



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Análisis de la calidad de agua de riego de la junta 54-A y su incidencia en la actividad de los usuarios.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Químico

Autor:

Christian Javier Andrade Herrera

C.I. 0106508120

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa

C.I. 0104044474

Cuenca-Ecuador

25/09/2019



RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad analizar y estudiar la calidad de agua del canal de riego que pasa por las zonas de Checa, Sidcay y Ricaurte (parroquias aledañas al cantón Cuenca) mediante el uso de indicadores de calidad de agua, con la finalidad de recomendar planes de mejora que impidan la contaminación del sistema de riego, mejorando la calidad de agua y el bienestar de los usuarios que consumen dicho recurso.

Este proyecto de investigación está enfocado al análisis de ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos previamente estudiados con la Secretaría del Agua; en donde se obtendrán resultados de la calidad del agua que servirán de base para la toma de decisiones, concientización, educación y criterios de mejora continua que garanticen la salud y bienestar de la población que da uso a esta fuente superficial hídrica, considerando que es un bien del cual se benefician cientos de ciudadanos.

Los datos fueron analizados de tal forma que se elaboraron gráficas que denotan como varían ciertos contaminantes en el agua a lo largo del tiempo y distancia, donde se han identificado puntos clave de contaminación para lo cual se han planteado posibles soluciones para los socios que usan esta fuente hídrica para su día a día.

Palabras Clave: Sistema de riego. Calidad de agua. Contaminación.



ABSTRACT

The purpose of this project is to analyze and study the water quality of the irrigation canal that passes through the areas of Checa, Sidcay and Ricaurte (parishes adjacent to the Cuenca canton) through the use of water quality indicators, in order to recommend plans of improvement that prevent the contamination of the irrigation system, improving the water quality and the well-being of the users that consume said resource.

This research project is focused on the analysis of certain physical, chemical and microbiological parameters previously studied with the Ministry of Water; where water quality results will be obtained that will serve as a basis for decision-making, awareness, education and continuous improvement criteria that guarantee the health and well-being of the population that uses this surface water source, considering that it is a well from which hundreds of citizens benefit.

The data were analyzed in such a way that graphs were developed that denote how certain pollutants in the water vary over time and distance, where key points of contamination have been identified for which possible solutions have been proposed for the partners who use this Water source for your day to day.

Keywords: Irrigation system. Water quality. Contamination.



ÍNDICE GENERAL

Contenido

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA	18
HIPÓTESIS	19
1. CAPÍTULO 1: MARCO DE REFERENCIA	20
1.1. MARCO TEÓRICO	20
1.1.1. Breve reseña histórica del sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte.....	20
1.1.2. Tres principales problemáticas en la Junta General de Regantes	20
1.1.2.1. Tecnificación de riego	20
1.1.2.2. Riego por aspersión	21
1.1.2.3. Riego por gravedad	21
1.1.3. Calidad de agua.....	22
1.1.3.1. Definiciones relacionadas con el control de calidad de agua.....	22
1.1.4. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego	23
1.1.5. Parámetros físicos	23
1.1.6. Parámetros químicos	24
1.1.7. Parámetros microbiológicos	29
1.1.8. Espectrofotometría.....	30
1.1.8.1. Principios básicos de la espectroscopía de absorción UV-Visible.....	30
1.1.8.2. Ley de Lambert-Beer	31
1.1.9. Índices de calidad del agua	33
1.1.9.1. Ventajas y limitaciones de Índices de calidad.....	34
1.1.9.2. ICA-NSF	34
2. CAPÍTULO II: Materiales y Metodología	36



2.1.	Metodología de trabajo	36
2.1.1.	Mapeo y descripción del canal.....	36
2.1.2.	Cálculo del número de muestras	37
2.1.3.	Período de toma de muestras	38
2.1.4.	Consideración para la toma de muestras.....	38
2.1.5.	Toma y manejo de la muestra	39
2.1.5.1.	Procedimiento de toma de muestras.....	40
2.2.	Materiales, equipos y reactivos	41
2.2.1.	Materiales para muestreo	41
2.2.2.	Equipos de análisis de campo	41
2.2.3.	Material de laboratorio.....	41
2.2.4.	Equipos de laboratorio	42
2.2.5.	Reactivos de laboratorio	43
2.3.	Métodos y técnicas de análisis físicos, químicos y microbiológicos	44
2.3.1.	Parámetros físicos	44
2.3.1.1.	Temperatura	44
2.3.1.2.	Conductividad	44
2.3.1.3.	Sólidos Totales Disueltos.....	45
2.3.1.4.	Turbidez	45
2.3.1.5.	Color.....	46
2.3.2.	Parámetros químicos.....	46
2.3.2.1.	pH.....	47
2.3.2.2.	Nitratos.....	48
2.3.2.3.	Nitritos.....	49
2.3.2.4.	Sulfatos.....	49
2.3.2.5.	Hierro	50
2.3.2.6.	Fosfatos	50



2.3.2.7.	Cobre	51
2.3.2.8.	Alcalinidad	51
2.3.2.9.	Dureza total	53
2.3.3.	Parámetros microbiológicos	54
2.3.3.1.	Coliformes totales	54
2.3.3.2.	Coliformes fecales.....	55
2.4.	Análisis estadístico	55
2.5.	ICA-NSF	56
3.	CAPÍTULO III: RESULTADOS	58
3.1.	Clasificación de resultados	58
3.1.2.	Cálculos estadísticos de Cobre, Hierro y Coliformes Totales	70
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
	Los resultados obtenidos luego de ser estudiados y analizados, son discutidos individualmente a continuación.	71
4.1.	Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	71
4.1.1.	Conductividad.....	71
4.1.3.	Temperatura	73
4.1.4.	pH.....	73
4.1.5.	Nitratos.....	74
4.1.6.	Nitritos	75
4.1.7.	Sulfatos	75
4.1.8.	Hierro	76
4.1.9.	Fosfatos	77
4.1.10.	Cobre.....	79
4.1.11.	Alcalinidad.....	79
4.1.12.	Dureza total.....	81
4.1.13.	Turbiedad y Color	82



4.1.14. Coliformes Totales.....	82
4.1.15. Coliformes fecales	83
4.2. ÍNDICE DE CALIDAD ICA-NSF	83
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	88
ANEXO 1. VALORES LÍMITES PERMISIBLES.....	90
ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DEL CANAL.....	92
ANEXO 3. TABLA DE MÉTODO MICROBIOLÓGICO (NMP)	118
ANEXO 4. CLASIFICACIÓN DE INDICES DE CALIDAD SEGÚN PESOS	119
ANEXO 5. VALORES DE Q PARA EL CÁLCULO DE ICA-NSF	120
ANEXO 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO	125
ANEXO 7. TABLAS DE VALORES MÁXIMOS POR PARÁMETRO EN CADA MUESTREO	130
ANEXO 8. Cálculos de ICA-NSF mediante la función aritmética	142
ANEXO 9. ÍNDICES DE CALIDAD MÉTODO MULTIPLICATIVO	146
BIBLIOGRAFÍA	151

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Escala de pH (OpenStax College, s. f.)	25
Ilustración 2 Espectro electromagnético («Espectro electromagnético», 2019).....	31
Ilustración 3 Haz de luz incidente en una cubeta que presenta una solución (Herrera Escudero, 2014).	32
Ilustración 4 Mapeo del canal principal con la aplicación Geo Tracker	36
Ilustración 5 Mapa del Sistema de riego en Google Earth	37
Ilustración 6 Zonificación de puntos de muestreo	39
Ilustración 7 Diagrama de flujo para medir Temperatura In Situ.....	44
Ilustración 8 Diagrama de flujo para medir la conductividad en una muestra	45
Ilustración 9 Diagrama de flujo para medir los STD en una muestra.....	45
Ilustración 10 Diagrama de flujo para medir la turbiedad de una muestra.....	46



Ilustración 11 Diagrama de flujo para determinar el color de una muestra de agua	46
Ilustración 12 Diagrama de flujo para medición de pH en la muestra.	48
Ilustración 13 Diagrama de flujo para análisis de Nitratos en la muestra	48
Ilustración 14 Diagrama de flujo para determinación de Nitritos en la muestra	49
Ilustración 15 Diagrama de flujo para determinación de Sulfatos en la muestra	49
Ilustración 16 Diagrama de flujo para el análisis de Hierro en la muestra.....	50
Ilustración 17 Diagrama de flujo para análisis de fosfatos en una muestra.....	51
Ilustración 18 Diagrama de flujo para el análisis de Cobre en una muestra.....	51
Ilustración 19 Diagrama de flujo para análisis de alcalinidad en una muestra.....	52
Ilustración 20 Diagrama de flujo para análisis de dureza total en una muestra de agua	54
Ilustración 21 Diagrama de flujo para determinar el NMP/mL de coliformes totales en una muestra de agua.....	55
Ilustración 22 Diagrama de flujo para determinar el NMP/mL de coliformes fecales en una muestra de agua.....	55
Ilustración 23 Variación del Índice de Calidad, muestreo 1	59
Ilustración 24 Variación del Índice de Calidad, muestreo 2.....	60
Ilustración 25 Variación del Índice de Calidad, muestreo 3.....	61
Ilustración 26 Variación del Índice de Calidad, muestreo 4.....	62
Ilustración 27 Variación del Índice de Calidad, muestreo 5.....	63
Ilustración 28 Variación del Índice de Calidad, muestreo 6.....	64
Ilustración 29 Variación del Índice de Calidad, muestreo 7.....	65
Ilustración 30 Variación del Índice de Calidad, muestreo 8.....	66
Ilustración 31 Variación del Índice de Calidad, muestreo 9.....	67
Ilustración 32 Variación del Índice de Calidad, muestreo 10.....	68
Ilustración 33 Variación del Índice de Calidad, muestreo 11	69
Ilustración 34 Variación del Índice de Calidad, muestreo 12.....	70
Ilustración 35 Variación de la conductividad en cada muestreo	72
Ilustración 36 Variación de sólidos totales disueltos en cada muestreo	73
Ilustración 37 Variación de pH en cada muestreo	74
Ilustración 38 Variación de nitratos en cada muestreo	75
Ilustración 39 Variación de sulfatos en cada muestreo.....	76
Ilustración 40 Variación de hierro en cada muestreo	77
Ilustración 41 Variación de fosfatos en cada muestreo	78
Ilustración 42 Variación de cobre en cada muestreo	79



Ilustración 43 Variación de alcalinidad en cada muestreo	80
Ilustración 44 Incremento de alcalinidad según cada muestra	81
Ilustración 45 Variación de dureza total en cada muestreo	81
Ilustración 46 Variación de coliformes totales en cada muestreo	82
Ilustración 47 Variación de coliformes fecales en cada muestreo	83
Ilustración 48 Clasificación de los Índices de Calidad y la asignación de sus pesos relativos (Torres et al., 2009).....	119
Ilustración 49 Rangos de clasificación de los ICA (Torres et al., 2009).....	120
Ilustración 50 Clasificación de los ICA por la representación de los resultados (Torres et al., 2009).	120
Ilustración 51 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 1	130
Ilustración 52 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 1	131
Ilustración 53 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 1 ..	131
Ilustración 54 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 2.....	131
Ilustración 55 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 2	132
Ilustración 56 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 2...	132
Ilustración 57 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 3.....	132
Ilustración 58 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 3	133
Ilustración 59 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 3..	133
Ilustración 60 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 4.....	133
Ilustración 61 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 4	134
Ilustración 62 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 4..	134
Ilustración 63 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 5.....	134
Ilustración 64 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 5	135
Ilustración 65 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 5..	135
Ilustración 66 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 6	136
Ilustración 67 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 6..	136
Ilustración 68 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 7.....	136
Ilustración 69 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 7	137
Ilustración 70 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 7..	137
Ilustración 71 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 8.....	137
Ilustración 72 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 8	138
Ilustración 73 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 8...	138
Ilustración 74 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 9.....	138



Ilustración 75 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 9	139
Ilustración 76 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 9..	139
Ilustración 77 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 10.....	139
Ilustración 78 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 10	140
Ilustración 79 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 10	140
Ilustración 80 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 11	140
Ilustración 81 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 11	141
Ilustración 82 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 11	141
Ilustración 83 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 12.....	141
Ilustración 84 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 12	142
Ilustración 85 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 12	142

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de la Dureza del Agua (Brunton, 2011).....	29
Tabla 2 Límites de Dureza Sugeridos para Varios Propósitos de Agua (Brunton, 2011).	29
Tabla 3 Representación de Resultados del ICA-NSF.....	35
Tabla 4 Descripción de Puntos de Muestreo.	38
Tabla 5 Etiqueta del Recipiente para la Recolección de la Muestra.....	40
Tabla 6 Materiales para la Toma de Muestras.....	41
Tabla 7 Equipo para Análisis de Campo	41
Tabla 8 Materiales de Análisis en Laboratorio.....	41
Tabla 9 Equipos de Análisis en Laboratorio.....	42
Tabla 10 Reactivos Usados en los Análisis de Laboratorio.....	43
Tabla 11 Soluciones Estándar Preparadas a una Concentración de 5mg/L para Verificar Mediciones del Equipo.	47
Tabla 12 Valores de pH a Tomar en Cuenta en la Titulación para Determinación de Alcalinidad Total (Universidad Complutense Madrid, 2009)	52
Tabla 13 Valores w_i para el Cálculo del ICA-NSF (Thukral, Renu, & Rupinder, 2005)	57
Tabla 14 Valores w_i Recalculados para el Cálculo del ICA-NSF.....	57
Tabla 15 Índice de Calidad NSF Muestreo 1	58
Tabla 16 Índice de Calidad NSF Muestreo 2.....	59



Tabla 17 Índice de Calidad NSF, muestreo 3	60
Tabla 18 Índice de Calidad NSF, muestreo 4	61
Tabla 19 Índice de Calidad NSF, muestreo 5	62
Tabla 20 Índice de Calidad NSF, muestreo 6	63
Tabla 21 Índice de Calidad NSF, muestreo 7	64
Tabla 22 Índice de Calidad NSF, muestreo 8	65
Tabla 23 Índice de Calidad NSF, muestreo 9	66
Tabla 24 Índice de Calidad NSF, muestreo 10	67
Tabla 25 Índice de Calidad NSF, muestreo 11	68
Tabla 26 Índice de Calidad NSF, muestreo 12	69
Tabla 27 Tabla estadística que muestra valores máximos, mínimos y modas de ciertos parámetros.....	70
Tabla 28 Rango de Alcalinidad en agua de riego (Guy, 2017).....	80
Tabla 29 Resumen de resultados descriptivos del ICA-NSF (técnica aritmética).....	84
Tabla 30 Resultados descriptivos del ICA-NSF técnica multiplicativa.	84
Tabla 31 Resultados promedios de las zonas de Oxígeno Disuelto	85
Tabla 32 Resultados descriptivos del ICA-NSF usando la técnica multiplicativa y el parámetro DO.	85
Tabla 33 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017).....	91
Tabla 34 Límites permisibles obtenidos de Normativas.....	92
Tabla 35 Valores Q para coliformes fecales, DBO5 y Oxígeno Disuelto (Thukral et al., 2005).	121
Tabla 36 Valores Q para: pH, variación de temperatura y turbiedad (Thukral et al., 2005).	123
Tabla 37 Valores Q para: Sólidos totales disueltos, fosfatos y nitratos (Thukral et al., 2005).	124
Tabla 38 RESULTADOS DE MUESTREO 1	125
Tabla 39 RESULTADOS DE MUESTREO 2	125
Tabla 40 RESULTADOS DE MUESTREO 3	126
Tabla 41 RESULTADOS DE MUESTREO 4	126
Tabla 42 RESULTADOS DE MUESTREO 5	127
Tabla 43 RESULTADOS DE MUESTREO 6	127
Tabla 44 RESULTADOS DE MUESTREO 7	127



Tabla 45 RESULTADOS DE MUESTREO 8	128
Tabla 46 RESULTADOS DE MUESTREO 9	128
Tabla 47 RESULTADOS DE MUESTREO 10	129
Tabla 48 RESULTADOS DE MUESTREO 11	129
Tabla 49 RESULTADOS DE MUESTREO 12	129
Tabla 50 Resultados estadísticos de valores máximos, mínimos y modas de ciertos parámetros.....	130
Tabla 51 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 1	142
Tabla 52 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 2	143
Tabla 53 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 3	143
Tabla 54 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 4	143
Tabla 55 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 5	144
Tabla 56 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 6	144
Tabla 57 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 7	144
Tabla 58 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 8	144
Tabla 59 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 9	145
Tabla 60 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 10	145
Tabla 61 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 11	145
Tabla 62 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 12	146
Tabla 63 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 1	146
Tabla 64 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 2	146
Tabla 65 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 3	147
Tabla 66 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 4	147
Tabla 67 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 5	148
Tabla 68 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 6	148
Tabla 69 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 7	149
Tabla 70 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 8	149
Tabla 71 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 9	150
Tabla 72 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 10	150
Tabla 73 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 11	151
Tabla 74 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 12	151



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Christian Javier Andrade Herrera en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de la calidad de agua de riego de la junta 54-a y su incidencia en la actividad de los usuarios", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de Septiembre del 2019

Christian Javier Andrade Herrera

C.I: 0106508120



Cláusula de Propiedad Intelectual

Christian Javier Andrade Herrera, autor del trabajo de titulación "Análisis de la calidad de agua de riego de la junta 54-a y su incidencia en la actividad de los usuarios", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 25 de Septiembre del 2019



Christian Javier Andrade Herrera

C.I: 0106508120



AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer primeramente a mi familia, por haberme apoyado en toda decisión tomada a lo largo de toda mi carrera Universitaria. En especial a mi madre María y abuela Judith que me supieron apoyar desde pequeño hasta el día de hoy dándome todos los recursos necesarios para poder llevar a cabo todos mis proyectos concluidos hasta la actualidad.

Agradezco a mi hermano Miguel por sacarme una sonrisa en tiempos de tristeza y seguir adelante.

Agradezco también a mi padre por haberme apoyado con sus consejos y en la vida cuando lo he necesitado.

Para poder llevar este proyecto de titulación adelante y poderlo aterrizar a la realidad, sin duda agradezco al Doctor Giovanni Larriva por acogerme en su laboratorio y capacitarme para el proceso de análisis de la calidad de agua brindándome sus conocimientos y experiencia. De igual forma mis agradecimientos a mi directora de tesis, la Ingeniera Sonia Astudillo por aportar con sus conocimientos y dar un árduo seguimiento a este largo proceso de un proyecto que aunque se tuvieron varias adversidades en el camino, estoy seguro que en el futuro se podrá seguir con el mismo y generar un gran impacto en la sociedad.

Agradezco a todos los que hicieron posible realizar una movilidad estudiantil a la Universidad de Zaragoza, en especial a la Ingeniera Silvana Zalamea quien hizo este sueño realidad, donde obtuve grandes experiencias, amistades, conocimientos profesionales y humanos que sin duda cambiaron mi vida.

De igual forma agradezco a todos mis profesores de la Universidad de Cuenca y la Universidad de Zaragoza por brindarme su excelente e inigualable conocimiento e inculcarme en el mundo profesional.

Agradezco a mis amigos de la U; Santiago, Mafer, Josué, Victor, Meño, Juan, Andrea, Fany, Marco y a mi primo Andrés por hacer de mi etapa universitaria la mejor de mi vida hasta hoy.

Por último mi agradecimiento a la Junta de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte por abrirme un espacio para poder aplicar mis conocimientos adquiridos riego a lo largo de mis estudios.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación especialmente a mi madre María Herrera, que gracias a su esfuerzo, lucha constante y ánimos que me ha aportado durante toda mi vida, he podido salir adelante ante cualquier obstáculo que se me ha presentado. Sin duda ha sido uno de los pilares fundamentales para llegar hasta este punto de mi carrera.

Dedico este trabajo de igual forma a mi abuelo Ángel Herrera, que en paz descanse. Me inculcó muchos valores que me han traído hasta este punto, la honestidad, el trabajo duro, la resiliencia y sobretodo las ganas de salir adelante pese a las caídas que he sufrido.

Dedico también este trabajo a mi abuela Judith Vélez, que siempre me ha dado esa fuerza espiritual, esa ayuda incondicional en los momentos más difíciles.

A estas personas dedico todo mi esfuerzo realizado en este trabajo, de forma que impacte positivamente en la sociedad y pueda generar cambios positivos en el bienestar de las personas de esta población.



OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Analizar la calidad de agua de riego que pasa por el “Sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte” y su posible incidencia en la salud de la comunidad, en base a los parámetros de la normativa TULSMA sugerida por SENAGUA.

Objetivos Específicos

- Realizar un mapeo mediante GPS del canal principal del sistema de riego.
- Describir mediante imágenes cada kilómetro del canal, de forma que la evidencia adquirida sirva para futuras investigaciones.
- Estudiar la evolución del agua de riego a lo largo del canal mediante la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos para según con los resultados obtenidos poder compararlos con la Norma Técnica Ambiental, sección: “Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola” para otorgar posibles soluciones a la Junta de Riego, de modo que se tomen decisiones en cuanto a la mejora de la calidad del agua.
- Analizar puntos de contaminación a lo largo del recorrido del agua y proponer estrategias de mejora o de tratamiento de agua en caso de que se requiera.



PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

El sistema de riego Checa-Sidcay-Ricaurte, ubicado al noroccidente del cantón Cuenca, consta de un canal principal de 12 kilómetros que conduce agua de riego a través de 15 sectores para abastecer a aproximadamente 500 hectáreas de terreno agrícola, además el agua que recorre por estas parroquias sirve de sustento para familias que consumen el agua para uso personal (instalaciones del hogar, lavado de prendas de vestir, cocinar, consumo humano, etc.), para la alimentación de sus animales domésticos y de granja, siendo así la calidad de agua de riego un factor de gran importancia a la hora de tomar decisiones sobre su consumo, siendo sustancial la determinación de un plan de mejora para la calidad de agua (si fuese necesario).

La contaminación del agua se da por la falta de concientización de los moradores que ensucian el canal de riego, a esto se suma el problema de no saber a qué lugar conducir las aguas residuales de las industrias y casas aledañas, debido a que no cuentan con un sistema de alcantarillado en ciertas zonas, donde se observan desfuegos de aguas negras hacia el agua del canal de riego.

El mayor problema es el uso de un agua que presente cierto tipo de contaminación para el riego de los cultivos, ingesta de animales, uso personal, etc. Interfiriendo en la calidad de vida de las personas (salud) y animales, así como también en la calidad de los productos que se comercialicen luego de ser cosechados, afectando directamente al consumidor. Por lo tanto no hay concientización sobre la contaminación del agua en el canal.

Al analizar la calidad del agua de riego mediante levantamiento de información detallada de parámetros físicos, químicos y microbiológicos se logrará detectar donde se encuentran las zonas específicas que tienen mayor contaminación y a que se debe la misma, de tal forma que; una vez se tengan los resultados; se podrán tomar decisiones basados en un estudio técnico e investigativo para poder presentar planes de mejora a la Junta de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte. Este proyecto también proveerá estudios estadísticos de incidencia de contaminantes en el agua de riego, de tal forma que se procederá a la concientización de los moradores para que no causen contaminación en la fuente hídrica y los posibles efectos que tendrán sobre su salud, y la calidad de sus cultivos.



HIPÓTESIS

El agua de riego de uso agrícola, ganadero y de consumo humano procedente del sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte, presenta una calidad óptima, que cumple con la normativa TULSMA, de modo que presente valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos que se encuentren dentro de los límites permisibles, de forma que no exhiba contaminación que tenga incidencia en los productos agrícolas, animales, ni mucho menos en la salud de las personas.



1. CAPÍTULO 1: MARCO DE REFERENCIA

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. Breve reseña histórica del sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte

En el año de 1998 debido a la escasez de agua para los cultivos y la vida misma en la zona norte del cantón Cuenca, el sistema de riego de Checa-Sidcay-Ricaurte fue conformado y legalizado por varios líderes. Al principio el proyecto parecía inviable, debido a los costos de construcción del sistema y la desconfianza de la población que temían que el proyecto fuera un fracaso. Sin embargo, luego de acuerdos con la institución CREA, se consiguió el apoyo para el desarrollo agrícola, con lo cual se dió marcha al proyecto. Luego de un levantamiento de información topográfica, se empezó la construcción con la ayuda de ingenieros y 650 moradores, del canal principal de 12 kilómetros que conduce el agua desde el río Machángara por las 3 parroquias principales y 15 sectores aledaños, con un caudal de 500 litros por segundo, de tal forma que se llega a la irrigación de más de 800 hectáreas de alrededor de 960 socios. Todo esto gracias a un convenio con la Secretaría del Agua firmado en el año 2009, con la condición de que exista una correcta administración de la Junta de Riego y un uso correcto del agua desde la captación hasta la distribución tomando en cuenta el debido mantenimiento de la infraestructura del canal de Riego (Once & Barros, 2012).

1.1.2. Tres principales problemáticas en la Junta General de Regantes

- Infraestructura de riego escasa; la falta de tecnificación que impide una optimización del uso del agua,
- Falta de conciencia medioambiental; los propios moradores aledaños al canal desechan basura, animales en descomposición, residuos orgánicos, heces fecales, aguas residuales de viviendas, entre otros, lo que repercute potencialmente la calidad del agua de riego y la salud de las personas que consumen el agua y los cultivos,
- Desperdicio del caudal de agua; provocada por una falta de conocimiento, educación y capacitación a los moradores (Once & Barros, 2012).

1.1.2.1. Tecnificación de riego

Cuando se intentan realizar mejoras para el sector agrícola se usa el término “Tecnificación de riego”, esto implica mejorar la infraestructura de riego, optimizar la



conducción de agua por una determinada zona de modo que sea eficiente para evitar pérdidas por infiltración, construcción de medianas o pequeñas represas, disminuir la mano de obra mediante la optimización de riego agrícola mediante el uso de sistemas de goteo, aspersores, etc. De forma que sea sostenible a lo largo del tiempo, considerando el cambio climático y sus efectos, el déficit hídrico de las zonas, los bajos índices de rendimientos agrícolas y sobre todo la seguridad alimentaria (Rendon, 2013).

Según el estudio del Banco Mundial, el Ecuador presenta una tecnificación de riego de un 13,8%, el restante no presenta esta tecnología que permite a los agricultores abastecer a sus cultivos con la cantidad necesaria de agua, lo que se concluye en una ineficiencia de los sistemas de riego y un gran desperdicio de agua (BANCO MUNDIAL, 2017).

