). *Validation and Qualification in Analytical Laboratories*. Illustrated.
- IICA. (2014). Agua, alimento para la tierra. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Obtenido de <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/B3271e.pdf>
- IPNI. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *International Plant Nutrition Institute*, 27-35. Obtenido de Criterios Modernos para la Evaluación de la Calidad del Agua de Riego: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/62BE8B18BD5BD3C206256AE8005EF92A/\\$file/es+su+agua.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/62BE8B18BD5BD3C206256AE8005EF92A/$file/es+su+agua.pdf)
- Jurado, J. M. (2008). Aplicación de Microsoft Excel a la Química Analítica: validación de métodos analíticos. *Sevilla: Universidad de Sevilla-Departamento de Química Analítica*. Obtenido de Departamento de Química Analítica: <http://personal.us.es/jmjurado/docs/AQAEXCEL.pdf>
- labcompare. (2009). *The Buyer's Guide for Laboratory Equipment*. Obtenido de Atomic Absorption Spectrophotometer: <http://www.labcompare.com/Spectroscopy/Atomic-Absorption-Spectrophotometer/>

- Lazos, R., & Hernández, I. (2004). *La Validación De Métodos: Un Enfoque Práctico*. Recuperado el 4 de Abril de 2017, de Centro Nacional de Metrología: <https://www.cenam.mx/simposio2004/memorias/TA-090.pdf>
- Lenntech. (2007). *El calcio (Ca) y agua*. Obtenido de mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos sobre la salud: calcio y agua: <http://www.lenntech.com/periodic/water/calcium/calcium-and-water.htm>
- MAE. (2014). Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislacion Secundaria Del Ministerio Del Ambiente. *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- Martínez, L. (2010). *Calidad Agronómica del Agua de Riego en las Islas Baleares*. Obtenido de http://dgrechid.caib.es/www/doc/AIGUES_SUBTERRANIES_1.pdf
- Mencías, D. (2015). *Determinación de la Infiltración en el Suelo, Estudio de la Calidad del Agua Para Regadío y Manejo Ambiental del Sistema de Riego El Pisque – Pichincha*. Obtenido de Universidad Internacional SEK Facultad de Ciencias Ambientales: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1456>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (Septiembre de 1979). *Diagnóstico Agropecuario Pida Pisque _Tumbaco*. (IICA, Ed.) Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=N9gOAQAIAAJ&pg=RA1-PA22&lpg=RA1-PA22&dq=textura+de+suelos+de+pifo&source=bl&ots=BcefSCYTWj&sig=sxGrXEw4pyyzHvK40Fj43uoUO7A&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi0uO7cro nTAhVEQyYKHZK_DWcQ6AEIUDAN#v=onepage&q=textura%20de%20suelos%20d
- Ministerio del Ambiente. (2014). Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Quito, Ecuador: Registro Oficial. *Corporación De Estudios y Publicaciones*, 47. Obtenido de

<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>

Montoya, D. (2012). *Validación del cálculo de incertidumbre y determinación de la trzabilidad para los ensayos de nitrógeno Kjendahl y nitrógeno amoniacal en el laboratoriode química ambiental en la Universidad Tecnológica de Pereira*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Pastás, K. (2011). Validación del método para la determinación de compuestos organoclorados, alfrin, endrin y hexaclorobenceno en agua potable por cromatografía de gases. *Universidad Central del Ecuador*.

Pisabarro, A. (2009). *Microbiología Clínica*. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de Universidad Pública de Navarra: <http://www.unavarra.es/genmic/microclinica/tema03.pdf>

Ramirez, F. (noviembre de 2016). *El Agua Potable*. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/acondicionamiento.htm>

Ramos, A. (2016). *La Organización De Regantes Del Sistema De Riego El Pisque un aliado en el desarrollo local*. Obtenido de Facultad Latinoamericana De Ciencias Sociales Sede Ecuador Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio Convocatoria 2012-2014: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9722/2/TFLACSO-2016APRT.pdf>

Satyanarayana, T. V. (2013). Variability in Potassium Concentrations of Irrigation Waters in India. *Better Crops South Asia*.

Sección de Laboratorio y Asuntos Científicos de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (2010). *Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos*. Obtenido de https://www.unodc.org/documents/scientific/Validation_Manual_STNAR41_Ebook_S.pdf

- SENAGUA. (2010). *Secretaria Nacional del Agua*. Obtenido de Línea Base para el Monitoreo de la calidad del Agua de Riego en la Demarcación Hidrografica del Guayas: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/LineaBaseDHG.pdf>
- SENAGUA. (29 de Octubre de 2010). *Secretaria Nacional del Agua*. Obtenido de Línea Base para el Monitoreo de la calidad del Agua de Riego en la Demarcación Hidrografica del Guayas: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/LineaBaseDHG.pdf>
- Skoog, D., Holler, J., & Nieman, T. (2001). *Principios de análisis instrumental* (Quinta Edición ed.). McGraw-Hill/Interamericana de España.
- SMART. (2015). *La Calidad del agua de Riego*. Obtenido de Fertilizer Management: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>
- UNED. (2008). *Universidad Nacional de Educación a Distancia*. Obtenido de Absorción y Emisión atómica: http://www2.uned.es/cristamine/mineral/metodos/abs_at.htm
- unedcervera. (2006). *Volumetría De Complejación: Determinación de La Dureza Del Agua*. Obtenido de Experimento 5: http://www.unedcervera.com/c3900038/ieslasegarra/UNED_Cervera/b_q_m_a/practica_5.pdf
- Uribe, M. d., López, R., & Ramos, C. (2013). Validación de métodos analíticos en laboratorios de ensayo de aguas residuales. *KUXULKAB Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas Universidad Juárez autónoma de Tabasco*, 11-18.
- US Food & Drug Administration Office of Foods and Veterinary Medicine. (2015). Guidelines for the Validation of Analytical Methods for the Detection of Microbial Pathogens in Foods and Feeds. *Departament of Health & Humans Services*.