Es de suma importancia que los agricultores actualicen su sistema de riego, de tal forma que estos sean flexibles para adaptarse a la gran variedad de cultivos existentes en las diferentes zonas del Ecuador, para que según acuerdos sociales exista un correcto reparto y distribución de agua. Las tendencias para un correcto manejo del agua en las parcelas se basan en la presurización de los sistemas de riego tales como: riego por goteo, riego por aspersión y riego por microaspersión, los cuales incrementan el rendimiento agrícola como mínimo entre un 10 a 15 % (Sosa & Larrea, 2014).

1.1.2.2.Riego por aspersión

El agua llega al suelo aparentando ser la lluvia, mediante una red de tuberías que a presión determinada se genera un chorro de agua pulverizada en forma de gotas, la presión se ejerce por un sistema de bombeo o diferencial de nivel. El agua llega a los aspersores para ser distribuida dependiendo la conformación y forma del terreno desde la fuente principal. El problema de este sistema es el costo, sin embargo con muy poca cantidad de agua, se puede abastecer a más hectáreas que mediante el riego por gravedad (Tayupanda Paca, 2009).

Este tipo de riego abastece agua de manera localizada y continua aumentando de manera potencial la eficiencia, de modo que se puede adaptar a cualquier tipo de suelo que tenga condiciones topográficas diferentes. Otra característica importante de este sistema es poder aplicar el agua y fertilizantes cuando los cultivos lo necesiten, con todas estas características, se alcanza una eficiencia mayor al 90% (Agrobanco, 2013).

1.1.2.3.Riego por gravedad



Es el método más antiguo y amplio; empleado para riego alrededor del mundo, esto ha hecho que vaya evolucionando tecnológicamente, adaptándose de una mejor forma a la variedad de condiciones topográficas de los países. Se pueden encontrar diferentes tipos de sistemas que van desde procedimientos muy antiguos, hasta muy sofisticados para que esta técnica sea dominada. Existen variedades de este sistema como son: riego mediante canales en los contornos (los canales se elaboran con pendientes ligeras y uniformes), riegos por surcos (los surcos o pequeños canales se ubican entre las hileras del cultivo y en suelos con una pendiente menor a 40% con respecto al terreno) y riego por inundación (el agua se introduce en los sembríos libremente en relación a la topografía que tenga el terreno, este método es muy usado cuando el agua abunda) (Tayupanda Paca, 2009).

Existen otros tipos de sistemas tecnificados de riego por gravedad, los cuales son:

- Sistemas de riego con mangas: se conduce el agua de un punto a otro mediante mangas plásticas que presentan perforaciones a determinadas distancias (Agrobanco, 2013).
- Sistema de riego multicompuerta: este sistema presenta una eficiencia de un 70%, debido a que se usan tuberías fáciles de usar, transportar e instalar. Su presión de trabajo es baja debido a que en su instalación se usan tuberías de conducción y distribución en la superficie del terreno, humectando solo áreas necesarias (Agrobanco, 2013).
- Sistema de riego por impulsos o intermitente: es el sistema con una mayor eficiencia (75%), el agua se aplica en intervalos de tiempo frecuentes y cortos hacia los surcos, mediante un dispositivo que abre y cierra las compuertas cada determinado tiempo. Presenta fácil instalación, operación y mantenimiento (Agrobanco, 2013).

1.1.3. Calidad de agua

El término “Calidad de agua” es utilizado para describir el aspecto físico, químico, biológico y estético del agua, determinando así su aptitud para el uso y su finalidad, ya sea para riego, consumo humano, industria, recreación, etc. La mayoría de estas propiedades son controladas o influenciadas por constituyentes que se disuelven o suspenden en el agua (composición) (Ramos, 2015).

1.1.3.1. Definiciones relacionadas con el control de calidad de agua



- Criterio: estimación científica en la que se basa un juicio sobre la calidad de agua para un determinado uso,
- Estándar: valor límite de contaminación que se encuentra establecido legalmente para un determinado parámetro de control de calidad de agua,
- Objetivos: conjunto de parámetros de calidad o niveles de contaminantes que deben conseguirse en un tratamiento o mejora de la calidad de agua, mediante el muestreo y la vigilancia de los mismos (Ramos, 2015).

1.1.4. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

Se entiende por agua de uso agrícola aquella que presenta una finalidad para la irrigación de los cultivos y demás actividades conexas o complementarias. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas que han sido tratadas que cumplan con los niveles establecidos en el “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)” (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017).

En la tabla 1 en la sección de ANEXOS se detallan los criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

1.1.5. Parámetros físicos

Temperatura: parámetro físico de mucha importancia debido a los procesos que ocurren en el agua. Al aumentar la temperatura del medio acuoso se modifica la solubilidad de las sustancias, tales como: sólidos disueltos que aumentan y los gases que disminuyen. La actividad biológica se duplica aproximadamente cada 10 grados de temperatura, sin embargo al superar un valor característico de cada especie viva, se tiene efectos letales para los organismos. Pueden existir aumentos anormales de temperatura por causas no climáticas, cuando se tienen procesos industriales que intercambien calor por ejemplo. La temperatura se determina mediante termometría que se realiza “in situ” (Díaz de Santos & Aznar Jiménez, 2000).

Color: el color es la capacidad de absorber determinadas radiaciones del espectro visible. Debido a que existen muchas causas del mismo, no se puede atribuir a un constituyente específico, aunque colores característicos pueden dar una idea de la causa que los provoca, en especial en las aguas de origen natural. Los colores del agua pueden variar



desde amarillento (presencia de ácidos húmicos), pasando por rojizo (debido al hierro) hasta llegar a colores negros (indicador de manganeso) (Moreno, 2011).

Turbidez: es un parámetro que provoca que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Tiene su origen debido a las partículas en suspensión o coloides, es causada por las partículas que por su tamaño se encuentran suspendidas, tales como: arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos, entre otros, reduciendo así la transparencia del agua. La medición de este parámetro se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro, siendo la unidad de medida la unidad nefelométrica de turbidez (UNT) (Pradillo, 2016).

Conductividad Eléctrica: es una propiedad que presenta el agua para conducir la corriente eléctrica, esta depende de la concentración y movilidad de los iones presentes, su valencia y temperatura de medición. La variación de este valor medido también facilita información sobre la materia orgánica en descomposición, ayudando a la detección de fuentes de contaminación (CORTOLIMA, 2013).

Sólidos Disueltos Totales: la concentración de los sólidos disueltos totales es la suma de todos los cationes y aniones disueltos en el agua, por lo tanto es una medida de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o en suspensión microgranular (sol coloide). Los componentes más comunes en este parámetro son: fosfatos, nitratos, calcio, potasio, sodio y cloruros. Estos sólidos se diferencian de los sólidos suspendidos totales (SST), en que estos últimos no pasan a través de un tamiz de dos micrómetros y aún se encuentran suspendidos indefinidamente en la solución (PanaChlor, 2017).

1.1.6. Parámetros químicos

pH, este parámetro es una medida de la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en una solución. Su concentración se da en valores de pH comprendidos entre 1 y 14, siendo así que las aguas con pH menores a 7 son consideradas ácidas (corroen las piezas metálicas) debido a que tienen una concentración de H^+ mayor que el agua (mayor a 1×10^{-7} M), mientras que soluciones con pH superiores a 7 se denominan básicas (precipitación de sales insolubles, provoca incrustaciones) y tienen una concentración de H^+ menor. Hay que tener presente que las mediciones de pH sufren variaciones con el cambio de temperatura (Díaz de Santos & Aznar Jiménez, 2000).



El pH se calcula como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno en una solución (OpenStax College, s. f.).

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$$

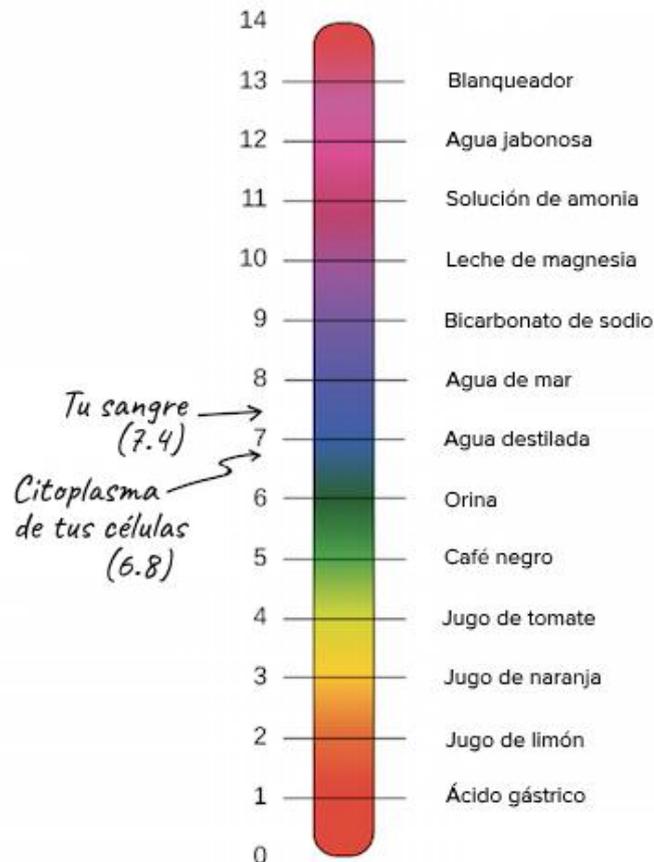


Ilustración 1 Escala de pH (OpenStax College, s. f.)

Nitratos y nitritos: los nitratos y nitritos son iones naturales que forman parte del ciclo del nitrógeno. El ion nitrato (NO_3^-) es la forma estable del nitrógeno combinado para sistemas oxigenados, aunque este no es reactivo químicamente, puede reducirse debido a la acción microbiana. El ion nitrito (NO_2^-) contiene nitrógeno en un estado de oxidación relativamente inestable. Procesos químicos y biológicos pueden reducir aún más el nitrito a varios compuestos u oxidarlo a nitrato (World Health Organization, 2011).

Los nitratos se usan principalmente en fertilizantes inorgánicos, compuestos oxidantes y en la elaboración de explosivos. Estos se producen naturalmente en las plantas, por lo que es un nutriente clave de las mismas. Los nitratos y nitritos también se forman endógenamente en mamíferos, incluidos los humanos (World Health Organization, 2011).



Los nitratos pueden alcanzar el agua superficial y subterránea debido a la actividad agrícola (exceso de aplicación de fertilizantes nitrogenados orgánicos y abonos orgánicos provenientes de animales), oxidación de residuos nitrogenados, procedentes de tratamientos de aguas residuales, fosas sépticas, etc. Los nitritos pueden formarse de igual forma por las bacterias Nitrosomonas durante un estancamiento de agua que contenga nitratos, así como también los nitritos son oxidados a nitratos por la bacteria Nitrobacter (World Health Organization, 2011).

En el suelo, los fertilizantes que contienen nitrógeno inorgánico y desechos que contienen compuestos orgánicos tienen un proceso de descomposición, el nitrógeno se descompone en amoníaco, el cual se oxida a nitrito y nitrato (forma más estable del nitrógeno), el cual es absorbido por las plantas en su crecimiento. El nitrato excedente se mueve fácilmente por las aguas subterráneas y superficiales, en las cuales puede ocurrir nitrificación y desnitrificación, dependiendo de la temperatura y el pH. La captación de nitrato por parte de las plantas es la responsable para la reducción de nitratos en aguas superficiales (World Health Organization, 2011).

Los nitritos en altas concentraciones reaccionan en el interior del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias provocando la formación de nitrosaminas que presentan un alto poder cancerígeno. Este parámetro raras veces aparece en concentraciones superiores a 1mg/L, incluso en plantas de tratamiento de aguas residuales, así como también en aguas superficiales y subterráneas, los nitritos presentan una concentración generalmente menor a 0,1mg/L (Lasso Palacios, 2009).

Sulfatos: Los sulfatos, sales solubles están presentes en casi todas las aguas naturales. La mayoría de los compuestos de sulfatos tienen su origen debido a la oxidación de minerales de sulfito o debido a desechos industriales. En la naturaleza los sulfatos se forman a partir de la disolución en el agua de las rocas y suelos que contienen minerales de sulfato, tales como: sulfato de sodio (sal de Glauber), sulfato de magnesio (sal de epsom) y sulfato de calcio (yeso) (D'angelo, 2017).

Los sulfatos son uno de los componentes principales disueltos de la lluvia en las aguas superficiales. Altas concentraciones de sulfatos en el agua pueden tener un efecto laxante (deshidratación y diarrea) si estos son consumidos, al combinarse con el calcio y magnesio, compuestos muy comunes de la dureza (D'angelo, 2017).



A más de esto el ion sulfato procede fundamentalmente de procesos de disolución de yesos ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), así como también las cantidades que proceden de la oxidación bacteriana de sulfuros. Aguas con importante contenido de sulfatos, insolubilizan los metales pesados presentes, minimizando su toxicidad (Universidad de Jaén, 2010).

Hierro: El hierro es un elemento traza común que se encuentra en los suelos y aguas subterráneas, a más de esto, este elemento es el cuarto mineral más abundante de la corteza terrestre. El hierro se produce naturalmente en el agua en forma soluble como hierro ferroso que es invisible (hierro bivalente: Fe^{+2}) o forma no soluble como hierro férrico (hierro trivalente: Fe^{+3}) u oxidado que se manifiesta a través de precipitaciones en forma de partículas color rojo parduzco suspendidas en el agua. Hay que recalcar que este mineral es un contaminante común del agua que no se considera un peligro para la salud, a menos que se encuentre en niveles elevados puede causar problemas estéticos en plantas ornamentales, equipos de riego, entre otros (Estación Experimental Agrícola de New Jersey, 2005).

El agua de riego que presente niveles de concentración por encima de 0,1 mg/L podría provocar obstrucción de emisores de riego por goteo y por encima de una concentración de 0,3 mg/L puede provocar manchas de óxido de hierro y decoloración de las plantas, sin embargo estos niveles se encuentran por debajo de los niveles que causan toxicidad en el tejido de la planta, a excepción de que la concentración de este mineral supere los 4 mg/L o cuando el pH del medio radicular es inferior a 5,5 (Estación Experimental Agrícola de New Jersey, 2005).

Fosfatos: El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de tal forma que altas concentraciones de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática. Gran parte del fósforo que se encuentra en las aguas, se da por el uso de abonos fosfatados y detergentes (Díaz de Santos & Aznar Jiménez, 2000).

La concentración de fósforo determina el nivel de eutrofización (aumento de plantas y algas), al aumentar la proliferación de algas aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, disminuyendo el oxígeno disuelto. Las fuentes más comunes de fosfatos en el agua son:

- Residuos humanos y animales (excremento): provenientes de aguas residuales y excrementos de animales que viven cerca del cuerpo de agua (principalmente fosfatos unidos orgánicamente),



- Residuos industriales: llamados también polifosfatos que son fosfatos condensados, que cuando se requiere se agregan al agua para prevenir la formación de incrustaciones e inhibir la corrosión de tuberías,
- Residuos agrícolas, los fertilizantes contienen altos niveles de fosfatos, especialmente los ortofosfatos como por ejemplo PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} y H_2PO_4 , que ingresan al agua por escorrentía y erosión debido a las perturbaciones de la tierra y la vegetación en épocas de lluvia (Oram, 2014).

Bajos niveles de fosfatos limitan el crecimiento de la planta, sin embargo este crecimiento puede ser estimulado por niveles de concentración superiores a 0,1mg/L de fósforo en forma de fosfatos (Oram, 2014).

Cobre: este elemento metálico es considerado como tóxico, bioacumulativo y persistente en el ambiente, con una degradación casi imposible. Una vez que este entra en un sistema, puede permanecer un largo tiempo indefinido en el mismo. El cobre en el agua de riego se moviliza hasta la superficie del suelo en el cual este queda retenido, permaneciendo disponible para las plantas creando fitotoxicidad a largo plazo. Este elemento no tiene solamente efectos negativos, ya que, es considerado un micronutriente en muy pequeñas dosis (elemento estructural en proteínas, transporta electrones fotosintéticos, etc), que es absorbido por los tejidos de las plantas, y sale del sistema al cosechar los cultivos (Molinari, Bentivegna, & Tucatu, 2015).

De la naturaleza de los cultivos depende la absorción de metales pesados en los mismos, en unos el cobre se acumulará más que en otros. Entre las fuentes más importantes de contaminación de este metal son: minería, residuos urbanos, agrícolas, industriales y el uso de agroquímicos, siendo perjudicial para el crecimiento de la planta un exceso de este elemento así como también para los seres humanos y otros animales (Shiyab, 2018).

Alcalinidad: se determina mediante titulación ácido base (neutralizando ácidos normalmente), usando indicadores colorimétricos, este parámetro en aguas superficiales se da por la presencia de hidroxilos, bicarbonatos (Ca, K, Na y Mg) y carbonatos. La alcalinidad suministra la acción buffer de cambios de pH en el agua, de tal forma que para determinar la capacidad de conservar los procesos biológicos, productividad duradera y sostenida del agua, se usa este parámetro (CORTOLIMA, 2013).

Dureza: indicador de contenido iónico en el agua, es decir, concentración de Calcio y Magnesio principalmente (estroncio y bario como iones secundarios) de origen natural.



A un alto contenido de estos iones, el agua se denomina “agua dura”, forma precipitados insolubles de carbonatos e hidróxidos (Aznar Jiménez, 2000).

En los suelos agrícolas si es necesario recuperar suelos sódicos, se procede al riego con aguas altas en dureza debido al intercambio entre iones. La dureza del agua se expresa como cantidad total de CaCO_3 en miligramos por litro de agua. Este parámetros no tiene influencia directa en las plantas, sin embargo, la dureza causada por bicarbonatos puede tener incidencia en los suelos. Por lo tanto impacta directamente en el crecimiento de las plantas (Brunton, 2011).

Tabla 1 Clasificación de la Dureza del Agua (Brunton, 2011).

<u>Descripción del agua</u>	<u>Dureza expresada en mg/L de CaCO_3</u>
Blanda	Menos de 50
Moderadamente blanda	50-75
Moderadamente dura	75-150
Dura	150-300
Muy dura	Más de 300

Tabla 2 Límites de Dureza Sugeridos para Varios Propósitos de Agua (Brunton, 2011).

<u>Necesidades de agua de granja</u>	<u>Dureza sugerida en mg/L de CaCO_3</u>
Equipos de lácteos y sistemas de agua caliente	Hasta 150
Usos domésticos: lavado y cocina	Hasta 200
Fosas sépticas	Más de 300

1.1.7. Parámetros microbiológicos

Coliformes totales: son microorganismos indicadores muy comunes para indicar la contaminación fecal y calidad microbiana del agua. La lluvia conjuntamente con las prácticas agrícolas, provoca una contaminación en el agua superficial por el arrastre de sedimentos hacia el agua de riego. (Topalcengiz, 2017).



Se considera coliformes totales a todo bacilo gramnegativo, que tiene la capacidad de reproducirse en un entorno de sales biliares a 35° o 37°C, con producción de ácidos, gases o aldehídos en un intervalo de tiempo de 24 a 48 horas. Este grupo comprende: Escherichia, citrobacter, enterobacter y klebsiella que pertenecen a las enterobacterias (Lopez et al., 2002).

Los coliformes se encuentran normalmente en el suelo, plantas y animales, incluyendo los humanos. Su presencia en el agua indica contaminación por parte de aguas servidas o desechos en descomposición, las cuales abundan en la capa superficial del agua o al fondo de la misma junto con los sedimentos generados (ControLab, 2018).

Coliformes fecales: se consideran como E. coli presuntivas (bacterias causantes de infecciones) de origen intestinal, siendo así un grupo derivado de las coliformes totales que fermentan lactosa en un rango de 44 ° a 45 °C. Particularmente se puede presenciar estos microorganismos en el agua contaminada debido a los desechos humanos (excrementos) principalmente, lo cual causa alto peligro en el uso del agua de riego que presente coliformes fecales, esto debido al riesgo de enfermedades que pueden producirse al ingerir alimentos contaminados con este microorganismo (Lopez et al., 2002).

Aproximadamente el 95% de coliformes que se encuentran en las heces fecales, son Escherichia coli y algunas especies de Klebsiella. Se consideran termotolerantes al soportar temperaturas altas, diferenciándose así de las coliformes fecales por su capacidad de desarrollarse a una mayor temperatura.

1.1.8. Espectrofotometría

Es una técnica de análisis que mide cómo interaccionan las moléculas con la radiación electromagnética. Se usa la energía de la luz visible y ultravioleta (150-400 kJ/mol) para excitar a los electrones, de forma que estos pasen de un orbital inicial con un estado de excitación, a otro orbital vacío de mayor nivel energético si se comunica la energía adecuada, esto ocurre por la absorción de un fotón cuya energía coincide con la diferencia energética entre el estado fundamental y el estado excitado. Este método de medición se usa para moléculas disueltas en un solvente transparente, de tal forma que la absorbancia de un soluto es dependiente linealmente de su concentración, por lo tanto esto se puede cuantificar (Universitat Politècnica de València - UPV, 2013).

1.1.8.1. Principios básicos de la espectroscopía de absorción UV-Visible



La espectroscopía es una técnica muy utilizada, basada en el estudio de la interacción de la radiación electromagnética con la materia. En concreto se mide la cantidad de luz absorbida en función de la longitud de onda utilizada, lo cual nos permite identificar sustancias químicas y su concentración (Universitat Politècnica de València - UPV, 2013).

En la ilustración 2 se observa el espectro electromagnético donde se encuentra la longitud de onda UV (190-350nm) y la luz visible (350-800nm) (Universitat Politècnica de València - UPV, 2013).

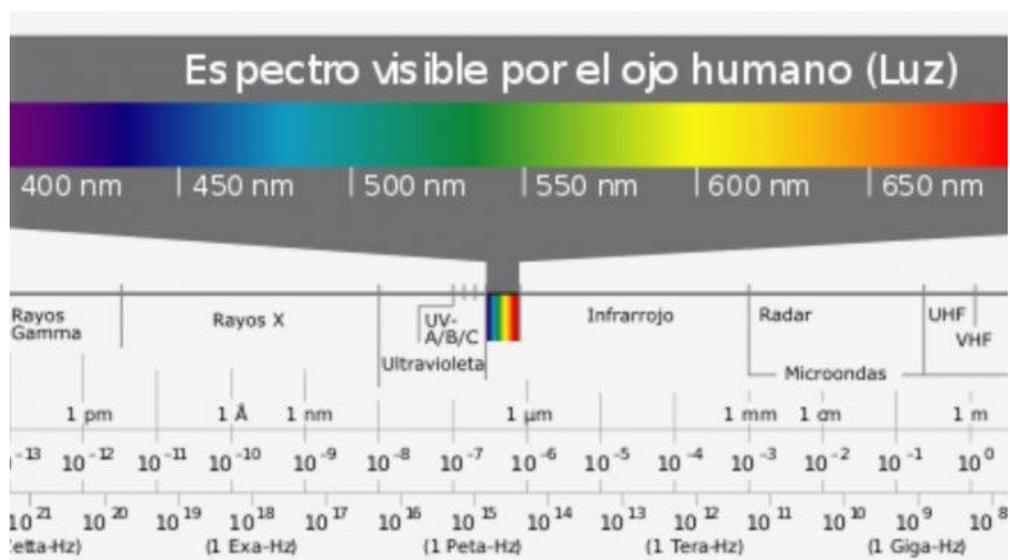


Ilustración 2 Espectro electromagnético («Espectro electromagnético», 2019).

Huella dactilar de un compuesto: si luego de un barrido espectral, se representa gráficamente la intensidad de la absorción de radiación en función de la longitud de onda de la radiación se obtiene la huella dactilar del compuesto, ya que, cada espectro de absorción de cada elemento es único, presentándose picos (máximos de energía) a longitudes de onda características y con distinta intensidad. Este concepto se aprovecha en el análisis cuantitativo para identificar y diferenciar elementos de otros, debido a que cada elemento tiene una intensidad de absorción a una determinada longitud de onda característica, siendo esta mayor cuanto mayor sea su concentración (Universitat Politècnica de València - UPV, 2013).

1.1.8.2.Ley de Lambert-Beer

Existen soluciones diluidas o gases que absorben determinada cantidad de luz, la absorbancia de estas se encuentra en estrecha relación con la concentración de la fase



absorbente, esta relación está dada por la Ley de Beer. A más de esto la luz que atraviesa la sustancia a analizar, tiene que recorrer un camino (espesor de la cubeta) de tal forma que la absorción de luz incidente se encuentra directamente en relación al camino recorrido, esta relación se manifiesta por la ley de Lambert (Walton & Reyes, 1983).

La ley de Beer se fundamenta en 3 fenómenos de la física: concentración (se relaciona con la cantidad de materiales de absorción en la trayectoria de la luz), distancia (camino recorrido de la luz al atravesar la muestra) y la absorbancia (probabilidad que tiene el fotón en esa amplitud de longitud de onda muy específico que pueda absorberse por los componentes en su camino) (Herrera Escudero, 2014).

$$A = -\epsilon C d$$

Donde A es la absorbancia, ϵ es el coeficiente molar de extinción o también conocida como absorptividad (constante de proporcionalidad), d es el recorrido en centímetros y C es la concentración molar (Herrera Escudero, 2014).

Normalmente la intensidad de un haz de luz que atraviesa una muestra disminuye paulatinamente esta atraviesa el medio que la absorbe, así tenemos la relación de Bouguer-Lambert-Beer:

$$T = 10^{-A}$$

Donde T se considera a la transmitancia, la cual indica la cantidad de radiación que incide (I_0) y la cantidad de radiación que sale de la muestra (I), por lo tanto la relación entre estas dos radiaciones se considera transmitancia ($T=I/ I_0$) (Herrera Escudero, 2014).

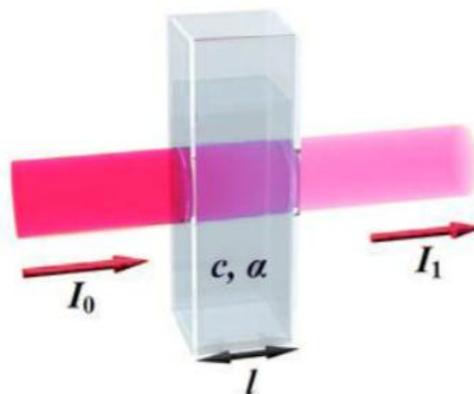


Ilustración 3 Haz de luz incidente en una cubeta que presenta una solución (Herrera Escudero, 2014).



En la ilustración 3 se observa un haz de radiación antes y después de atravesar una disolución absorbente de concentración c y espesor l . Debido a las interacciones entre los fotones de la radiación y las partículas absorbentes del medio se produce una disminución entre la potencia del haz incidente I_0 y sale como I_1 de menor intensidad. Se define por lo tanto la transmitancia como la fracción de esta luz incidente que es transmitida por la disolución, apareciendo el concepto de absorbancia definida por la siguiente ecuación (Herrera Escudero, 2014).

$$A = -\log(T) = \log\left(\frac{I_0}{I_1}\right)$$

Sin embargo esta Ley tiene algunas limitaciones, entre las principales se pueden citar que: solo describe bien cómo se comportan las soluciones diluidas (a mayor concentración las distancias entre moléculas disminuyen afectando su capacidad de absorción), no se cumple cuando el analito reacciona, se asocia o disocia con el disolvente y por último a nivel instrumental solamente se cumple si se analiza la disolución con radiaciones monocromáticas (Universitat Politècnica de València - UPV, 2013).

1.1.9. Índices de calidad del agua

Los indicadores de calidad de agua permiten conocer de una forma analítica y científica la calidad del recurso hídrico. Los índices de calidad tienen que adaptarse al uso particular del agua que en estudio, para de esta manera tener información físico-química y microbiológica que permita conocer de una manera muy específica la condición en la que se encuentra el agua, con el objetivo de controlar una posible contaminación mediante la planificación de estrategias a corto y largo plazo (Patiño, Holguín, Barba, & Cruz C, 2002).

Los investigadores a nivel mundial han planteado y estudiado varios índices de calidad para ser ocupados dependiendo del uso del agua, ya sea para consumo humano o riego principalmente. En los índices se agrupan varios parámetros dentro de un marco de análisis, evitando estudiar cada uno por separado, lo que nos da un entendimiento comparable de la calidad de agua en un sitio con un medioambiente específico, siendo estos métodos una herramienta necesaria para una vigilancia y control del recurso hídrico para su administración efectiva, en definitiva, un ICA se resume en un número que indica la calidad del agua al integrar matemáticamente varios parámetros analizados (Patiño et al., 2002).



Las aguas superficiales principalmente están abiertas a contaminación de origen natural y antropogénico (descarga de efluentes, agrícolas, etc.), esto puede generar un riesgo sanitario debido a que el agua se encarga de transportar contaminantes que puedan generar enfermedades al hombre y animales dependiendo del período de exposición a los mismos, siendo así el riesgo microbiológico un factor importante de análisis en el agua natural. Esto se comprueba mediante el estudio de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo que indica que: alrededor del 80% de enfermedades de los países integrantes a las Naciones Unidas, tiene su origen en el consumo de agua contaminada, sin importar si la población presente agua potable se evidencian problemas de calidad de agua (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

1.1.9.1. Ventajas y limitaciones de Índices de calidad

Ventajas

- a) Muestran como varía la calidad del agua en tiempo y en espacio,
- b) Expresa los resultados analizados en el laboratorio de una manera sencilla,
- c) Permiten interpretar datos de una manera entendible,
- d) Identifican áreas problemáticas de calidad de agua,
- e) Priorizan las gestiones de saneamiento del recurso hídrico (Torres et al., 2009).

Limitaciones

- a) No facilitan una completa información acerca de la calidad de agua,
- b) No evalúan de una manera detallada los riesgos que se presenten en el agua,
- c) Dependiendo del análisis, su formulación puede ser sesgada y subjetiva,
- d) Dependen de las condiciones ambientales para ser aplicadas, ya que no es igual una cuenca hidrográfica que otra en cualquier región (Torres et al., 2009).

Existen varios tipos de índices de calidad, los cuales se diferencian por el tipo de parámetros que se analizan matemáticamente para poder expresar un resultado final de la calidad del agua. La clasificación de estos se puede encontrar en el ANEXO 4.

1.1.9.2. ICA-NSF

El índice de Calidad de Agua más usado hasta la actualidad es el propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF), el cual ha sido creado por Brown para el análisis de la calidad de los ríos. Este índice ha sido adoptado y validado por diferentes estudios



internacionales, el cual define ciertos parámetros con pesos ponderados y subíndices para su cálculo (Cruz, Patiño, & Escobar, 2010).

Este índice tiene en cuenta 9 parámetros que son: oxígeno disuelto (mg/L), pH (unidades estándar), coliformes fecales (NMP/mL), DBO5 (mg/L), diferencia de temperatura (temperatura del ambiente-temperatura de la muestra en grados Celsius), fosfatos (mg/L), nitratos (mg/L), solidos totales disueltos (mg/L) y turbidez (NTU). Este ICA expresa sus resultados en una escala del 0 al 100, de tal forma que cada parámetro se representa con un valor de Q dependiendo de su valor real analizado, el cual se multiplica un factor de ponderación específico del ICA-NSF, este parámetro de ponderación varía de 0 a 1. El resultado es la suma de todos los 9 índices de calidad, clasificando el agua en 5 clases:

Tabla 3 Representación de Resultados del ICA-NSF

<u>Calidad de Agua</u>	<u>Valor de ICA-NSF</u>
Excelente	91-100
Buena	71-90
Media	51-70
Mala	26-50
Muy Mala	0-25

Para que los cálculos de este ICA-NSF sean más aproximados a la realidad, se necesitan tener los 9 parámetros. Sin embargo se puede calcular desde 6 parámetros en adelante.



2. CAPÍTULO II: Materiales y Metodología

2.1. Metodología de trabajo

Para poder realizar los análisis de la calidad de agua de la Junta de riego, fue importante conocer las problemáticas del canal de riego. Para lo cual se hizo el recorrido de los 12 kilómetros del canal principal, con la finalidad de conocer sus características, tanto de construcción, mantenimiento, como las problemáticas sociales de la zona.

Una vez recorrido el canal, fue importante realizar un catastro del mismo es por ello que se procedió a realizar un mapeo.

2.1.1. Mapeo y descripción del canal

Mediante la aplicación “Geo Tracker”, se realizó el recorrido de todo el canal principal desde la captación (ubicada luego de la central Hidroeléctrica Saymirín) pasando por todas las zonas de Checa, Sicay hasta llegar a Ricaurte, donde culminan los 12 kilómetros aproximadamente.

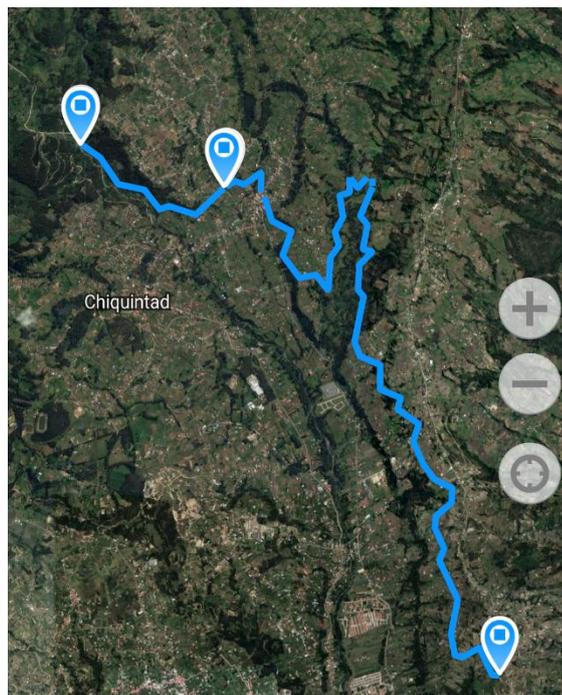


Ilustración 4 Mapeo del canal principal con la aplicación Geo Tracker

Una vez concluido con el mapeo del canal principal mediante esta aplicación, el mapa fue mejorado con el uso de Google Earth, donde se tiene una mayor cantidad de datos de altitud sujeta al suelo, latitud, coordenadas, longitud exacta, porcentaje de inclinación, perfil de elevación, etc., es decir, un mapa mejorado para el manejo de la Junta.

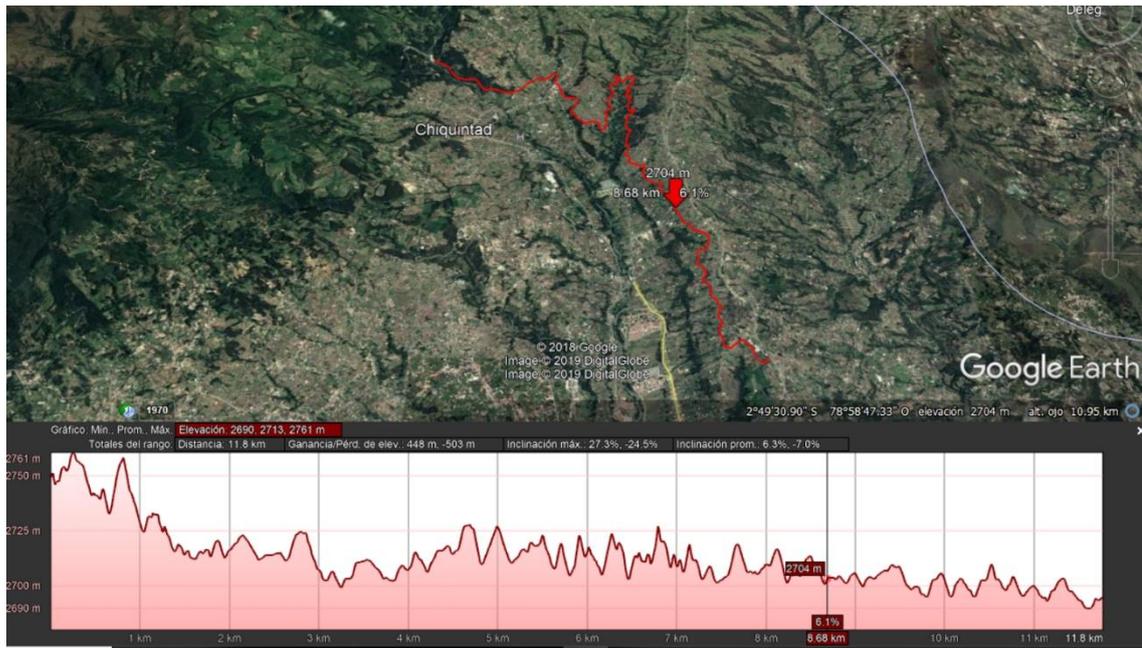


Ilustración 5 Mapa del Sistema de riego en Google Earth

El recorrido duró aproximadamente 3 días, donde se contó con la ayuda del técnico del sistema de riego, el cual está al tanto de todos los problemas en cada kilómetro, los cuales fueron documentados mediante fotos y apuntes. Toda esta información descriptiva del canal se puede observar en el ANEXO 2.

Una vez conocido el canal de riego a detalle y las zonas aledañas, se procedió al cálculo de número de muestras a monitorear.

2.1.2. Cálculo del número de muestras

El tamaño de la muestra se determina mediante la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{N \times \sigma^2 \times Z^2}{E^2(N - 1) + Z^2 \times \sigma^2}$$

Donde

- N es el número de la población
- σ es la varianza o desviación estándar (0,5)
- Z es el nivel de confianza deseado 95% (1,96)
- E es el límite aceptable de error muestreable 0,8% (0,075)

El cálculo se consideró con una fracción del número total de usuarios aportantes a la Junta de Riego, dato que fue dado por la administración. Se consideran 850 usuarios que forman parte de la totalidad del sistema de Riego, sin embargo no toda esta población forma parte



del canal principal analizado. La población que se beneficia del canal principal son 92 usuarios aproximadamente (11% de la población total), lo cual nos da un número de 60 muestras a tomar. A más de esto se toma en cuenta que el período de muestreo se realiza en época de invierno.

El muestreo que se realiza es sistemático (intervalos constantes en espacio y tiempo), mediante la toma de una muestra simple debido a que se analiza un agua de canal de riego donde la profundidad no presenta una notable variación, así como la velocidad de corriente a lo largo de los 12 kilómetros.

2.1.3. Período de toma de muestras

Las 60 muestras fueron tomadas en un período de 12 semanas, de tal forma que se recolectaron 5 muestras los días lunes de cada semana, dando un tiempo de 4 días hábiles para el análisis de todos los parámetros en el laboratorio.

2.1.4. Consideración para la toma de muestras

Se consideró la toma de 5 puntos de muestreo a lo largo de los 12 kilómetros, estos diferenciados según el criterio del uso del suelo (zonificación) y puntos específicos de posible contaminación como son: casas con tuberías en que desembocan en el canal, zonas con mayor incidencia agrícola, zonas con alta densidad poblacional, etc.

Tabla 4 Descripción de Puntos de Muestreo.

<u>Numero de muestra</u>	<u>Punto de muestreo</u>
Muestra 1	Zona 1: Captación Rango de muestreo: 0 a 0,5 km
Muestra 2	Zona 2: Parroquia de Checa Rango de muestreo: 2 a 3 km
Muestra 3	Zona 3: Sector Paluncay, bosque Rango de muestreo: 4,5 a 6,5 km
Muestra 4	Zona 4: Sector Gran Poder y Sector San Antonio



Rango de muestreo: 8,4 a 10,4 km

Muestra 5

Zona 5: Sector La Dolorosa de Ricaurte

Rango de muestreo: 11 a 11,8 km

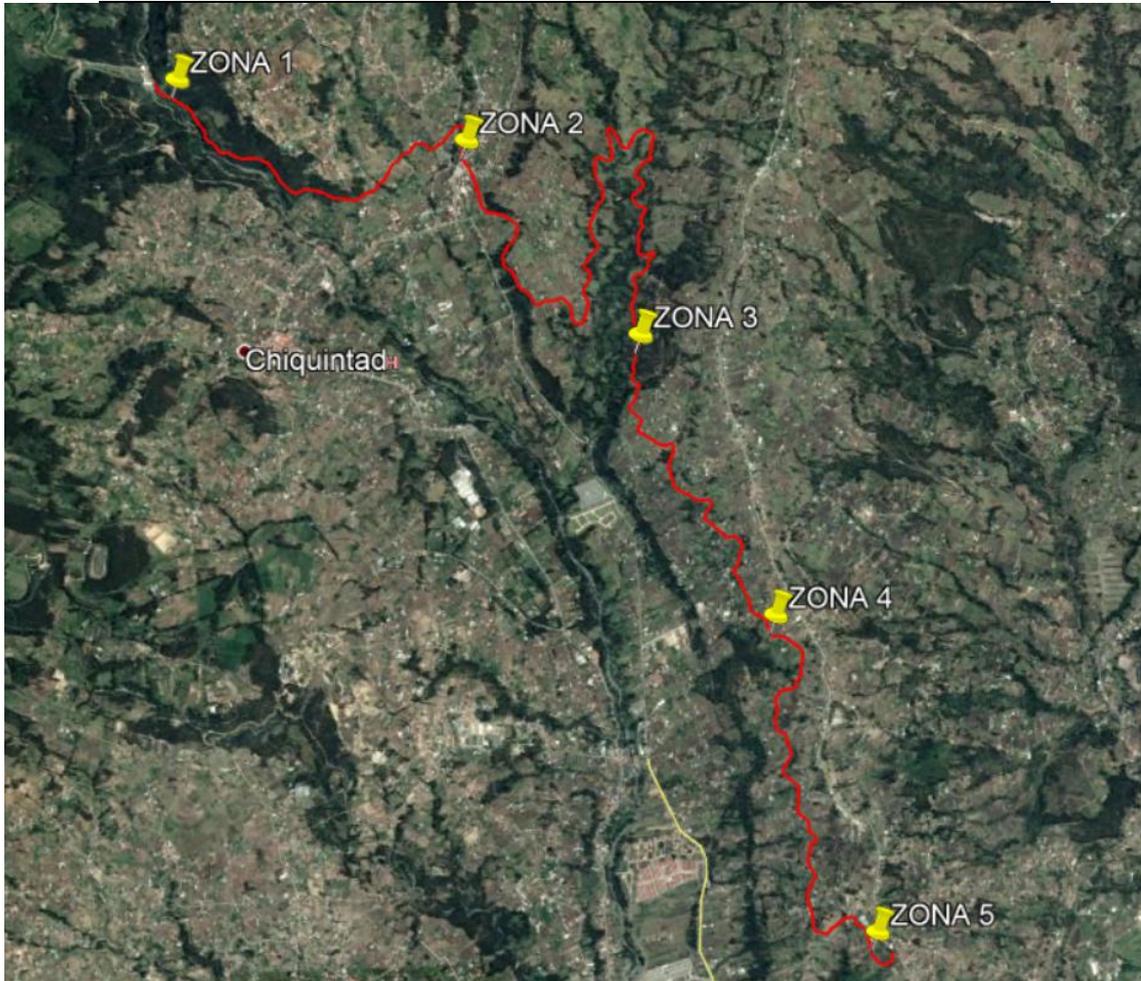


Ilustración 6 Zonificación de puntos de muestreo

Como se observa en la tabla 4, existe un rango en kilómetros de las zonas donde se realizó la toma de la muestra, esto debido a que el objetivo de la investigación trata no solamente de dar valores de calidad del agua, sino también indicar las zonas de mayor contaminación. Cabe recalcar que existen kilómetros no muestreados, esto se debe a que no se presencié alguna incidencia de contaminación que afecte al canal en dichas zonas.

En el anexo 2 se encuentra a detalle la información descriptiva y fotográfica de cada kilómetro del canal de riego, donde se puede observar cómo varía el uso de suelo, las problemáticas existentes en puntos específicos, el estado físico del agua de riego, etc.

2.1.5. Toma y manejo de la muestra



La toma de muestras se basó en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013.

2.1.5.1. Procedimiento de toma de muestras

Los envases utilizados para la toma de muestras dependen del tipo de análisis a realizar en el laboratorio. Para los análisis físicos y químicos, se utilizaron recipientes de 500mL de PET, los mismos que antes de llevar al muestreo deben ser lavados y esterilizados correctamente para evitar una posible contaminación. Así mismo para los análisis microbiológicos se usaron frascos de HDPE de 200mL, de igual forma correctamente lavados y esterilizados.

Antes de transportar los materiales de muestreo, se etiqueta cada frasco, como se observa en la tabla 4.

Tabla 5 Etiqueta del Recipiente para la Recolección de la Muestra.

NUMERO DE MUESTRA	
LUGAR	
FECHA	
HORA	
RESPONSABLE	

Para el trabajo de campo se lleva en un cooler los frascos, conjuntamente con un equipo HACH para medir los valores de temperatura, conductividad y sólidos totales disueltos in situ.

Una vez en el punto de muestreo identificado, se siguen los siguientes pasos:

- a) Antes de empezar a la toma de muestras, se considera el uso de guantes de acrilonitrilo para evitar el contacto con el agua del canal de riego, así como también el uso de un mandil totalmente limpio.
- b) Llenar los datos de etiqueta del recipiente.
- c) Ubicar las coordenadas en la aplicación Geo Tracker del punto de muestreo y anotar los datos e información relevante de la zona.
- d) Homogenizar el recipiente con el agua del punto con mínimo 3 lavados.



- e) Sumergir el envase en el canal de riego hasta conseguir llenarlo por completo evitando las cámaras de aire y taparlo.
- f) Llevar la muestra al cooler para mantener su temperatura hasta la llegada al laboratorio.

2.2. Materiales, equipos y reactivos

2.2.1. Materiales para muestreo

Tabla 6 Materiales para la Toma de Muestras.

<u>MATERIAL</u>	<u>CANTIDAD</u>
Cooler	1
Recipientes de PET 500mL	5
Recipientes de HDPE 200mL	5
Guantes de acrilonitrilo	2
Libreta para adquisición de datos	1
Esfero	1

2.2.2. Equipos de análisis de campo

Tabla 7 Equipo para Análisis de Campo

<u>EQUIPO</u>	<u>CANTIDAD</u>
Conductímetro marca HACH SENSION 5	1
Sonda para conductímetro (temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos)	1

2.2.3. Material de laboratorio

Tabla 8 Materiales de Análisis en Laboratorio.

<u>MATERIAL</u>	<u>CANTIDAD</u>
Papel filtro	5
Vasos de precipitación 250mL	6



Rotulador	1
Vaso de precipitación 600mL	4
Pisetas	2
Gradillas	5
Tubos cónicos FALCON 10mL con tapa	30
Pipetas volumétricas 10mL (parámetros químicos)	15
Peras de succión	5
Tijeras	1
Espátula	1
Cubetas de muestra rectangulares de poliestireno 1,5mL, con camino óptico de 10mm	35
Vasos de precipitación 100mL	10
Buretas	2
Barras de agitación magnética	5
Celdas de vidrio 10mL para turbidímetro	5
Tubos de Nessler para colorímetro	2
Tubos de vidrio con tapa roscada (microbiológico)	90
Pipetas volumétricas 10mL (microbiológico)	10
Pipetas volumétricas 1mL (microbiológico)	10
Frasco de vidrio para residuos	1
Soporte Universal	1
Mariposa para soporte universal	1

2.2.4. Equipos de laboratorio

Tabla 9 Equipos de Análisis en Laboratorio



<u>EQUIPO</u>	<u>CANTIDAD</u>
Bomba de vacío con implementos	1
pH-metro WATERPROOF PH-035	1
Espectrofotómetro DR 2800	1
Agitador magnético ROTAMAG CRV 12	1
Turbidímetro HACH 2100N	1
Colorímetro OBERCO-HELLIGE 611-A Aquea Tester	1
Estufa	1
Esterilizador autoclave	1

2.2.5. Reactivos de laboratorio

Tabla 10 Reactivos Usados en los Análisis de Laboratorio

<u>REACTIVOS</u>	<u>CANTIDAD</u>
Agua destilada	-
NitraVer 5 HACH	5 sobres
NitriVer 3 HACH	5 sobres
SulfaVer 4 HACH	5 sobres
FerroVer Iron Reagent HACH	5 sobres
PhosVer 3 HACH	5 sobres
CuVer 1 HACH	5 sobres
Naranja de metilo (indicador)	2 gotas por muestra
Ácido Clorhídrico 0,01N	-
Hidróxido de amonio	1mL por muestra
Negro de eriocromo (indicador)	0,1g por muestra



EDTA 0,01N	-
Medio de caldo de Lauril Triptosa	-
Medio de caldo Verde Brillante	-
Reactivo de Ehrlich	2 gotas por tubo de vidrio

2.3.Métodos y técnicas de análisis físicos, químicos y microbiológicos

2.3.1. Parámetros físicos

2.3.1.1.Temperatura

La temperatura es un parámetro que se mide in situ, dando un valor en grados Celsius, siguiendo el siguiente diagrama de flujo:

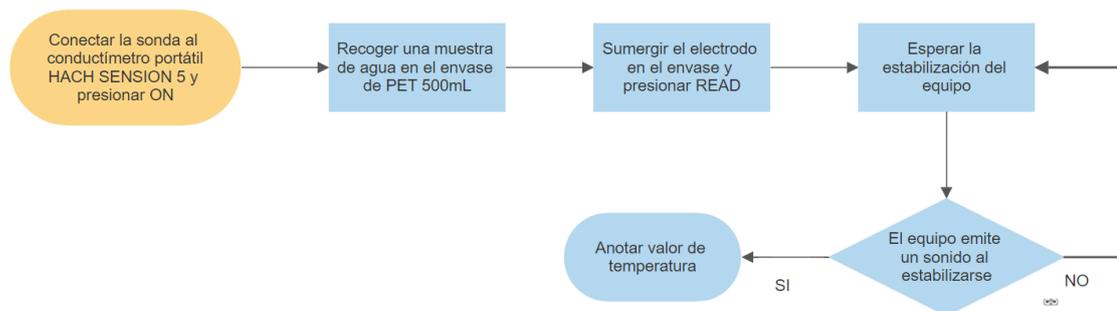


Ilustración 7 Diagrama de flujo para medir Temperatura In Situ

2.3.1.2.Conductividad

La conductividad, se mide in situ con el equipo portátil cuya sonda reforzada de conductividad es de grafito, la cual presenta 4 polos de la serie CDC401. La sonda presenta una longitud de 1 metro, dándonos un valor de conductividad en microSiemens/centímetro. El equipo viene calibrado de fábrica, sin embargo el medidor se calibra automáticamente a una temperatura de 20 o 25° , mediante el coeficiente de temperatura no lineal que ya se encuentra predeterminado en el equipo, basado en el NaCl (HACH, 2010).

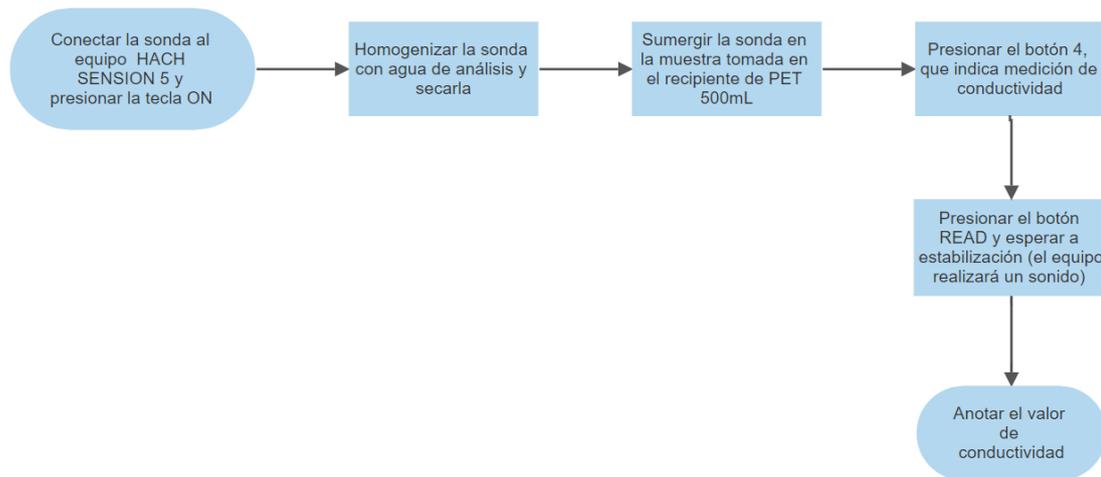


Ilustración 8 Diagrama de flujo para medir la conductividad en una muestra

2.3.1.3.Sólidos Totales Disueltos

Para la medición de este parámetro se toma en consideración el mismo equipo usado para la medición de conductividad, por lo tanto, la calibración se fundamenta en el coeficiente de temperatura no lineal basado en el NaCl. El equipo nos da el valor de STD en miligramos/litro.

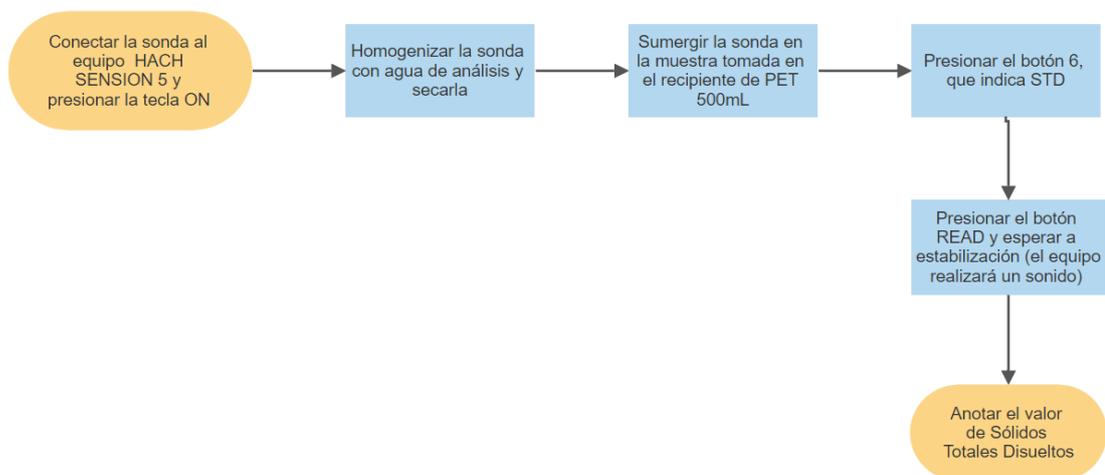


Ilustración 9 Diagrama de flujo para medir los STD en una muestra.

2.3.1.4.Turbidez

Fundamento: Su principio de funcionamiento se basa en detectar partículas mediante el uso de una fuente de haz de luz y un detector de la misma, el cual se fija a 90 grados del haz emergente. El detector capta la dispersión de luz luego de que esta haya incidido en la muestra, al mismo tiempo existen detectores ubicados en serie que se encargan de

localizar la luz dispersada y la transmitida. Las señales recibidas por los detectores son procesadas y relacionadas matemáticamente dando un resultado equivalente a la turbidez.

Cabe recalcar que antes de usar el equipo, se puede comprobar la calidad del resultado mediante la lectura de la turbidez de un patrón. En caso de que no se cumpla la lectura con la turbidez de la solución estándar, el equipo se debe calibrar.

Las unidades de medida se representan con las siglas NTU.

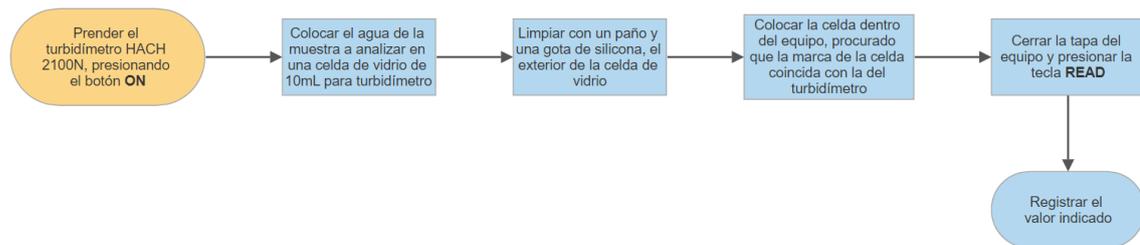


Ilustración 10 Diagrama de flujo para medir la turbiedad de una muestra

2.3.1.5. Color

Fundamento: El equipo usado es un colorímetro, el cual se basa en la comparación de los colores entre la luz que incide en agua destilada reflejada en una placa giratoria con patrones de cloroplatino a concentraciones diferentes y el agua de la muestra, siendo el visualizador el que define las unidades de color. Los resultados se registran en unidades de color Pt-Co.

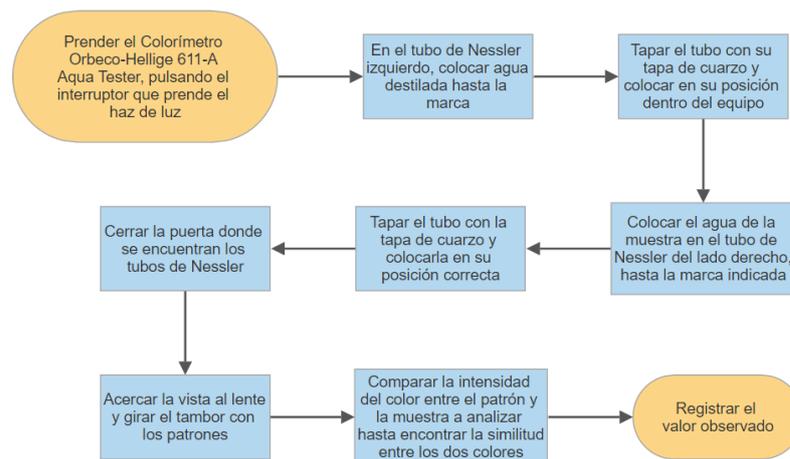


Ilustración 11 Diagrama de flujo para determinar el color de una muestra de agua

2.3.2. Parámetros químicos

Antes de empezar con los análisis de estos parámetros, se verifica que los resultados obtenidos sean correctos. Este procedimiento se lo realiza mediante la medición de



patrones con los diferentes equipos para cada parámetro. En la siguiente tabla se mencionan los estándares preparados para los análisis de los parámetros químicos a analizar en el Espectrofotómetro DR 2800, de forma que se comprueba que los procedimientos dados por el fabricante para el análisis están correctos.

Tabla 11 Soluciones Estándar Preparadas a una Concentración de 5mg/L para Verificar Mediciones del Equipo.

<u>PARAMETROS</u>	<u>SOLUCIONES ESTÁNDAR PREPARADAS (5mg/L)</u>
Nitratos	Nitrato de Sodio Para Análisis (PA)
Nitritos	Nitrito de Sodio Para Análisis (PA)
Hierro	Oxido Ferroso Para Análisis (PA)
Sulfatos	Sulfato de sodio Para Análisis (PA)
Cobre	Sulfato de Cobre Para Análisis (PA)

De igual forma para el resto de parámetros, dado es el caso del pH-metro WATERPROOF PH y Turbidímetro HACH 2100N, que presentan soluciones patrones dadas por el fabricante para que antes de proceder a la medición se verifique si las mediciones son correctas caso contrario, los equipos se calibran con los mismos patrones.

2.3.2.1.pH

El principio de funcionamiento de un pH-metro, se basa en medir el potencial que va desarrollándose a través de una membrana fina de vidrio (separa dos soluciones que presentan concentraciones de protones diferentes) y un electrodo de referencia, en este caso específico; solución de ácido clorhídrico 0,1M saturada con AgCl (cloruro de plata).

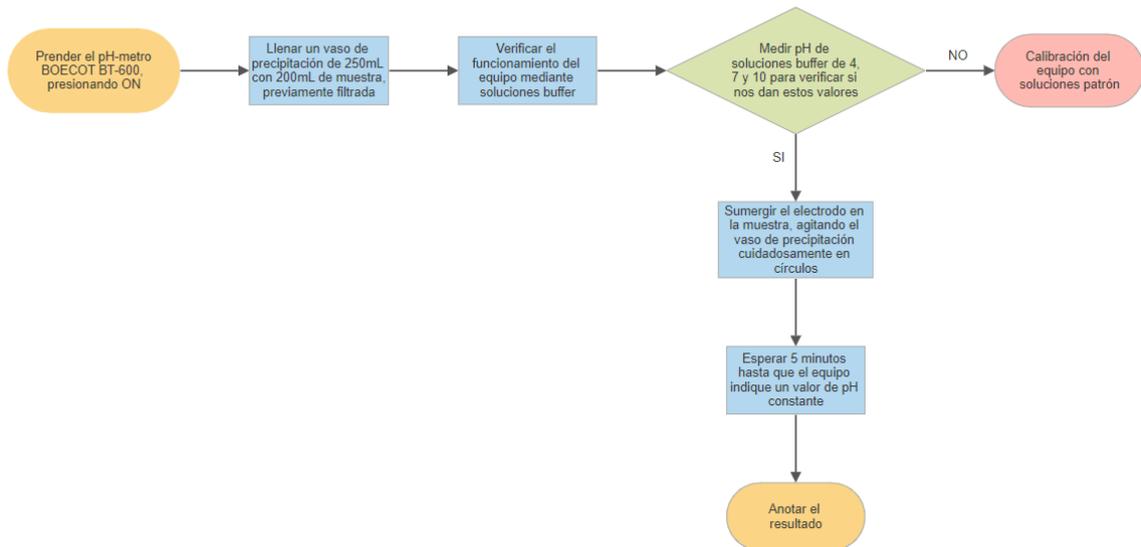


Ilustración 12 Diagrama de flujo para medición de pH en la muestra.

Se recalca que estos parámetros siguen los procedimientos especificados por el fabricante, en este caso HACH, los cuales presentan todas sus técnicas validadas y basadas en los Métodos Normalizados (estándar) para el análisis de aguas.

2.3.2.2. Nitratos

Fundamento: Método de reducción de Cadmio (Método 8039). El nitrato presente en la muestra es reducido a nitrito por el cadmio metálico que se encuentra en el reactivo NitraVer. El ión nitrito en medio ácido reacciona con el ácido sulfanílico formando una sal de diazonio intermedia, la cual reacciona con el ácido gentísico dando como resultado una solución de color ambar, proporcional a la concentración de nitratos presentes en la muestra. Los resultados se miden a 500 nm de longitud de onda y los resultados se expresan en mgNO_3^-/L (HACH, 2000).

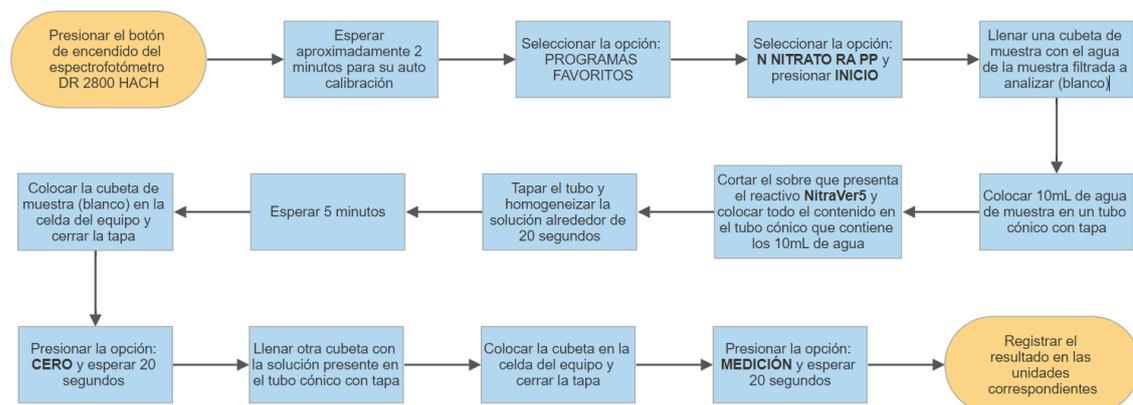


Ilustración 13 Diagrama de flujo para análisis de Nitratos en la muestra

2.3.2.3. Nitritos

Fundamento: Método diazotación (método 8507). Se usa el reactivo denominado NitrVer. El nitrito presente en la muestra hace reacción con el ácido sulfanílico formando sal de diazonio, esta solución formada reacciona con el ácido cromotrópico produciendo un complejo color rosa, proporcional a la concentración de nitrito presente en la muestra. Se determina la absorbancia a 507 nm de longitud de onda para establecer los resultados, los cuales se expresan en mgNO_2^-/L (HACH, 2000).

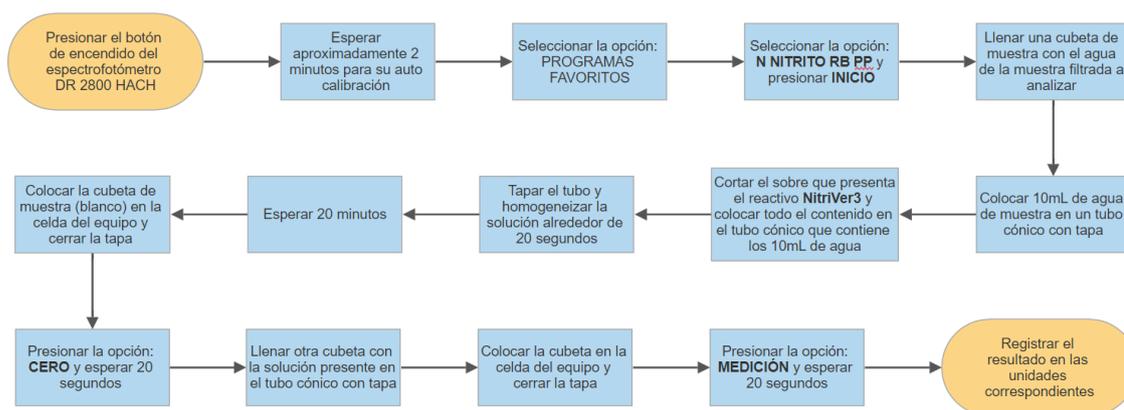


Ilustración 14 Diagrama de flujo para determinación de Nitritos en la muestra

2.3.2.4. Sulfatos

Fundamento: Metodo SulfaVer 4 (Metodo 8051) Se usa el reactivo SulfaVer. Los iones sulfatos presentes en la muestra, entran en reacción con el bario presente en el reactivo, formando el precipitado de sulfato de bario. Si existe presencia del ion sulfato, la solución formada se volverá turbia, siendo esta turbidez proporcional a la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Los resultados se miden a 450 nm de longitud de onda y se expresan en $\text{mgSO}_4^{2-}/\text{L}$ (HACH, 2000).

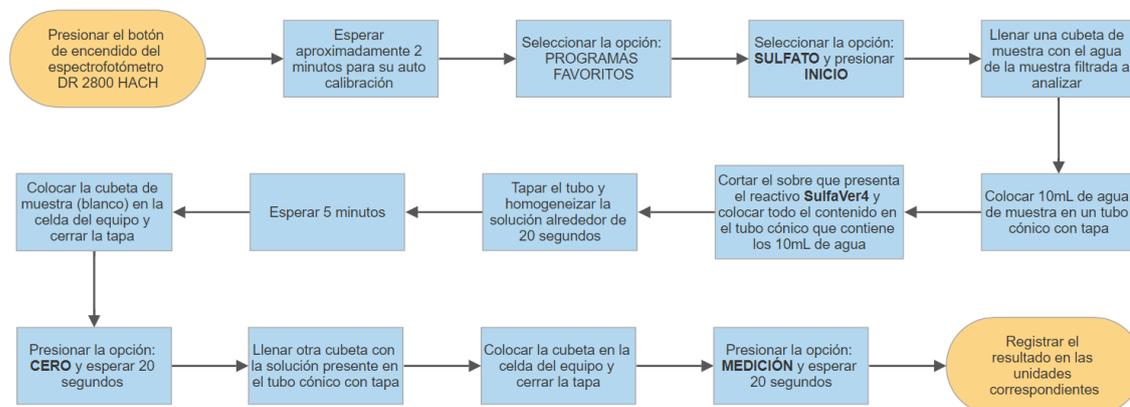


Ilustración 15 Diagrama de flujo para determinación de Sulfatos en la muestra

2.3.2.5.Hierro

Fundamento: Metodo FerroVer (Metodo 8008). Se usa el reactivo denominado FerroVer, sus componentes reaccionan con el hierro que se encuentra disuelto y también con la mayoría de formas insolubles del hierro en la muestra, produciendo hierro ferroso soluble, el cual reacciona con la fenantrolina 1,10 presente en el reactivo, dando como resultado un color naranja que es proporcional a la concentración de hierro. Se determina la absorbancia a 510 nm de longitud de onda con la ayuda del espectrofotómetro, para establecer los resultados, los mismos que se expresan en mgFe/L (HACH, 2000).

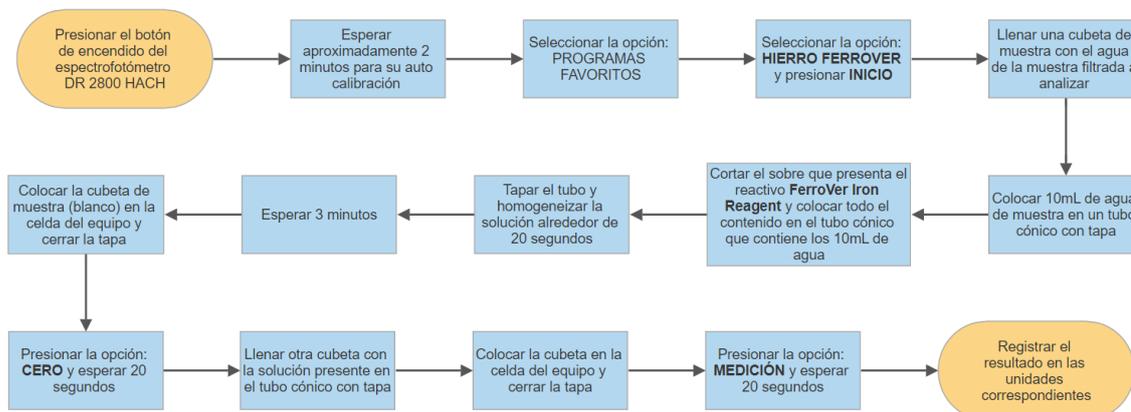


Ilustración 16 Diagrama de flujo para el análisis de Hierro en la muestra

2.3.2.6.Fosfatos

Fundamento: Método de ácido ascórbico (Método 8048). Se usa el reactivo PhosVer 3. El ion ortofosfato presente en la muestra (fósforo reactivo) reacciona con molibdato en un medio ácido, formando un complejo llamado fosfomolibdato. Posteriormente el ácido ascórbico presente en el reactivo reduce el complejo formado, dando como resultado un intenso color azul característico del molibdeno. Los resultados se miden a 880 nm de longitud de onda y se expresan en mgPO₄³⁻/L (HACH, 2000).

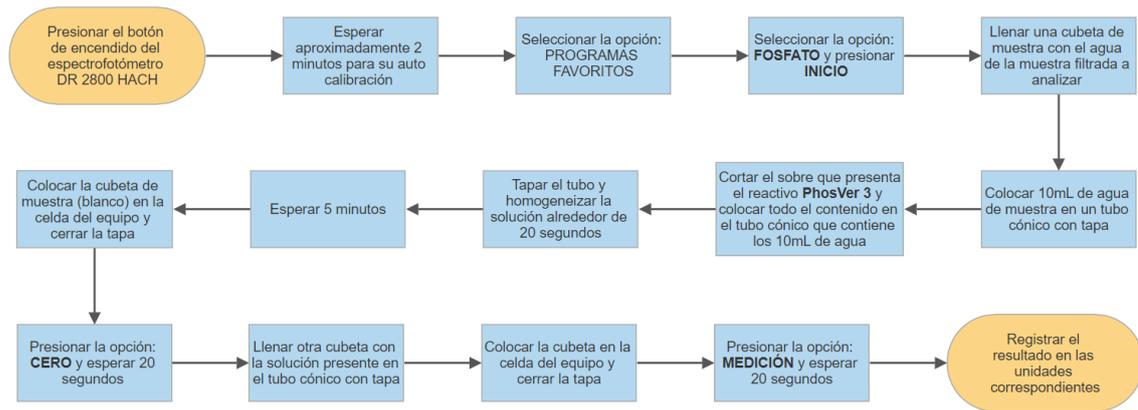


Ilustración 17 Diagrama de flujo para análisis de fosfatos en una muestra.

2.3.2.7.Cobre

Fundamento: Método Bicinchoninato (Método 8506 y 8026). Para este método se usa el reactivo CuVer. El cobre presente en la muestra reacciona con una sal de ácido bicinchoninico que se encuentra en el reactivo CuVer, al reaccionar se forma un color violeta que es proporcional a la concentración de cobre. Se determina la absorbancia a 560 nm de longitud de onda para establecer los resultados, los mismos que se expresan en mgCu/L (HACH, 2000).

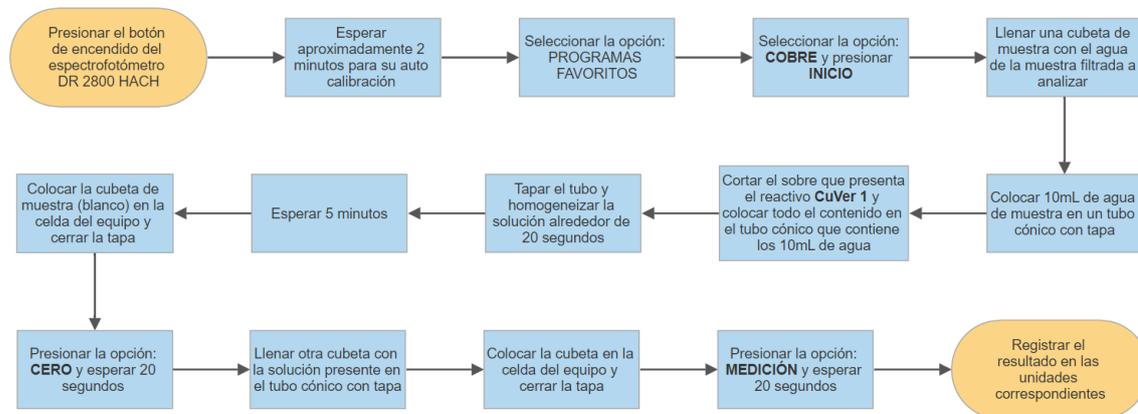


Ilustración 18 Diagrama de flujo para el análisis de Cobre en una muestra.

2.3.2.8.Alcalinidad

Fundamento: La alcalinidad de las aguas está representada por los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos disueltos, los mismos que se determinan por titulación con una solución estándar de un ácido fuerte (ácido clorhídrico 0,01N), la cual neutraliza estas sustancias disueltas. La técnica volumétrica se fundamenta en el cambio de pH al llegar al equilibrio entre los iones ácidos y básicos, el cual se detecta con un indicador en este caso; anaranjado de metilo el cual cambia de color de amarillento a naranja a un pH entre



3.3 y 4,5 (pH bajo). Se recalca que el punto de equivalencia depende directamente de la concentración total de la totalidad de las especies carbónicas en la solución, es decir, que el valor de alcalinidad será mayor mientras menor sea el pH del punto de equivalencia, esto puede observarse en la siguiente tabla:

Tabla 12 Valores de pH a Tomar en Cuenta en la Titulación para Determinación de Alcalinidad Total (Universidad Complutense Madrid, 2009)

<u>pH</u>	<u>Punto de equivalencia (viraje)</u>	<u>Tipo de alcalinidad</u>
10,7	$[\text{HCO}_3^-]=[\text{OH}^-]$	Alcalinidad Cáustica y acidez total.
8,4	$[\text{H}_2\text{CO}_3]=[\text{CO}_3^{2-}]$	Alcalinidad de carbonatos o de fenolftaleína (todo el CO_3^{2-} ha reaccionado y la mitad de HCO_3^- ha reaccionado igualmente) y acidez de CO_2 .
4,5	$[\text{H}^+]=[\text{HCO}_3^-]$	Acidez mineral y alcalinidad total.

Los resultados de este parámetro se registran en mgCaCO_3/L (equivalencia 50).

Fórmula para cálculo de la alcalinidad total:

$$\text{Alcalinidad Total} = \frac{V_{\text{gastado HCl}} \times N_{\text{HCl}} \times 1000 \times k \times 50}{V_{\text{muestra}}}$$

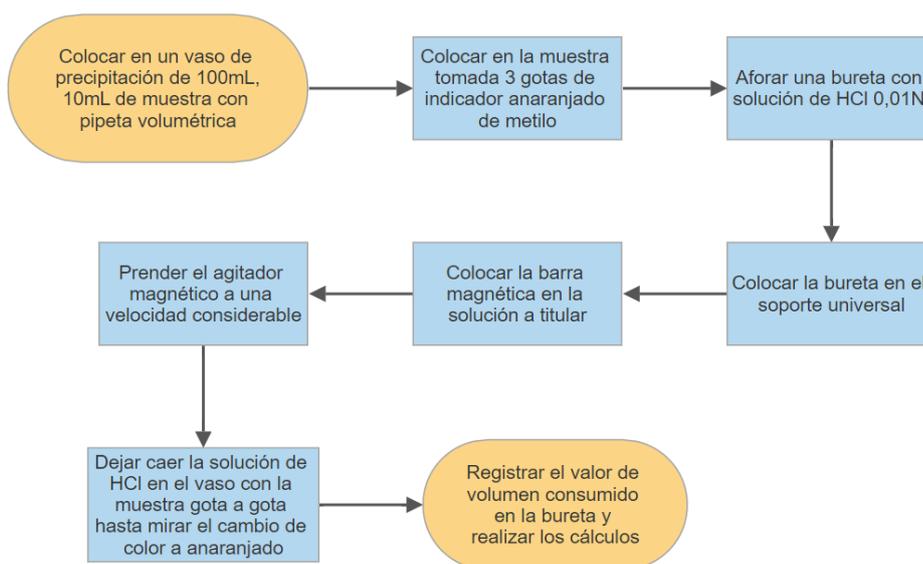


Ilustración 19 Diagrama de flujo para análisis de alcalinidad en una muestra



Considerando que la alcalinidad total depende netamente del ion bicarbonato en su mayoría, para establecer los criterios de límites permisibles según normativas, se tiene en cuenta la siguiente fórmula para la conversión:

$$\text{Alcalinidad} \left(\text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \left(\frac{\text{meqHCO}_3^-}{\text{L}} \right) \times \frac{50,05 \text{mg}}{\text{meq}}$$

Considerando 50,05mg/meq, para expresar la alcalinidad del agua en unidades de mgCaCO₃/L.

2.3.2.9.Dureza total

Fundamento: Esta técnica es una valoración complexométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), en medio básico (hidróxido de amonio pH=10), en presencia de indicadores, siendo el más usado el negro de eriocromo, el cual al ser añadido a la muestra se produce una reacción de formación de complejos de color rojo siendo el más estable el complejo de Mg. Al titular con EDTA, se destruye el complejo de Ca y al seguir añadiendo el reactivo valorante se destruye el complejo de Mg. Al quedar libre el indicador, el medio se torna azul que es el color característico de este indicador a su pH de equilibrio (Universidad Complutense Madrid, 2009).

Los resultados se expresan en mgCaCO₃/L (equivalencia 50).

Fórmula para cálculo de la alcalinidad total:

$$\text{Dureza Total} = \frac{V_{\text{gastado EDTA}} \times N_{\text{EDTA}} \times 1000 \times k \times 50}{V_{\text{muestra}}}$$

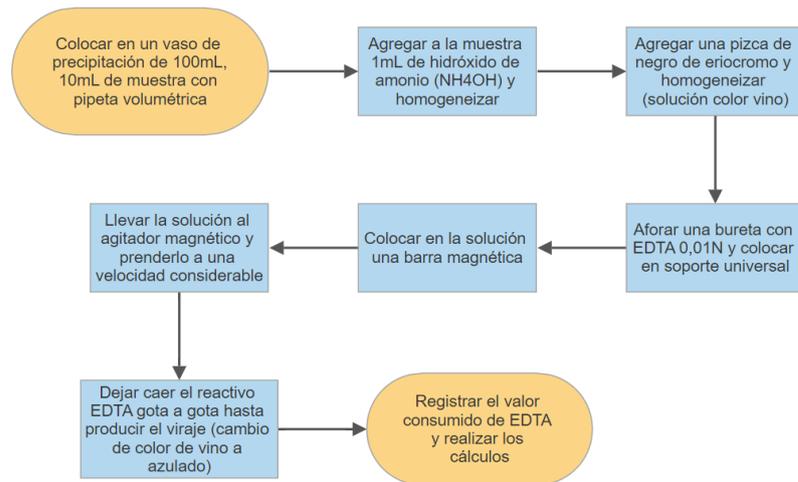


Ilustración 20 Diagrama de flujo para análisis de dureza total en una muestra de agua

Hay que tener en cuenta que para los cálculos de límites permisibles de dureza, se toma en cuenta los límites permisibles de los iones Calcio y Magnesio mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza} \left(\text{mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \left(\frac{\text{meqCa}}{\text{L}} + \frac{\text{meqMg}}{\text{L}} \right) \times \frac{50,05\text{mg}}{\text{meq}}$$

Se considera 50,05mg/meq, para expresar la dureza del agua en unidades de mgCaCO₃/L.

2.3.3. Parámetros microbiológicos

2.3.3.1. Coliformes totales

Fundamento: La determinación de los microorganismos correspondientes a coliformes totales se hace mediante su diagnóstico al encubarlos a una temperatura adecuada para que si existe la presencia de los mismos en el agua, estos puedan desarrollarse en el caldo de cultivo Lauril Triptosa o Lauril Sulfato, dando un resultado positivo si luego de 24 horas existe presencia de turbiedad, espuma o gas en la solución.

Los resultados se expresan mediante tablas que presentan códigos de tubos positivos, en este caso se ha tomado la técnica de 3 tubos, expresándose los resultados en Número más Probable por mililitro de solución (NMP/mL).

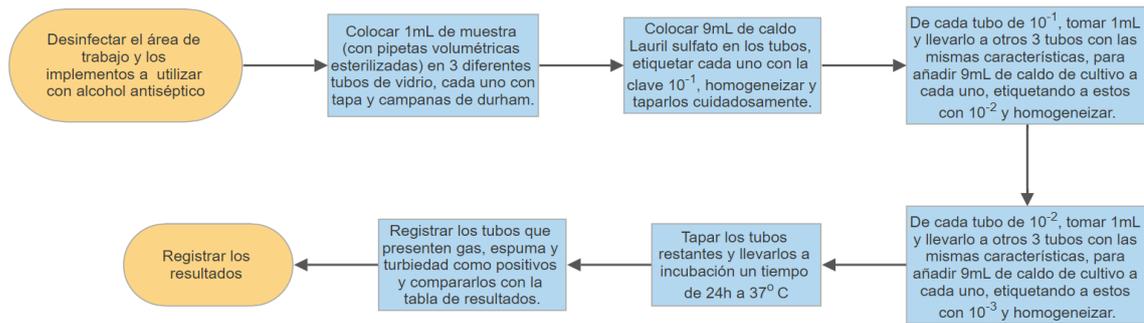


Ilustración 21 Diagrama de flujo para determinar el NMP/mL de coliformes totales en una muestra de agua

2.3.3.2. Coliformes fecales

Fundamento: Este método de análisis se basa en la confirmación de E. Coli en los tubos positivos del análisis de coliformes totales. Se puede realizar de dos formas; la primera añadiendo al tubo positivo dos gotas de Reactivo de Ehrlich (se ve la formación de un anillo rojizo en la superficie de la solución, indicando positivo a coliformes fecales) y la segunda mediante la incubación de los microorganismos en un medio de cultivo verde brillante Lactosa Bilis, por un período de 24 horas, siendo positivos los mismos si luego de este tiempo a condiciones predeterminadas de temperatura, existe la presencia de gas, espuma y turbiedad (cambio de color de verde a amarillo) en el tubo analizado.

Los tubos positivos indican presencia de E. Coli en el medio y los resultados se registran en NMP/mL.

La tabla de comparación de tubos positivos para determinar el NMP/mL se puede observar en el ANEXO 3.

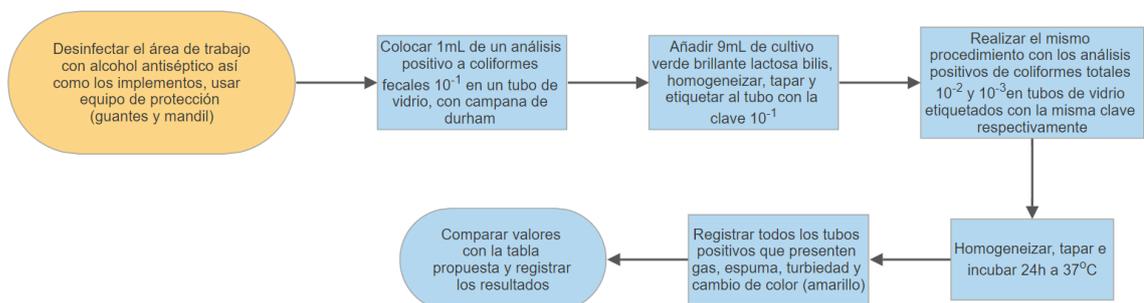


Ilustración 22 Diagrama de flujo para determinar el NMP/mL de coliformes fecales en una muestra de agua

2.4. Análisis estadístico

Se usa el análisis estadístico descriptivo de forma que se tabulan los datos de los parámetros a analizar en tablas y gráficas, estratificados por zonas de la 1 a la 5, de tal



forma que se logre ver los máximos y mínimos valores y su moda para conocer la zona de mayor contaminación según los parámetros analizados, en este caso los parámetros de relevancia son los metales pesados como el Cobre y Hierro, así como también las coliformes totales que no cumplen los límites permisibles de la normativa TULSMA y FAO en ciertas zonas.

Para los otros parámetros se realizó el cálculo de un índice de calidad que engloba determinados valores analizados estadísticamente, de forma que al aplicar estas fórmulas estudiadas nos dé como resultado la calidad de agua en la zona analizada.

2.5. ICA-NSF

Se eligió el cálculo del ICA-NSF, debido a que los datos obtenidos en el muestreo de las zonas de investigación a lo largo del sistema de riego, son los que más se ajustan al algoritmo matemático propuesto por este índice de calidad y al objetivo (calidad de agua de riego). Hay que considerar que para los cálculos del ICA-NSF son necesarios 9 parámetros, pero en el presente estudio solamente se tienen 7 parámetros. Sin embargo este índice de calidad se aplica a partir de 6 parámetros dando buenos resultados, por lo tanto se ha decidido usar este método de cálculo.

Existen dos formas de calcular este Índice de Calidad de Agua, esto se demuestra en las siguientes ecuaciones:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Q_i \times w_i)$$

ICA-NSF aritmético - **Fuente:** (Patiño et al., 2002)

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Q_i^{w_i})$$

ICA-NSF ponderado multiplicativo - **Fuente:** (Patiño et al., 2002)

Donde

- w_i son los pesos relativos de cada uno de los parámetros analizados. Estos valores están ponderados entre 0 y 1 debido a las investigaciones realizadas por los autores.



Tabla 13 Valores w_i para el Cálculo del ICA-NSF (Thukral, Renu, & Rupinder, 2005)

<u>FACTOR</u>	<u>w_i</u>
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,16
pH	0,11
DBO5	0,11
Variación de temperatura	0,10
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Turbiedad	0,08
Solidos totales disueltos	0,07

- Q_i son los valores de cada parámetro a analizar, estos valores han sido tabulados y se pueden encontrar en el ANEXO 5. Cabe recalcar que estos valores han sido calculados mediante interpolaciones.

Ciertos autores (Thukral et al., 2005) demostraron que el uso de la ecuación ICA_m (técnica multiplicativa) presenta una mayor sensibilidad que la ecuación aritmética, lo cual indica una mayor precisión en el cálculo del índice de calidad.

En base a esto se ha realizado el cálculo del ICA-NSF mediante ambas metodologías para comprobar la variación de la aplicación de estas fórmulas.

Tabla 14 Valores w_i Recalculados para el Cálculo del ICA-NSF

<u>FACTOR</u>	<u>w_i</u>
Coliformes fecales	0,2222
pH	0,1528
Variación de temperatura	0,1389
Fosfatos	0,1389
Nitratos	0,1389
Turbiedad	0,1111



Sólidos totales disueltos	0,0722
---------------------------	--------

3. CAPÍTULO III: RESULTADOS

Los resultados de los análisis realizados en las muestras de la Junta de Riego de Checa-Sidcay-Ricaurte, fueron comparados con normativas nacionales (TULSMA) e internacionales (FAO e investigaciones), las cuales han servido como referencia para el análisis de la calidad del agua en esta región.

3.1. Clasificación de resultados

Las tablas que contienen todos los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados en el laboratorio se encuentran en el **ANEXO 6**. Estos resultados fueron utilizados para el cálculo de las dos metodologías planteadas por el ICA-NSF:

1. ICA-NSF aritmético
2. ICA-NSF ponderado multiplicativo

Las tablas de resultados del ICA-NSF método aritmético se encuentran en el **ANEXO 8**.

En las siguientes tablas se muestran los resultados del ICA-NSF ponderado multiplicativo debido a que esta metodología nos ofrece resultados más precisos según (Patiño et al., 2002).

- 3.1.1. Tablas y gráficas que contienen los resultados del ICA-NSF aplicando el método ponderado multiplicativo, clasificados por número de muestreo.

- **MUESTREO 1**

Tabla 15 Índice de Calidad NSF Muestreo 1

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,28	1,80	2,13	1,80	1,80
1,96	1,93	1,91	1,91	1,92
1,79	1,82	1,84	1,85	1,86



1,89	1,89	1,84	1,90	1,83
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,63	1,64	1,64	1,64	1,64
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
71,48	56,95	65,86	57,41	56,08

BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

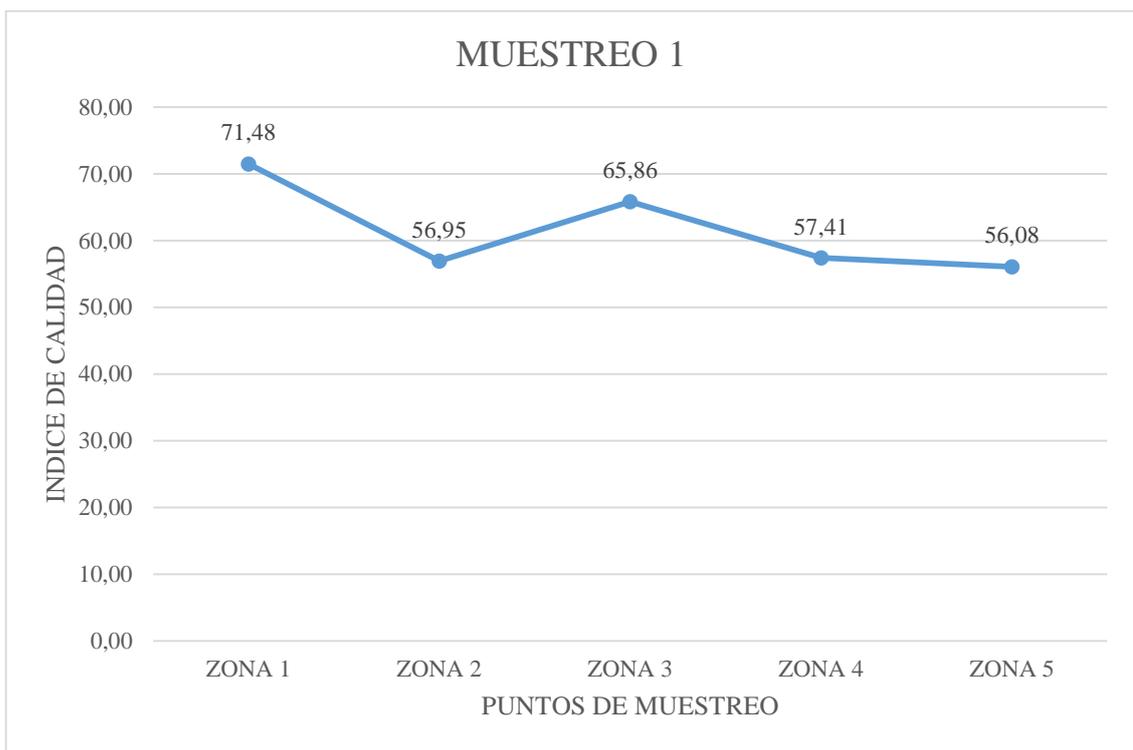


Ilustración 23 Variación del Índice de Calidad, muestreo 1

• **MUESTREO 2**

Tabla 16 Índice de Calidad NSF Muestreo 2

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w				
2,47	2,45	1,76	2,06	1,76
1,97	1,96	1,95	1,95	1,96
1,85	1,86	1,86	1,86	1,86
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89



1,63	1,63	1,62	1,62	1,61
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
81,03	79,75	56,74	66,71	57,00

BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

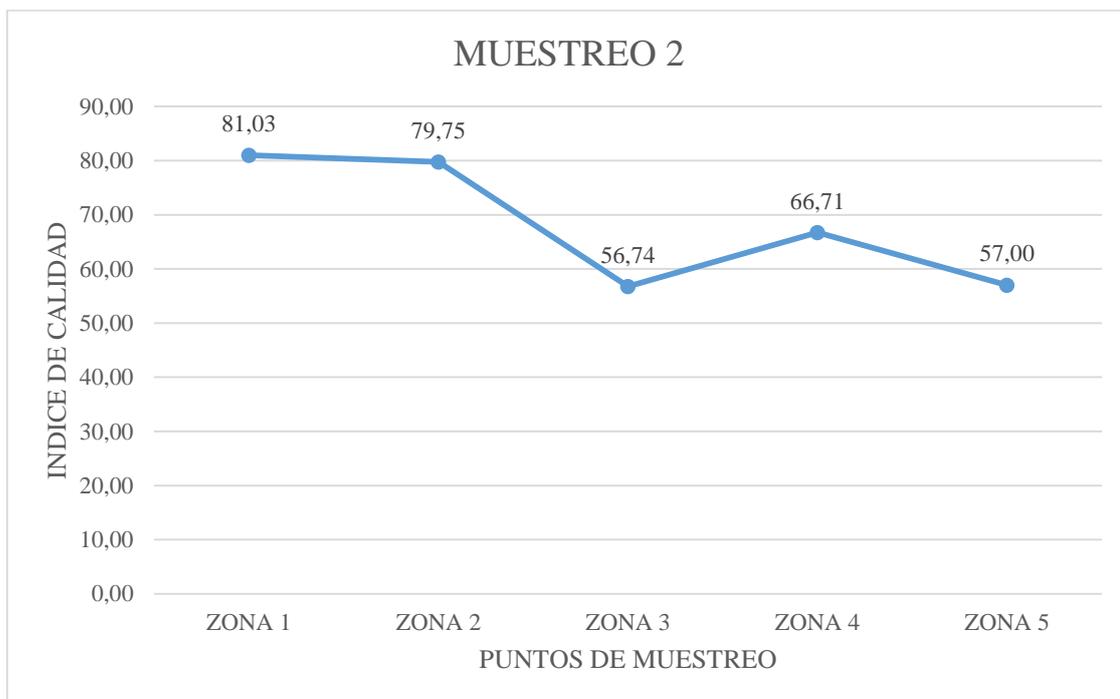


Ilustración 24 Variación del Índice de Calidad, muestreo 2

• **MUESTREO 3**

Tabla 17 Índice de Calidad NSF, muestreo 3

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w				
2,41	2,36	2,35	2,25	2,25
2,00	1,99	1,99	1,98	1,99
1,84	1,85	1,85	1,85	1,85
1,89	1,89	1,88	1,89	1,90
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,65	1,64	1,64	1,64	1,64
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
79,74	78,41	77,35	74,42	74,75



BUENA BUENA BUENA BUENA BUENA

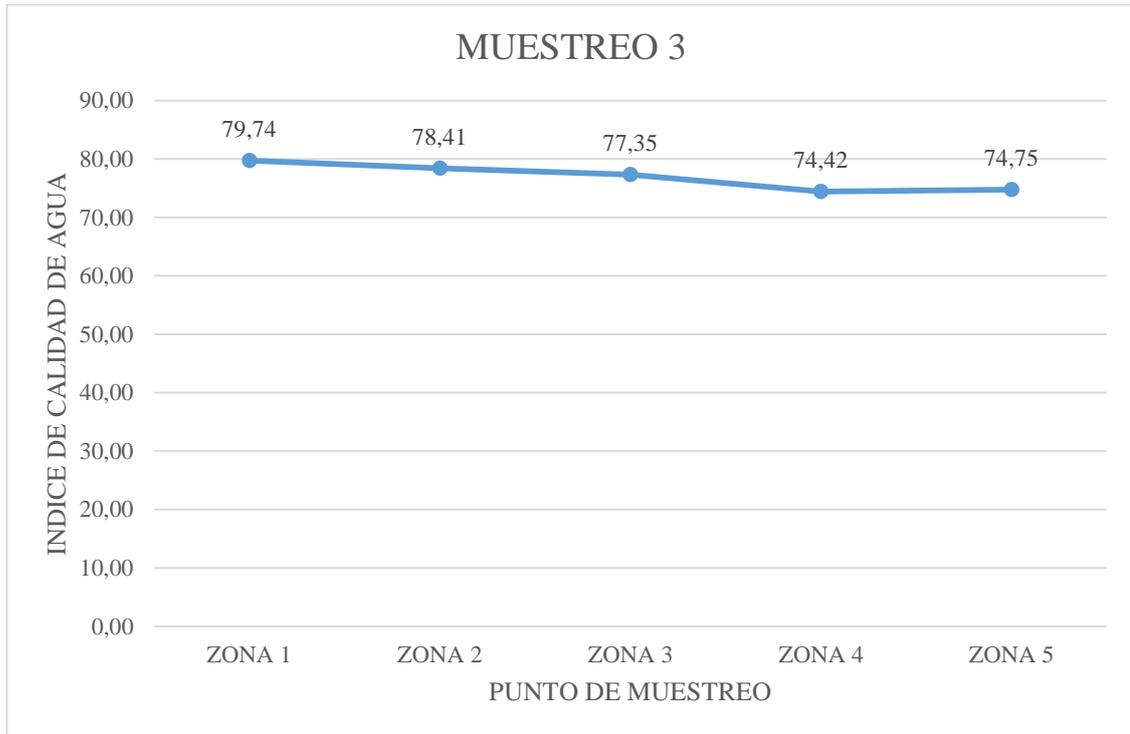


Ilustración 25 Variación del Índice de Calidad, muestreo 3

• **MUESTREO 4**

Tabla 18 Índice de Calidad NSF, muestreo 4

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w				
2,45	2,36	2,37	2,06	2,35
2,00	1,99	1,99	1,98	1,99
1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,62	1,62	1,64	1,64	1,64
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
80,31	77,25	78,75	68,12	77,89
BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA

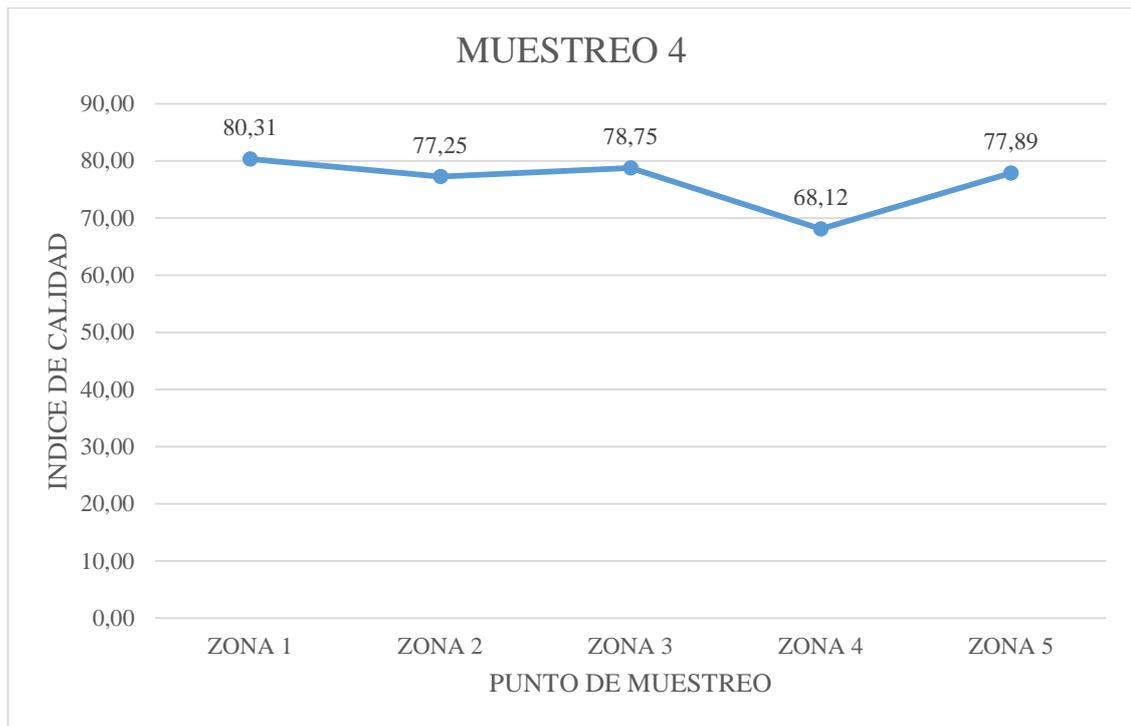


Ilustración 26 Variación del Índice de Calidad, muestreo 4

- **MUESTREO 5**

Tabla 19 Índice de Calidad NSF, muestreo 5

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w				
2,47	2,45	2,47	2,19	1,76
1,99	1,99	1,98	1,98	1,97
1,82	1,84	1,85	1,84	1,86
1,89	1,89	1,90	1,90	1,90
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,63	1,63	1,63	1,63	1,62
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
80,64	80,39	81,35	71,80	57,57
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA

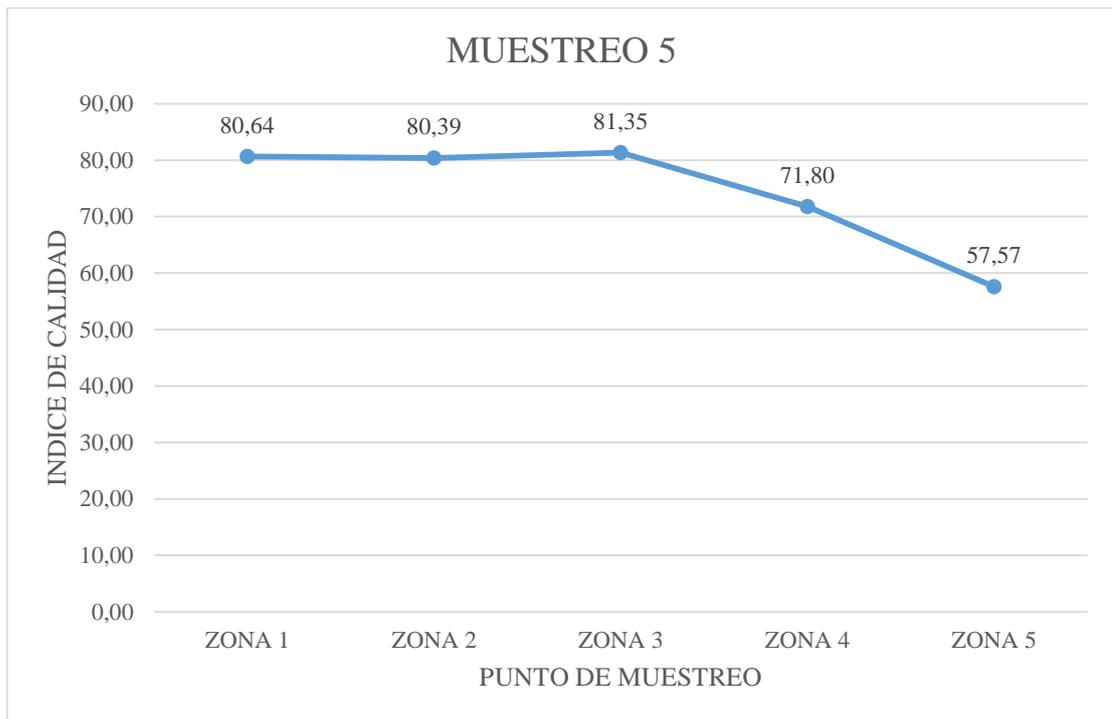


Ilustración 27 Variación del Índice de Calidad, muestreo 5

• **MUESTREO 6**

Tabla 20 Índice de Calidad NSF, muestreo 6

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w
2,78	2,50	1,76	1,76	1,76
2,00	2,00	1,99	1,99	1,99
1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
1,89	1,89	1,88	1,90	1,90
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,64	1,64	1,64	1,64	1,63
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
90,84	82,02	57,08	57,43	57,42
EXCELENTE	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

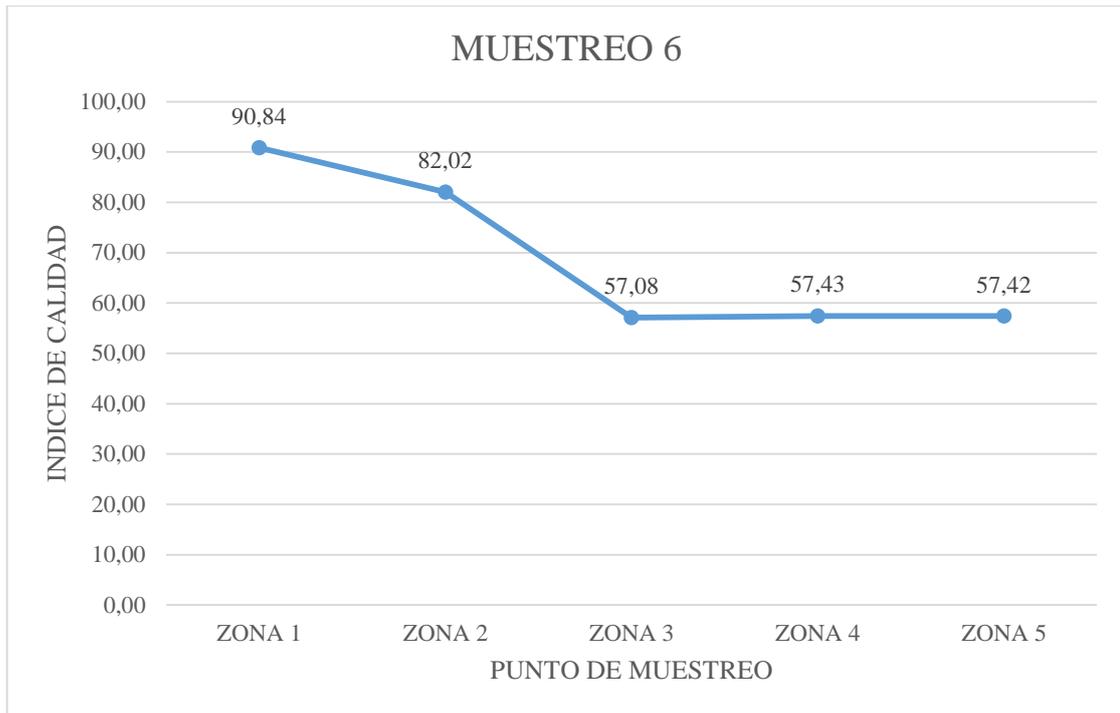


Ilustración 28 Variación del Índice de Calidad, muestreo 6

- **MUESTREO 7**

Tabla 21 Índice de Calidad NSF, muestreo 7

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,50	2,11	1,76	2,47	1,76
2,00	2,00	1,99	1,99	1,99
1,78	1,80	1,80	1,78	1,81
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,89	1,89	1,88	1,87	1,88
1,62	1,62	1,57	1,57	1,56
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
79,57	67,54	54,33	75,47	54,40
BUENA	MEDIA	MEDIA	BUENA	MEDIA

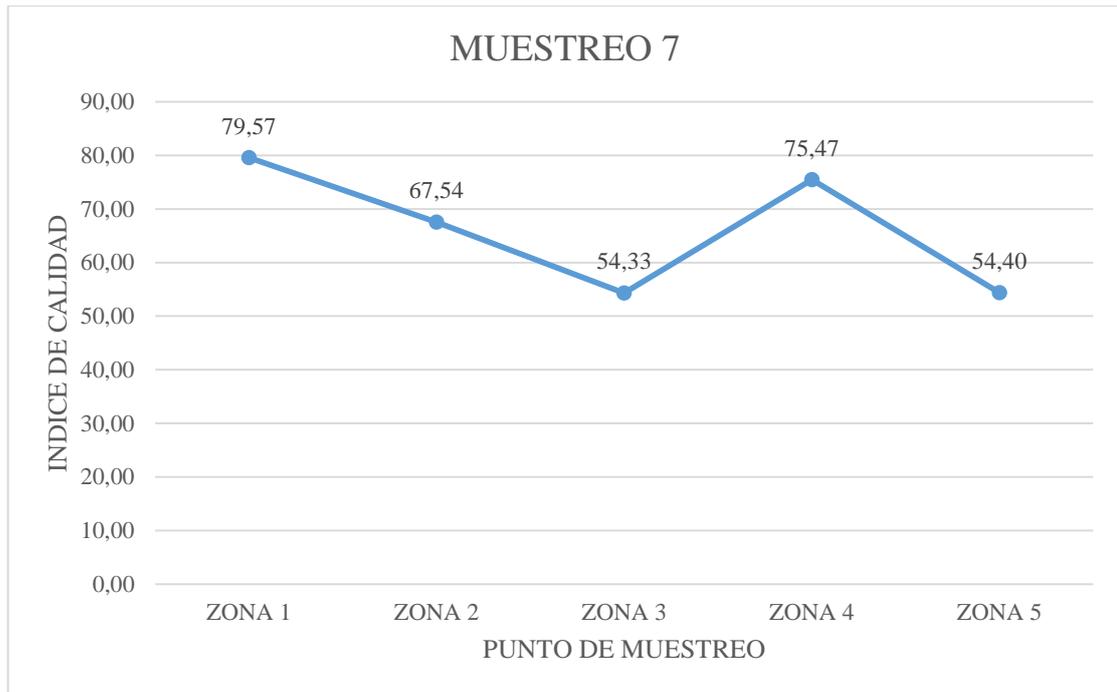


Ilustración 29 Variación del Índice de Calidad, muestreo 7

- **MUESTREO 8**

Tabla 22 Índice de Calidad NSF, muestreo 8

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w
2,47	2,78	2,06	2,19	1,76
2,00	1,98	1,98	1,97	1,98
1,80	1,81	1,81	1,81	1,82
1,89	1,89	1,89	1,89	1,88
1,89	1,89	1,89	1,89	1,87
1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
80,61	90,43	66,85	71,20	56,68
BUENA	EXCELENTE	MEDIA	BUENA	MEDIA

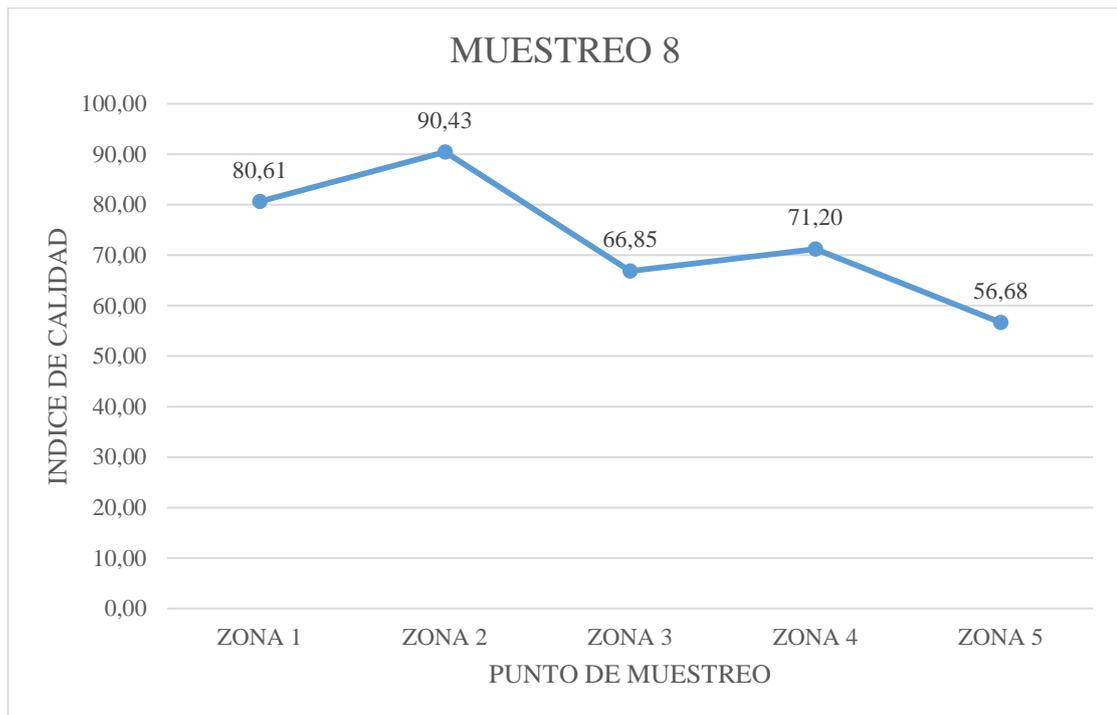


Ilustración 30 Variación del Índice de Calidad, muestreo 8

- **MUESTREO 9**

Tabla 23 Índice de Calidad NSF, muestreo 9

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w
2,78	2,45	2,06	1,76	1,76
1,99	1,97	1,87	1,96	1,98
1,81	1,83	1,83	1,83	1,83
1,89	1,89	1,89	1,90	1,90
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
90,73	80,12	64,17	57,54	57,99
EXCELENTE	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

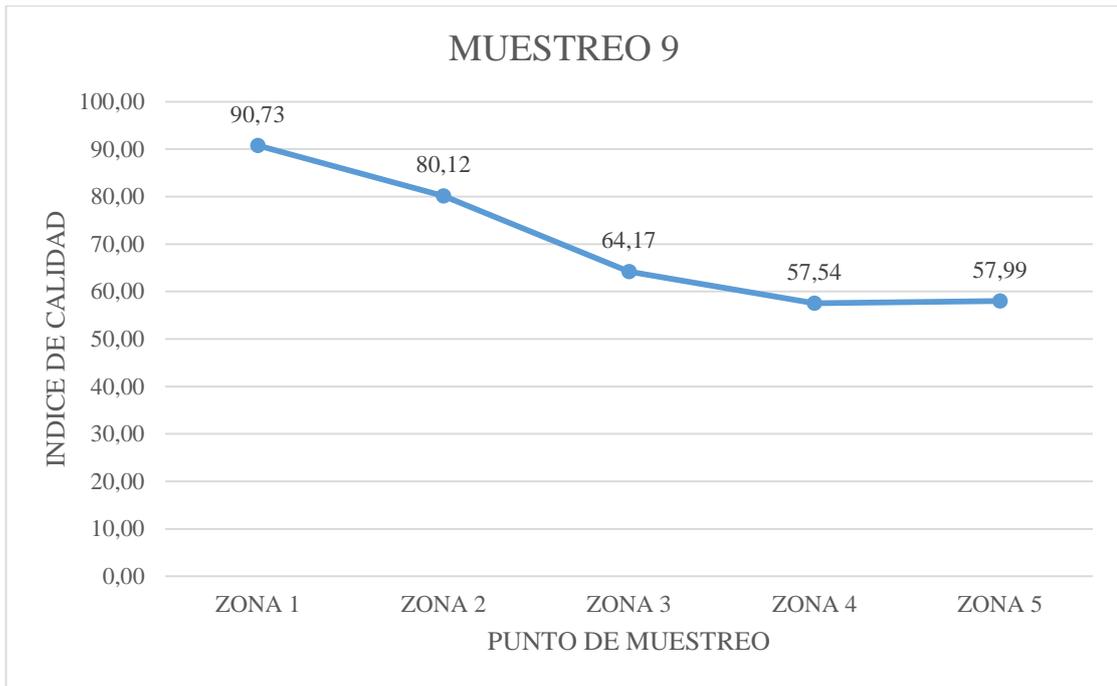


Ilustración 31 Variación del Índice de Calidad, muestreo 9

• **MUESTREO 10**

Tabla 24 Índice de Calidad NSF, muestreo 10

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w				
2,78	2,78	2,78	2,50	2,45
1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
1,80	1,80	1,81	1,81	1,82
1,88	1,90	1,90	1,90	1,90
1,89	1,89	1,89	1,88	1,89
1,59	1,58	1,56	1,56	1,56
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
86,80	86,80	86,20	77,63	76,61
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

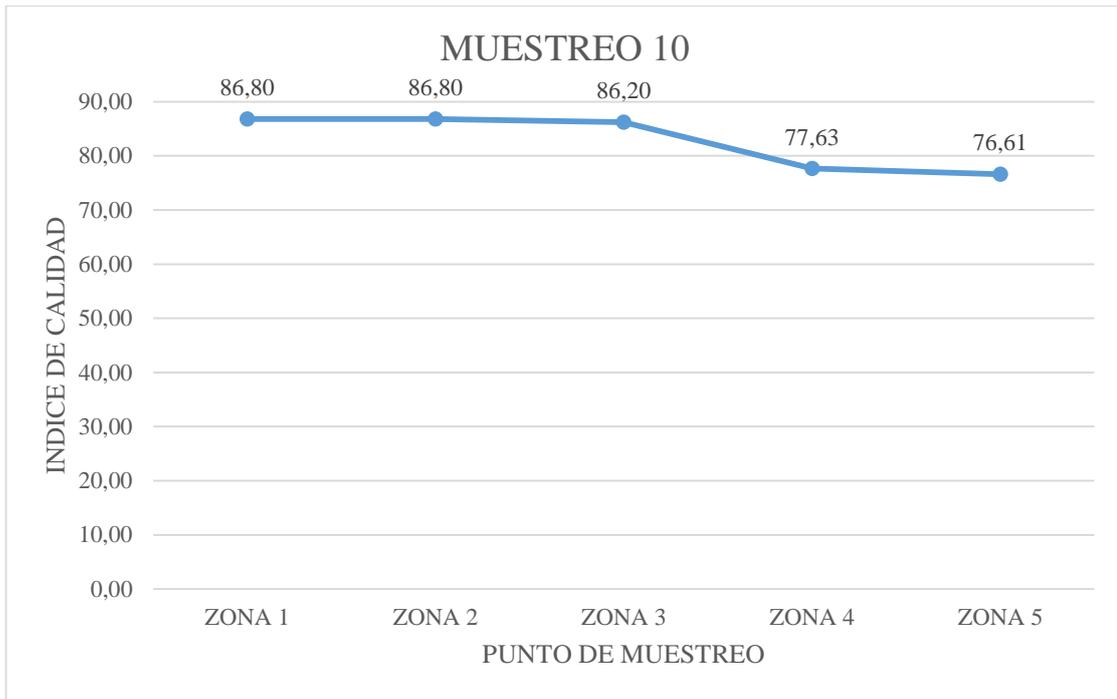


Ilustración 32 Variación del Índice de Calidad, muestreo 10

- **MUESTREO 11**

Tabla 25 Índice de Calidad NSF, muestreo 11

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w
2,47	2,37	2,78	2,42	2,06
1,99	1,98	1,97	1,97	1,98
1,80	1,81	1,82	1,82	1,83
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
80,65	77,36	91,03	79,13	67,58
BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	MEDIA

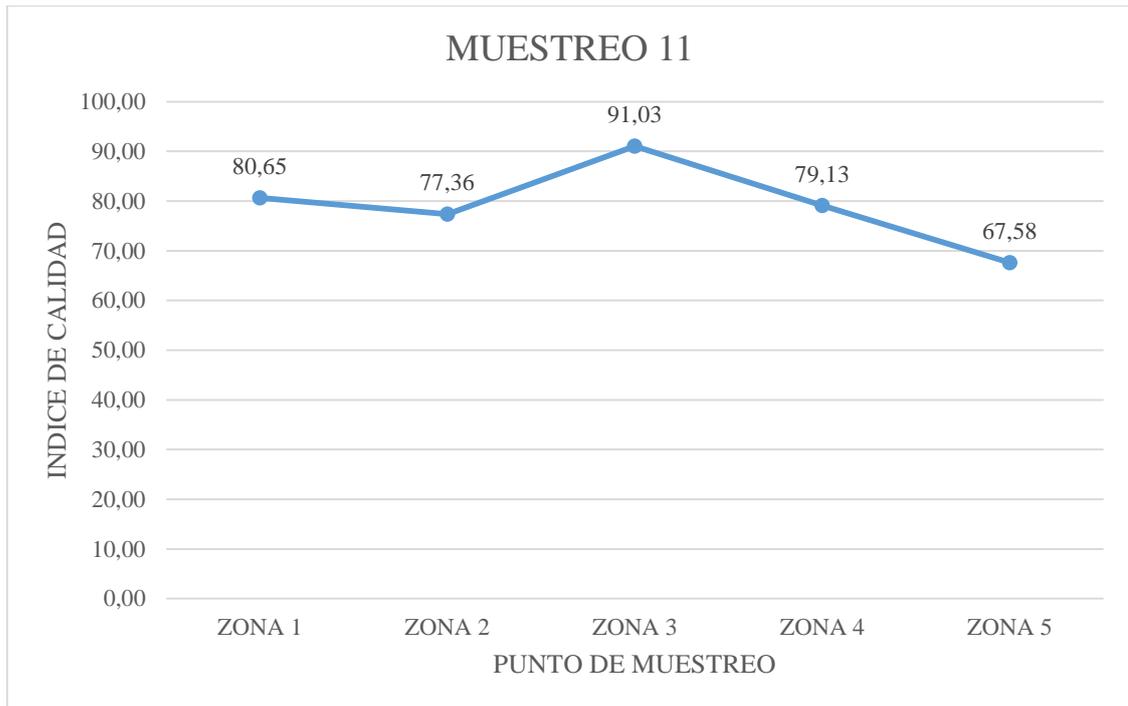


Ilustración 33 Variación del Índice de Calidad, muestreo 11

• **MUESTREO 12**

Tabla 26 Índice de Calidad NSF, muestreo 12

<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w	Q ^w
2,45	2,41	2,78	2,45	1,76
1,99	1,98	1,97	1,97	1,99
1,83	1,83	1,83	1,84	1,85
1,89	1,89	1,88	1,89	1,88
1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
1,65	1,65	1,65	1,65	1,64
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
80,66	79,00	90,57	80,76	58,06
BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	MEDIA

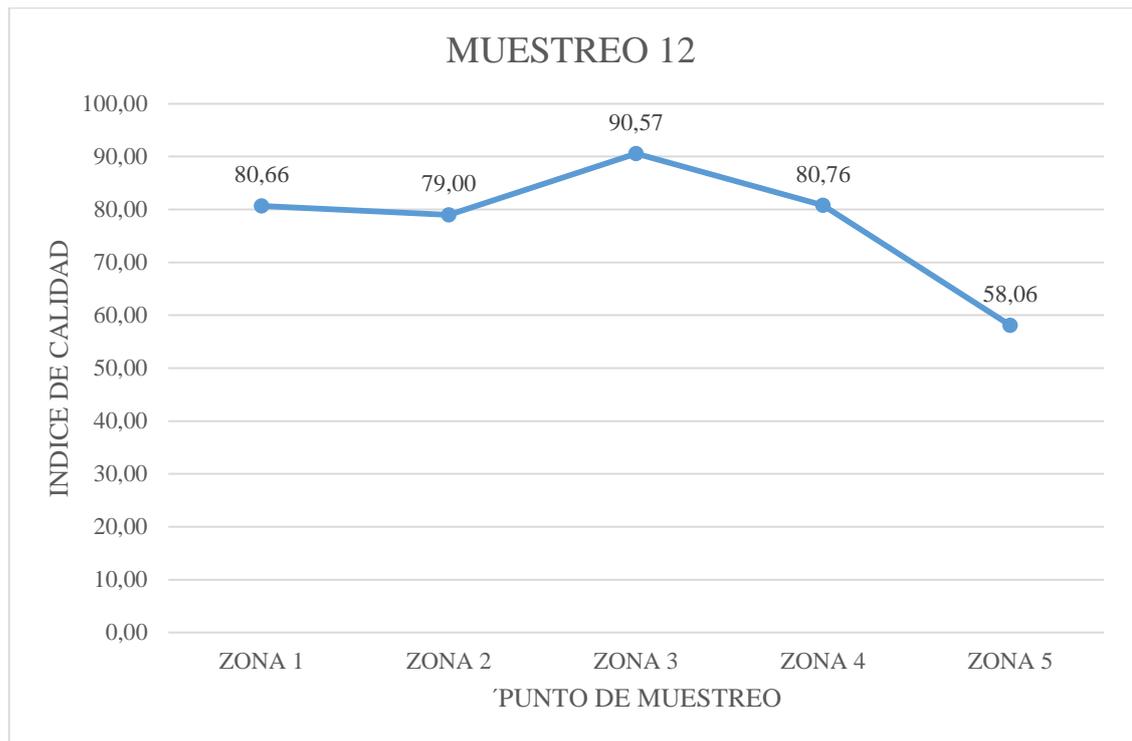


Ilustración 34 Variación del Índice de Calidad, muestreo 12

3.1.2. Cálculos estadísticos de Cobre, Hierro y Coliformes Totales

Debido a que el ICA-NSF no contempla en sus cálculos ciertos parámetros considerados de gran importancia como son Cobre y Hierro (metales pesados) y Coliformes Totales (contaminación microbiológica), se han realizado apreciaciones estadísticas para detectar en que zonas estos valores alcanzan una frecuencia en sus valores máximos, representados en gráficas para un mejor entendimiento. Estas tablas con sus graficas se pueden encontrar en el ANEXO 7.

Tabla 27 Tabla estadística que muestra valores máximos, mínimos y modas de ciertos parámetros

<u>PARÁMETROS</u>	<u>VALOR MÁXIMO TOTAL</u>	<u>VALOR MÍNIMO TOTAL</u>	<u>MODA TOTAL</u>	<u>MODA DE LA ZONA CON EL MAYOR VALOR</u>
COBRE (mgCu/L)	0,15	0	0,07	Zona 2
HIERRO (mgFe/L)	0,18	0,07	0,12	Zona 1
COLIFORMES TOTALES (NMP/mL)	6400	290	6400	Zona 5



La moda de la zona con el mayor valor, quiere decir; en qué zona se repite la mayoría de veces el parámetro analizado, teniendo en cuenta su máximo valor por muestreo, es decir, que el cobre alcanza su mayor valor en la zona 2 la mayoría de las veces.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos luego de ser estudiados y analizados, son discutidos individualmente a continuación.

4.1. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Los parámetros analizados para el estudio de la calidad de agua, fueron propuestos por SENAGUA, debido a su base de datos y su criterio de evaluación que ejecutan en las juntas de agua donde realizan su control.

4.1.1. Conductividad

Según la FAO, la conductividad en un agua de riego se encuentra en el rango de 0 a 700 microsiemens/cm, siendo que su valor máximo analizado alcanzó un total de 170,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (agua blanda) el cual se encuentra dentro de la normativa ya sea FAO o TULSMA. Se hizo el estudio del promedio de este parámetro, dando como resultado 107,24 $\mu\text{S}/\text{cm}$ encontrándose dentro del rango de la normativa igualmente.

Los resultados indican que la conductividad del agua es relativamente baja, lo cual revela que la concentración de sales disueltas en el agua es mínima. Sin embargo este parámetro no nos puede asegurar un punto de contaminación a lo largo del canal de riego, pero nos da un indicio de que en la zona 5 casi siempre el valor de conductividad alcanza valores altos, lo que se refiere que en este punto aumenta la cantidad de iones disueltos.

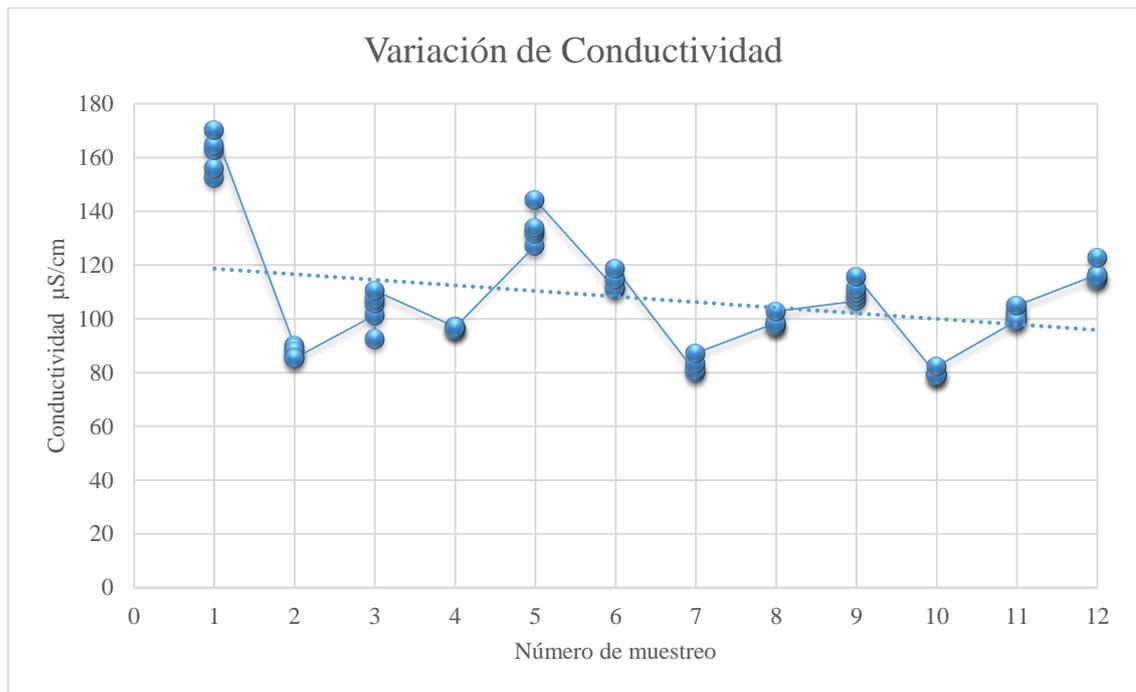


Ilustración 35 Variación de la conductividad en cada muestreo

4.1.2. Sólidos Totales Disueltos

El límite de concentración de STD es 450 mg/L, siendo el valor máximo obtenido en todos los muestreos de 95,3 mg/L y un promedio de 65,08mg/L. Esto corrobora con los datos de conductividad, ya que, se presenta una baja cantidad de cationes y aniones sean orgánicos o inorgánicos disueltos en el agua. Estos valores entran en el rango de la normativa de comparación.

La variación de los STD a lo largo de los puntos de muestreo, no es muy significativa. En la mayoría de zonas no tiene una variación muy drástica desde la captación hasta el final.

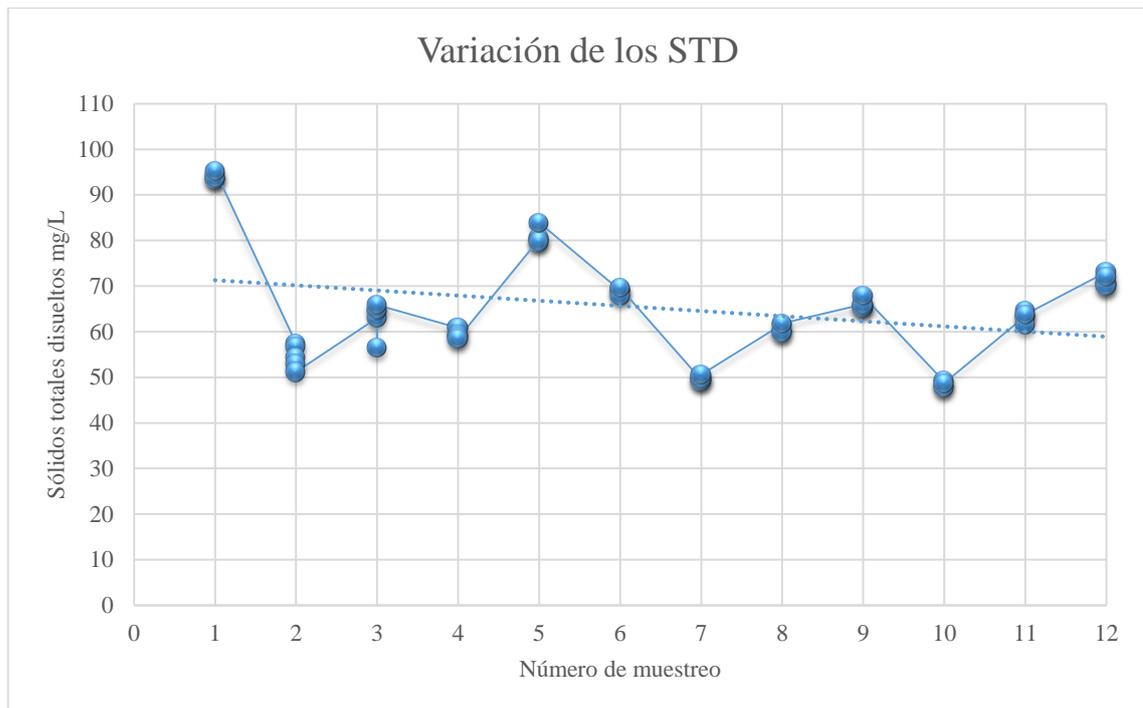


Ilustración 36 Variación de sólidos totales disueltos en cada muestreo

4.1.3. Temperatura

Este parámetro es sumamente importante al momento de realizar cualquier tipo de medición, ya que la temperatura no debe sobrepasar los 25 grados Celsius para sus respectivos análisis.

Tenemos una temperatura que no varía en gran cantidad a lo largo de las zonas de muestreo, sin embargo esta tiene un comportamiento ascendente, es decir, que la temperatura aumenta desde la zona 1 gradualmente hasta la zona 5 llegando a tener valores máximos de 17.8°C y un promedio de 13,97 °C, lo cual indica que se cumple con este parámetro para el análisis de muestras en el laboratorio.

4.1.4. pH

Según la normativa FAO el rango de un pH óptimo para agua de riego está entre 6,5 y 8,4. Como se observa en la gráfica existe un valor máximo en el muestreo 9 en la zona 3 que excede el límite permisible de pH de la normativa (pH=8,67). De igual forma en el muestreo 1 la zona 3 y 4 exceden en pequeña cantidad el límite permisible.

Como se indican en los cálculos del ICA-NSF en estas zonas, el nivel de la calidad del agua es medio, lo cual nos revela que el pH influye en estas zonas de tal manera que disminuye la calidad del agua.



La moda del pH es de 8,05 y el promedio de 7,9 indicando que este parámetro a lo largo del canal de riego tiende a ser alcalino.

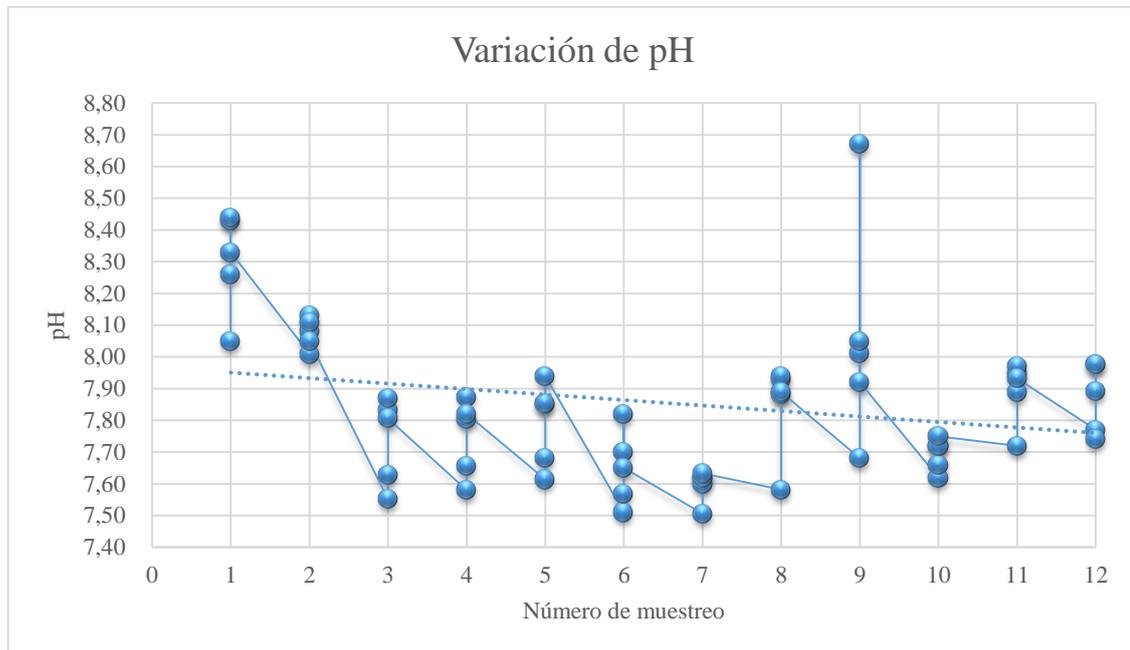


Ilustración 37 Variación de pH en cada muestreo

Se demuestra por lo tanto que en la captación (zona 1) el agua arrastra estas sales de las rocas de la fuente y en la zona 3 debido a la presencia de un bosque y derrumbes provenientes de la montaña, el agua se concentra en estos iones haciendo que esta zona presente los valores más altos de alcalinidad analizados.

4.1.5. Nitratos

Según la FAO los Nitratos (NO_3^-) tienen un rango permisible para aguas de riego de 0-10 mgNO_3^-/L , por lo tanto este es un parámetro que se encuentra dentro del rango en todo el período de muestreo a lo largo del sistema. Es así que su valor máximo alcanzado es de 2,7 mgNO_3^-/L en la zona 5. Se muestran también un aumento en las concentraciones desde la zona 4 en adelante en la mayoría de los casos. Debido a que la fuente de los nitratos son principalmente fertilizantes inorgánicos, actividades agrícolas o fosas sépticas, tiene mucho sentido que la concentración de este parámetro aumente en estas zonas donde hay ganadería, agricultura y población que vive más cerca al canal. Esto nos da indicios de que el agua arrastra estos compuestos en pequeñas cantidades, sin embargo no sobrepasan el límite máximo de la normativa, en ningún punto. Además su valor promedio es de 0,38 mgNO_3^-/L lo cual no presenta un riesgo en la calidad de agua.

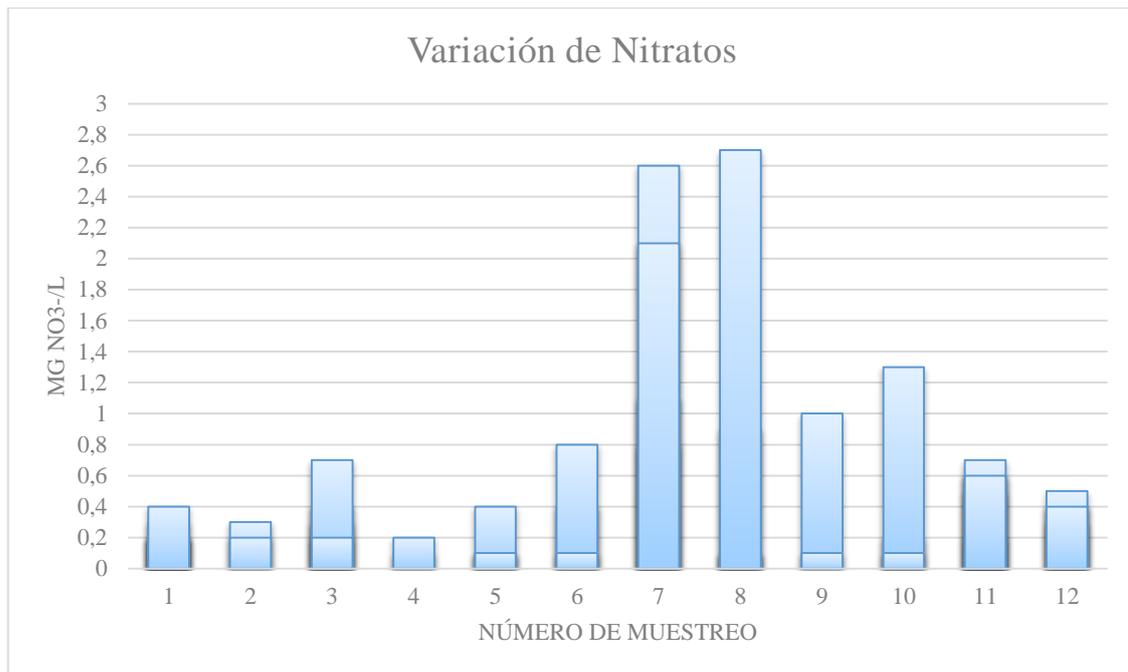


Ilustración 38 Variación de nitratos en cada muestreo

4.1.6. Nitritos

Los nitritos no se contemplan en las normativas investigadas, sin embargo se ha buscado en varias investigaciones donde el rango permisible en aguas agrícolas es de 0-10 mgNO₂⁻/L (Lasso Palacios, 2009).

En el análisis estadístico de este trabajo, se observan valores de este parámetro entre 0 a 0,016 mgNO₂⁻/L, lo cual nos indica que es casi inexistente la cantidad de nitritos en estas aguas.

Los nitritos generalmente se encuentran en bajas concentraciones lo cual se cumple en este sistema de riego, debido a que si estas sobrepasaran el límite permisible, existirían serios problemas para la salud de los moradores. Sin embargo este parámetro cumple con los límites permisibles.

4.1.7. Sulfatos

Según la normativa F.A.O. el límite permisible de sulfatos es de 0-200 mgSO₄²⁻/L. Siendo que la mayoría de sulfatos se crean a partir de disolución mediante la lluvia de rocas (yeso principalmente) y suelos en el agua que contienen este ion, siendo así que se combinan con el calcio y magnesio dándole dureza al agua. Sin embargo se observa que el valor máximo de este parámetro es de 7 mgSO₄²⁻/L y el valor promedio a lo largo del canal de



riego es de $2,3 \text{ mgSO}_4^{2-}/\text{L}$. Esto indica una muy baja concentración de este ion en el agua, encontrándose dentro de los límites permisibles para el riego.

Los sulfatos en altas concentraciones pueden generar problemas en el material por donde atraviesa el agua de riego, generalmente si este es concreto. En este caso específico se presenta concreto como conducto, el cual puede ser afectado con aguas de riego debido a la corrosión generada por el intercambio iónico entre sulfatos y el Calcio (los sulfatos de magnesio descomponen los silicatos hidratados de calcio que reaccionan con el hidróxido de calcio y aluminio del concreto) que al combinarse reaccionan formando sulfoaluminato de calcio provocando que el concreto se expanda y se rompa (García, 2012).



Ilustración 39 Variación de sulfatos en cada muestreo

4.1.8. Hierro

El hierro según la normativa tiene un límite máximo permisible de $5 \text{ mgFe}/\text{L}$. Este elemento es considerado un contaminante común del agua que no se considera un peligro para la salud en concentraciones bajas. Sin embargo se tienen concentraciones máximas de $0,18 \text{ mgFe}/\text{L}$, esto puede provocar obstrucciones de emisores de riego si el sistema es por goteo. En la junta de riego analizada, todos los sistemas de riego son por gravedad, por lo tanto si un usuario quisiera adquirir un sistema por goteo, este problema de hierro tendría que ponerse en consideración.

Según los datos de concentración de Hierro recaudados, se observa que en la Zona 1, 2 y 3, las concentraciones de hierro son las mayores. Esto determina que generalmente los



iones Fe provienen de la captación, los cuales son arrastrados por la zona 2 donde este se mantiene constante (zona montañosa que en ciertos casos suministra este ion incrementando la concentración) y en la zona 3 debido a los derrumbes de tierras rojizas (presencia de hierro), el agua vuelve a adquirir este ion.

Hay que considerar que la oxigenación del agua a lo largo de estas zonas es constante, lo cual mantiene la concentración de este parámetro en los límites permisibles.

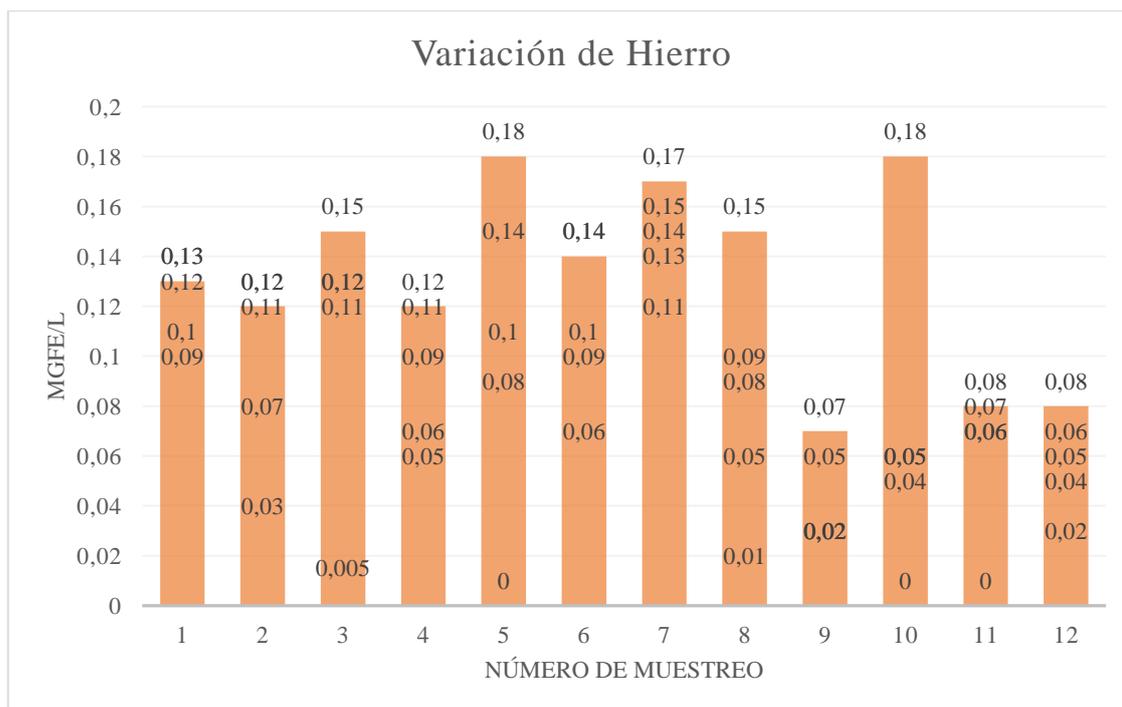


Ilustración 40 Variación de hierro en cada muestreo

Se observa que en el muestreo 5 y 10 el hierro alcanza su concentración máxima y ambas mediciones se dan en la zona 1 (captación), de igual forma en el muestreo 7 donde se tiene 0,17 mgFe/L, medición realizada en la misma zona.

En algunos casos la concentración de hierro disminuye desde la zona 1 a la zona 2, pero al llegar a la zona 3 este vuelve a aumentar. La zona 3 es considerada zona de deslizamiento de tierras, esto indica su aumento en pequeña cantidad de este parámetro en esta zona, la cual arrastra parte de esta concentración a la zona 4 (disminuye relativamente poco).

4.1.9. Fosfatos

La normativa F.A.O. indica un límite de concentración de este ion entre 0-2 mgPO₄³⁻/L. Sin embargo, se observa que en ciertas zonas este valor se supera, dando como resultado



un máximo valor a lo largo de todos los análisis de $0,34 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{L}$, sin embargo este valor solamente se alcanzó en un muestreo y no fue repetible. El promedio de este parámetro indica $0,04 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{L}$, encontrándose dentro de la normativa.

Las zonas donde se alcanza la mayor cantidad de fosfatos van desde la zona 3 en adelante. Principalmente este ion proviene de residuos agrícolas como fertilizantes que ingresan al agua por medio de arrastre, indicando que desde la zona 3 en adelante hay un mayor uso de abonos que incrementan la concentración de fosfatos en el agua.

Los fosfatos también se ven identificados con el uso de detergentes y la dilución de los mismos en el agua, esto indica que las zonas mencionadas donde aumenta esta concentración, presentan moradores que desembocan aguas residuales al canal de riego.

En la zona 5 se observa claramente un crecimiento incontrolado de biomasa acuática (algas), la cual se produce por la presencia de fosfatos disminuyendo el oxígeno disuelto.

En estas 3 zonas debido a que los fosfatos existen en mayor cantidad, se relaciona a las aguas residuales domésticas y excrementos animales que se puede observar claramente que en estas zonas hay una gran cantidad de coliformes fecales y totales.

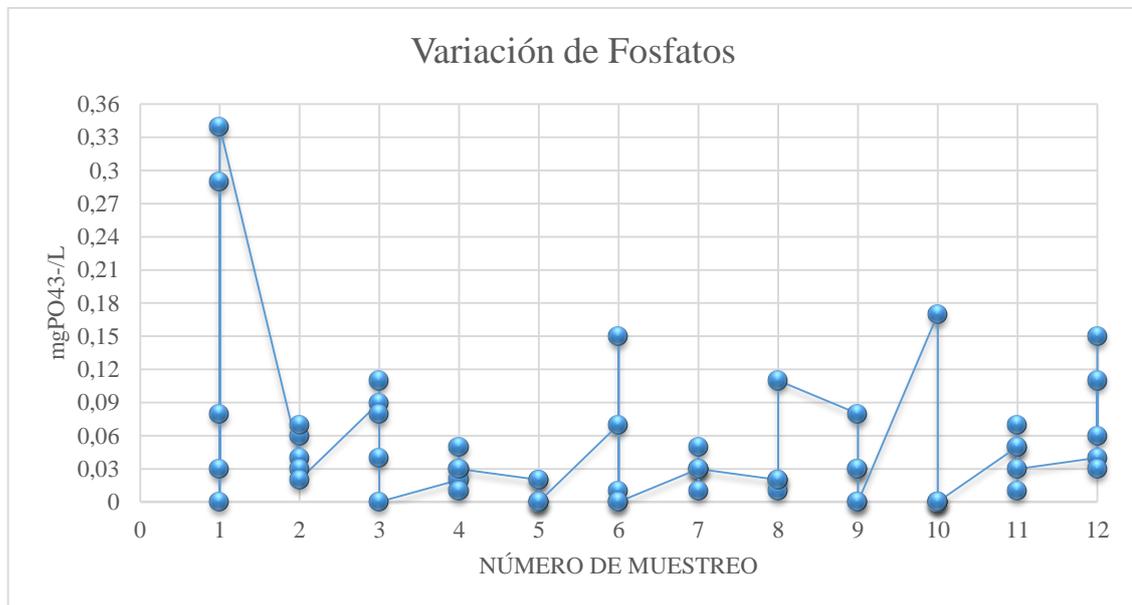


Ilustración 41 Variación de fosfatos en cada muestreo

En la gráfica se observa claramente en que muestreo los fosfatos alcanzan su valor máximo superando los límites permisibles nada más en el muestreo 1. En los demás este ion se mantiene dentro del rango de la normativa, siendo en las zonas mencionadas beneficiante para el crecimiento de las plantas.



4.1.10. Cobre

La normativa indica que el cobre en las aguas de uso agrícola tiene que presentar los siguientes valores 0-0,2 mgCu/L (0,1 a 1 toxicidad a plantas).

Se obtuvieron valores máximos de 0,15 mgCu/L los cuales se encuentra dentro del límite permisible. Sin embargo existen valores que se encuentran entre 0,1 a 0,15, los mismos que pueden causar toxicidad a las plantas.

La zona donde el cobre alcanza sus valores máximos es principalmente la zona 2 (parroquia de Checa).

El cobre no es de todo malo en el agua de riego si su uso principal va destinado a las plantas, debido a que este; en el rango de la normativa es considerado un micronutriente. Para lo cual se debe tener un intenso control de este elemento en el agua y evitar que este exceda el límite permisible, controlando desde la zona 1 (cobre natural que viene de la captación) y la zona 2 donde se tiene un aumento de este metal en el agua.

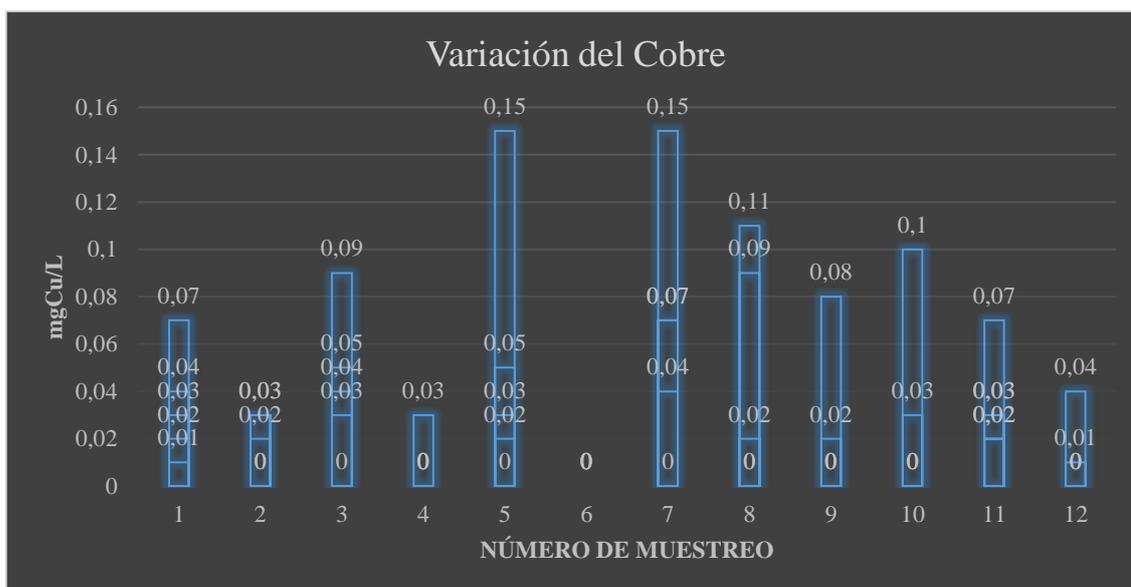


Ilustración 42 Variación de cobre en cada muestreo

4.1.11. Alcalinidad

La normativa indica una alcalinidad entre 0 a 500 mgCaCO₃/L en un agua de riego.

Se tiene una alcalinidad baja en los análisis realizados. El rango que se obtiene como valores máximos y mínimos medidos son de 16,63 a 52,25 mgCaCO₃/L, lo que representa una baja alcalinidad según la siguiente tabla.

Tabla 28 Rango de Alcalinidad en agua de riego (Guy, 2017).

RANGO	ALCALINIDAD (mgCaCO ₃ /L)
Baja	Menor a 75
Media	Entre 75 – 150
Alta	Mayor a 150

Como se observa en la siguiente gráfica, en cada muestreo la alcalinidad no varía en gran cantidad (relativamente constante a lo largo del sistema de riego), a excepción de los últimos dos muestreos donde si se observa un cambio brusco de los valores de este parámetro.

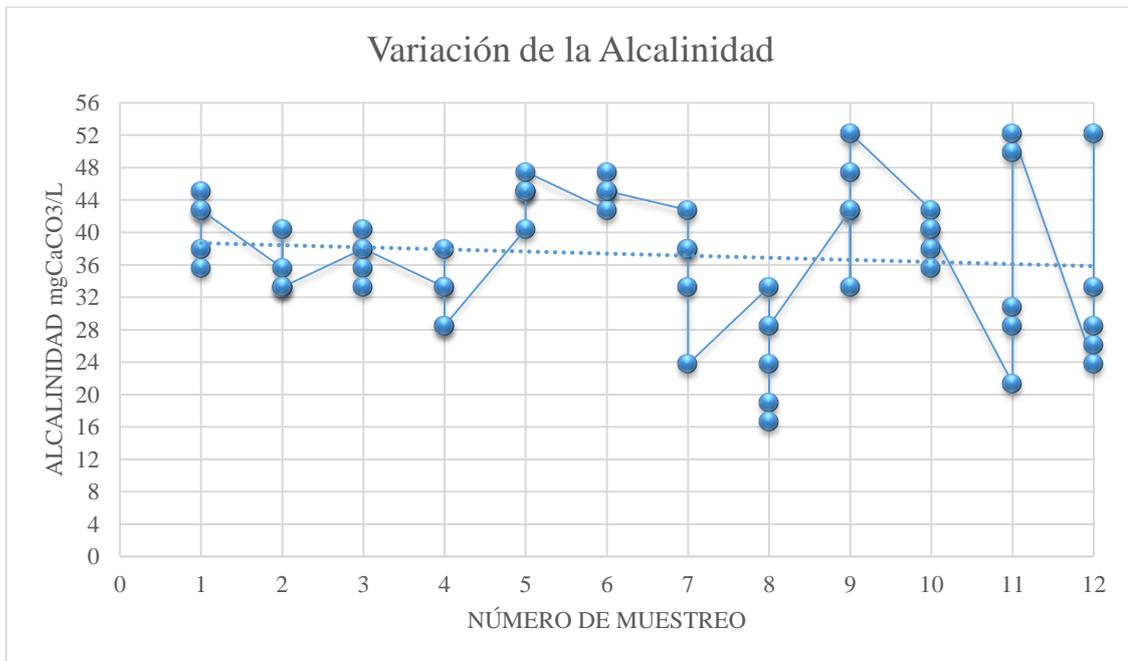


Ilustración 43 Variación de alcalinidad en cada muestreo

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento con una tendencia ascendente que tiene este parámetro en cada muestreo, es decir, el valor de alcalinidad tiene el mismo comportamiento en la mayoría de muestreos de una manera ascendente, dando el valor más bajo en la zona 1 y el valor más alto en la zona 5. Indicando que en cada zona se van diluyendo más iones de carbonatos, bicarbonatos e hidroxilos (Ca, K, Na y Mg) en el agua.

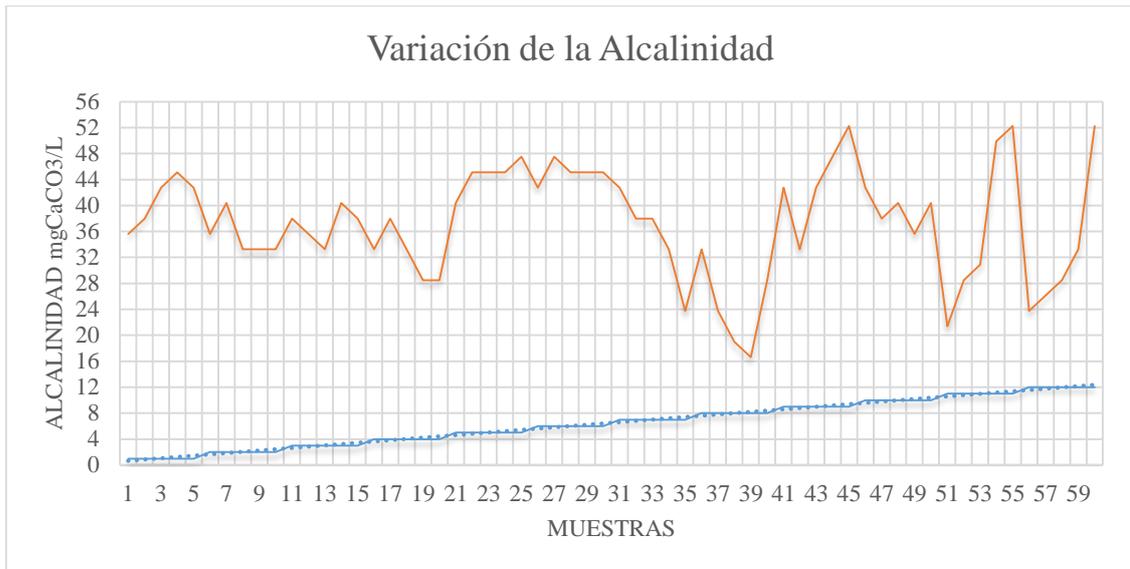


Ilustración 44 Incremento de alcalinidad según cada muestra

4.1.12. Dureza total

Según la F.A.O. para la agricultura, el agua de riego tiene que ser dura, es decir un rango entre 0 a 1250 mgCaCO₃/L. El máximo valor en todos los análisis que se alcanza es de 62,5 mgCaCO₃/L y el mínimo valor es de 30 mgCaCO₃/L.

Como se observa en la gráfica en algunos muestreos, la dureza permanece constante como es el número 2, 3 y 5. En otros muestreos el valor de este parámetro es mayor en la zona 1, disminuye en la zona 2, vuelve a crecer en la zona 3, disminuye nuevamente en la zona 4 y por último vuelve a crecer en la zona 5. Sin embargo no tiene un comportamiento constante en todos los muestreos pero sus valores varían entre una dureza blanda y moderadamente blanda sin superar los 75 mgCaCO₃/L a lo largo de todo el canal.

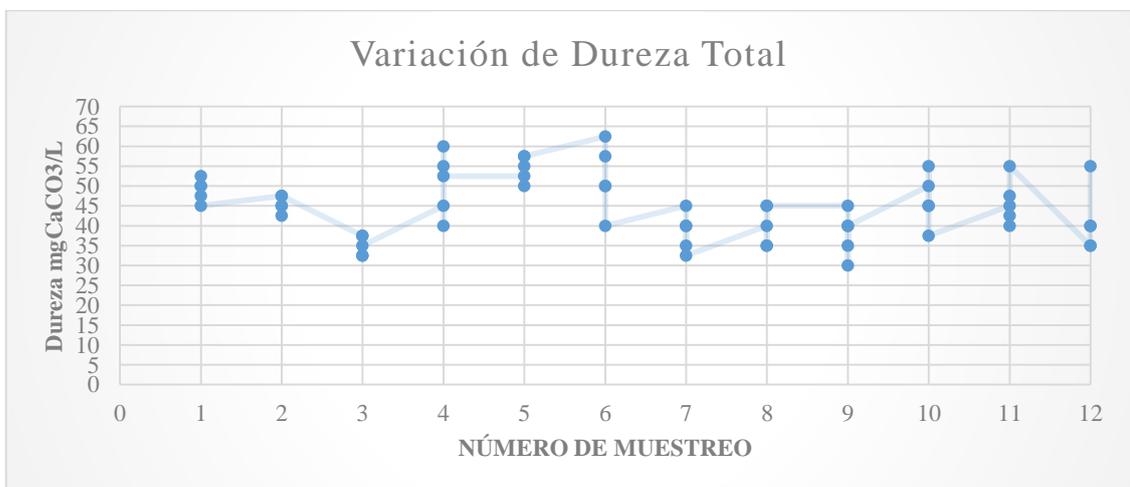


Ilustración 45 Variación de dureza total en cada muestreo



4.1.13. Turbiedad y Color

En cuanto a estos dos parámetros no se presenta normativa alguna que los controle. Sin embargo han sido analizados para definir su aspecto y poder observar en que zona la coloración y turbiedad tienen mayor cambio.

Una vez analizados los datos se tiene que en la zona 5 se presentan los máximos valores de turbiedad y color los cuales son de 28,9 NTU y 120 UC respectivamente. Lo cual se relaciona con la inexistente limpieza de la zona 5 por parte de los moradores aledaños. Estas imágenes se pueden observar en el ANEXO 1.

4.1.14. Coliformes Totales

Las coliformes totales es uno de los principales problemas que se deben controlar en este estudio debido a que la normativa TULSMA indica que el límite permisible de estos microorganismos en agua de riego es de 1000NMP/mL. Dicho límite sobrepasa en varias zonas a lo largo de los muestreos, siendo más característica la zona 5 más afectada y la zona que le sigue es la 3.

Claramente en el recorrido del canal, la zona 3 presenta una mayor actividad agrícola lo cual se representa en los resultados obtenidos.

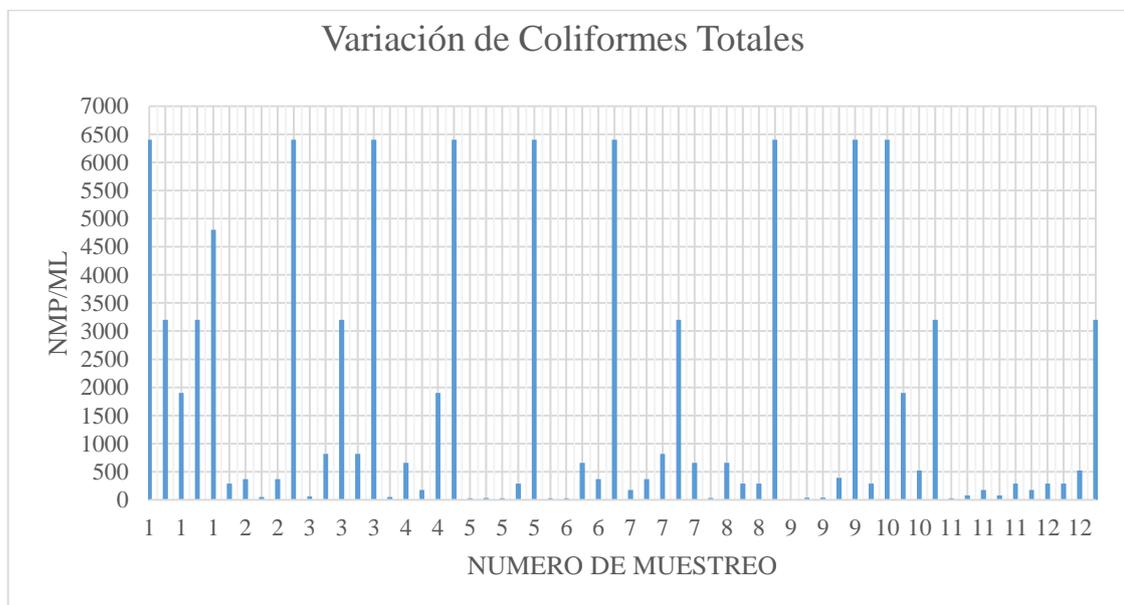


Ilustración 46 Variación de coliformes totales en cada muestreo

Debido a este tipo de contaminación, el agua no cumple con la normativa, lo cual indica que no puede ser utilizada para riego sin previo tratamiento debido al daño a la salud que



esta puede causar al añadirse a los cultivos o el consumo del agua por parte de los animales de granja y los habitantes de la zona.

4.1.15. Coliformes fecales

Se debe tener un sumo cuidado con las coliformes fecales ya que estas pueden ingresar al organismo humano y ser perjudiciales a la salud, si se excede el límite permisible de las mismas.

El límite permisible para coliformes fecales dada por la TULSMA es de 1000NMP/mL. Dicho valor no se cumple en la mayoría de muestreos. Las zonas más afectadas son aquellas que presentan casas juntas al canal de riego, como lo son: la zona 2 (Checa), zona 3 (Paluncay) y zona 5 que es la más afectada (Ricaurte-La Dolorosa). Por lo tanto una concientización en estas tres zonas principalmente sería de gran ayuda para mejorar la calidad de agua del sistema de riego y la salud de los moradores.

Esta es considerada una de las principales contaminaciones en este estudio, debido a que en la mayoría de muestreos el agua no cumple con la normativa TULSMA en este parámetro, lo cual considera que esta agua no es apta para el riego a menos que pase por un tratamiento de eliminación de coliformes fecales.

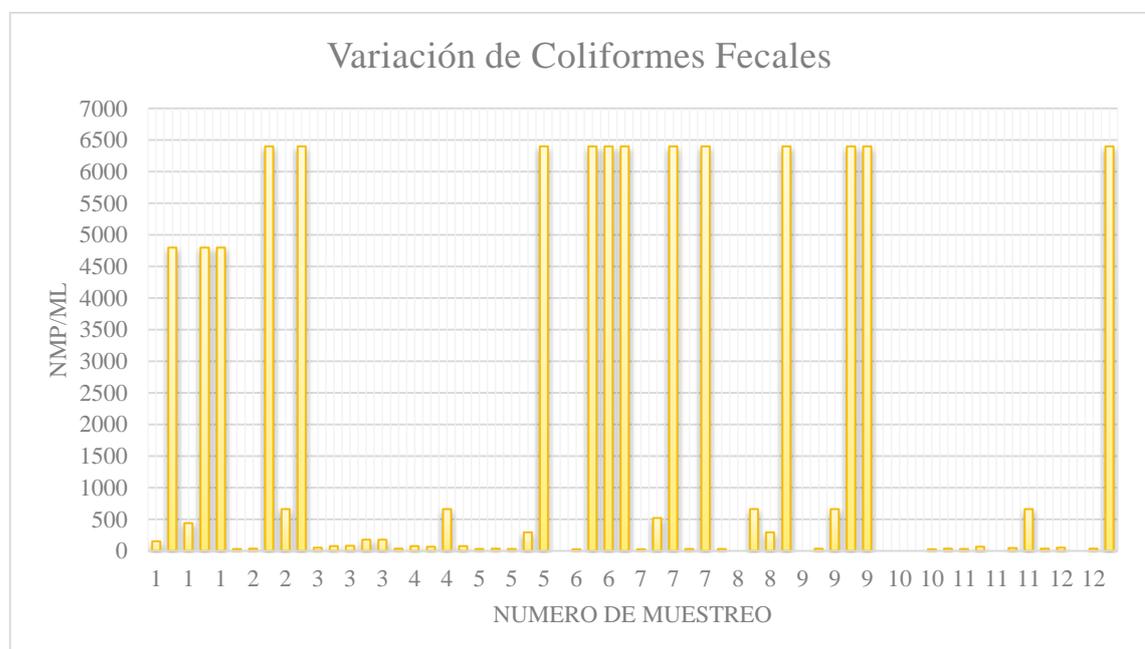


Ilustración 47 Variación de coliformes fecales en cada muestreo

4.2. ÍNDICE DE CALIDAD ICA-NSF



El índice que se apegó al estudio, es uno de los más utilizados a nivel mundial en este tipo de aguas, siendo este el ICA-NSF mediante su técnica multiplicativa (más precisa).

En la siguiente tabla se detallan los resultados resumidos del ICA-NSF (técnica aritmética).

Tabla 29 Resumen de resultados descriptivos del ICA-NSF (técnica aritmética).

MUESTREO	ICA NSF (técnica aritmética)				
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
1	BUENA	MEDIA	BUENA	BUENA	MEDIA
2	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
3	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
4	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
5	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
6	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
7	BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA
8	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
9	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
10	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
11	BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	BUENA
12	BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	BUENA

En la siguiente tabla se detallan los resultados resumidos del ICA-NSF (técnica multiplicativa).

Tabla 30 Resultados descriptivos del ICA-NSF técnica multiplicativa.

MUESTREO	ICA NSF (técnica multiplicativa más precisa)				
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
1	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
2	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
3	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
4	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA
5	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA
6	EXCELENTE	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
7	BUENA	MEDIA	MEDIA	BUENA	MEDIA
8	BUENA	EXCELENTE	MEDIA	BUENA	MEDIA
9	EXCELENTE	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
10	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
11	BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	MEDIA
12	BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	MEDIA

Comparando las anteriores tablas se observa claramente que la técnica multiplicativa nos da resultados más variables, comprobándose de esa manera que esta técnica de resolución es más precisa.



Para corroborar con estos resultados, se consideró que en este estudio se debía leer oxígeno disuelto. Para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 31 Resultados promedios de las zonas de Oxígeno Disuelto

<u>PUNTO DE MUESTREO</u>	<u>DO (% sat)</u>
ZONA 1	82
ZONA 2	73
ZONA 3	79
ZONA 4	76
ZONA 5	72

Se observa en la tabla anterior que en la zona 1 se mantiene un valor constante alto que disminuye en el segundo punto y al tercero vuelve a oxigenarse el agua por la presencia de un bosque en la zona y rocas dentro del canal, siendo la zona 5 con menor oxígeno disuelto. Lo cual corrobora con todos los resultados antes descritos.

Debido a la temperatura constante en cada punto a lo largo del canal, el agua sigue oxigenándose y se mantiene constante en cada zona. Se considera también que la temperatura no llega a valores superiores de 25 grados Celsius lo cual hace que el oxígeno disuelto no se pierda con facilidad.

Al sumar este parámetro al cálculo del índice de calidad, nos va a dar valores más cercanos a la realidad y que este índice calculado sea considerado para la toma de decisiones para la mejora del sistema de riego.

Los datos calculados se pueden revisar en el ANEXO 9 y la tabla resumen de resultados a continuación:

Tabla 32 Resultados descriptivos del ICA-NSF usando la técnica multiplicativa y el parámetro DO.

ICA NSF (técnica multiplicativa incluyendo DO)					
<u>MUESTREO</u>	<u>ZONA 1</u>	<u>ZONA 2</u>	<u>ZONA 3</u>	<u>ZONA 4</u>	<u>ZONA 5</u>
1	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA



2	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
3	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
4	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
5	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA
6	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
7	BUENA	MEDIA	MEDIA	BUENA	MEDIA
8	BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA
9	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
10	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
11	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA
12	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA

Si comparamos la tabla 31 con la tabla 32, podemos determinar que si bien el incluir el parámetro de Oxígeno Disuelto a los cálculos hace más preciso el ICA-NSF, este sin embargo no varía en gran cantidad. En definitiva los resultados son correspondientes, siendo las zonas con un índice de calidad medio con más repeticiones las: 5, 3 y 4 respectivamente en un orden descendente.



5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

5.1. Se realizó correctamente un mapeo del canal principal del Sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte, el cual presenta vista satelital y varios datos complementarios más exactos (altitud sujeta al suelo, latitud, coordenadas, longitud exacta, porcentaje de inclinación, perfil de elevación, etc.) que pueden ser usados en futuros proyectos.

5.2. En cuanto a todos los parámetros analizados, se concluye que la mayoría cumple con la normativa F.A.O. o TULSMA a excepción del pH que se excede en un muestreo en la zona 3 y los coliformes totales y fecales que no cumplen con la normativa en las zonas 3 y 5 principalmente.

Otros parámetros como son el Hierro que alcanza su mayor valor en las zonas 1, 2 y 3 pero sin embargo entran en los valores límites permisibles. El mismo caso se tiene con los fosfatos que alcanzan su valor máximo desde la zona 3 en adelante y no sobrepasan los rangos establecidos por normativa.

El cobre no obstante se encuentra dentro del rango permitido pero este sobrepasa el nivel de riesgo para plantas de 0,1mgCu/L en la zona 2, lo cual indica una contaminación de este elemento en la parroquia de Checa.

La alcalinidad presenta un valor bajo cuyos valores incrementen desde la zona 1 llegando al más alto en la zona 5, sin embargo se encuentra dentro del rango permisible de la norma.

5.3. El principal problema detectado a lo largo de todos los análisis son las coliformes totales y fecales, los cuales según los análisis de laboratorio llegan a su valor máximo al final de las zonas 2, 3 y 5 en su mayoría, siendo estos los kilómetros 3, 6,5 y 11,8 respectivamente, incidiendo directamente en la salud de la comunidad que consume el agua directamente desde la fuente sin un previo tratamiento.

5.4. Los índices de calidad según los estudios presentan un criterio muy acertado de la calidad de agua de la zona que se analice. Efectivamente se comprobó en este trabajo de investigación que el ICA NSF con el método multiplicativo es más preciso que el ICA NSF realizado con el método aritmético.

5.5. La zona más contaminada es la 5, esto se debe a que en esta se carecen de mingas de limpieza lo que aumenta su contaminación, además en esta zona el agua ya ha disuelto la mayoría de contaminantes y los ha venido arrastrando



a lo largo del canal. Se puede observar en el ANEXO 1 toda la cantidad de basura y desechos orgánicos e inorgánicos presentes en la compuerta final.

5.6. La zona 3 es la segunda zona más contaminada ya que arrastra iones desde la captación y la población de Checa, sin embargo esta al ser un área de bosque, con poca población, alta oxigenación pero con gran cantidad agrícola, se equilibra el índice de calidad, ya que, los parámetros llegan a esta zona con una concentración mayor y salen de la misma con una concentración menor en la mayoría de los casos, pero las coliformes aumentan relativamente en esta zona por la presencia agrícola.

RECOMENDACIONES

- Antes de empezar un estudio de análisis de la calidad del agua en cualquier región de investigación, se debe analizar perfectamente y cuidadosamente los parámetros a estudiar en el laboratorio, ya que en la normativa ecuatoriana TULSMA existen un sinnúmero de parámetros de calidad de agua de riego, sin embargo no existe un estudio que estandarice un método para definir una calidad de agua de riego como son los ICA NSF, los cuales deberían ser aplicados por las instituciones públicas que se encargan del análisis de la calidad de agua como SENAGUA.
- La calibración de equipos antes de los análisis debe ser obligatoria para que los resultados sean confiables y se tenga un valor de calidad de agua muy próximo a la realidad.
- En las zonas antes mencionadas 5, 3 y 4 se recomienda incrementar el índice de calidad de un nivel medio a un nivel excelente para evitar futuros problemas con la salud de los habitantes del sector. Esto se lo puede realizar mediante la impartición de educación medioambiental hacia los moradores de estas zonas principalmente para que se eviten los desfuegos de aguas servidas al canal y concientizar a la sociedad en que no se debe arrojar desechos o animales muertos al canal. Así como educación en cuanto a una correcta fertilización de los suelos para que estos no sean arrastrados hacia el agua y de forma similar la limitación de los animales de granja hacia las faldas del canal de riego de forma que se evite que las heces de los mismos entren en contacto con el agua.
- Debido a que el problema principal de contaminación se da por la presencia de altos niveles de coliformes, se recomienda la siembra de humedales en las zonas más afectadas (2, 3 y 5).



Estos humedales son una especie de plantas llamada “Cyperus Papyrus” que según el análisis de (García Avila, 2019) esta especie tiene una eficiencia de remoción de coliformes totales y fecales de 98,08% y 95,61% respectivamente. Además de esto, la ventaja de usar esta planta es su capacidad de soportar a temperaturas entre 20 y 33 grados Celsius, es decir, se adapta perfectamente a los climas fríos, el cual se tiene a lo largo del sistema de riego. A las ventajas se incorpora un bajo costo de construcción de humedales con esta especie, bajo requisito de operación y una alta contribución al paisaje, lo cual al incorporarse esta solución al final de cada zona mencionada (los kilómetros 3, 6,5 y 11,8) dará un aumento al ICA NSF, donde la calidad de agua será óptima para este sistema de riego en específico ayudando a mejorar la calidad de vida y salud de los moradores.



ANEXO 1. VALORES LÍMITES PERMISIBLES

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de	mg/l	0,2



Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Plata	organoclorados totales. Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales	STD	mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Tabla 33 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017).

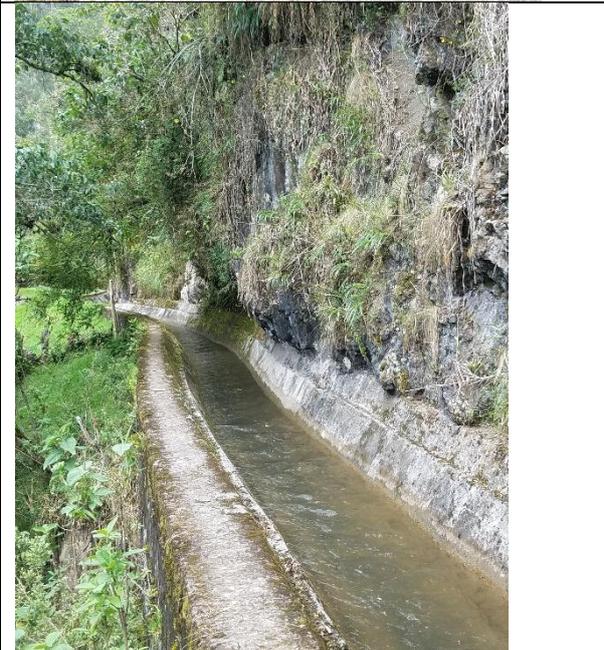
PARÁMETRO	LÍMITE PERMISIBLE	UNIDAD	FUENTE
Conductividad	0-700-3000	micros/cm	(FAO, s. f.)
STD	0-450-2000	mg/L	(FAO, s. f.)
Temperatura	25	Celsius	HACH
pH	6,5-8,4	-	(FAO, s. f.)
Nitratos NO3-	0-10	mg/L	(FAO, s. f.)

Nitritos NO ₂ -	0-10	mg/L	(Nordin & Pommen, Septiembre,29)
Sulfatos SO ₄ 2-	0-200-600	mg/L	(FAO, s. f.)
Hierro Fe	5	mg/L	(FAO, s. f.)
Fosfatos PO ₄ 3-	0-2	mg/L	(FAO, s. f.)
Cobre Cu	0-0,2 (0,1 a 1 toxicidad a plantas)	mg/L	(FAO, s. f.)
Alcalinidad	0-500	mgCaCO ₃ /L	(FAO, s. f.)
Dureza CaCO ₃	0-1250	mgCaCO ₃ /L	(FAO, s. f.)
Turbiedad	-	NTU	-
Color	-	UC	-
Coliformes Totales	0-1000	NMP/mL	(MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017)
Coliformes Fecales	0-1000	NMP/mL	(MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017)

Tabla 34 Límites permisibles obtenidos de Normativas

ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DEL CANAL

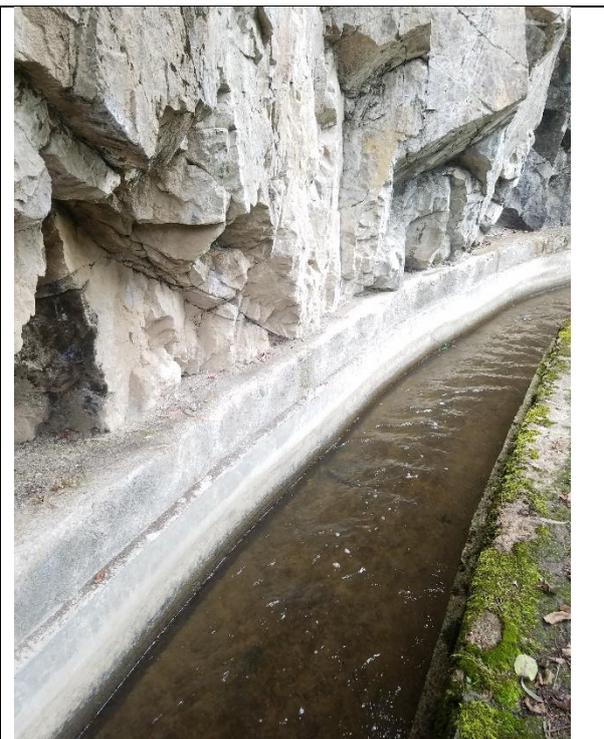
km	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
0	<p>Captación: esta es una captación rústica, es decir, no hay infraestructura. Existe una compuerta para regular los L/s que entran al canal. En la actualidad entran 500L/s. Se indica que en verano los operadores suben la compuerta para mantener el caudal constante debido a la falta de agua en esta época.</p> <p>La captación proviene de la unión de dos caudales, el que desemboca de la central hidroeléctrica de Saymirín que se une al caudal del río</p>	

	<p>Machángara para dar un caudal total que entra al canal de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte.</p>	
0,063	<p>Presencia de desarenador, se indica que se da mantenimiento al mismo cuando este lo necesita (cada semana), se abre la palanca giratoria y mediante la velocidad del agua esta cae hacia una quebrada, removiendo la arena sedimentada presente.</p>	
0,239	<p>Agua con aspecto limpio y claro, zona montañosa</p>	



0,427	Presencia de goteo de líquido en las paredes del canal provenientes de la montaña (paredes húmedas)	
0,5	Presencia de espuma en agua de canal	

0,586	Presencia de aliviadero, desarenador con compuerta (se encuentra en construcción). Su función es arrastrar el sedimento generado.	
0,77-0,84	El canal está cubierto por lozas, debido a que la zona es considerada como crítica por los derrumbes de la montaña y caída de piedras y hojas.	
0,87	Tramo peligroso para el tránsito de las personas debido al deslizamiento de la base del canal	

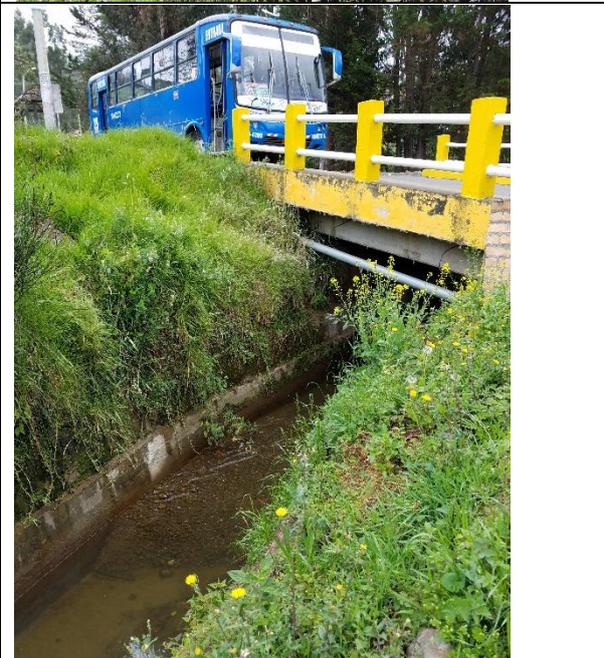
0,91	<p>Zona rocosa en la parte izquierda del canal. Se presume que en temporada de lluvias, el agua desliza por esta zona arrastrando el material y cayendo directamente al canal.</p>	
1	<p>Todo es montaña, no existe presencia de contaminación.</p>	

<p>1,15-1,3</p>	<p>Presencia de casas (población) y presencia de espuma.</p>	
<p>1,36-1,47</p>	<p>Hay las primeras captaciones de agua para ganado y cultivos de maíz. La zona es montañosa por lo tanto no hay mucha presencia de contaminación.</p>	
<p>1,53</p>	<p>Presencia de piedras de tamaño grande en el canal, el agua se ve un tanto sucia por arena y plantas. Existe la presencia de perros de las casas aledañas al canal. Se nota una gran sedimentación de arena al fondo del canal difícil de limpiar.</p>	

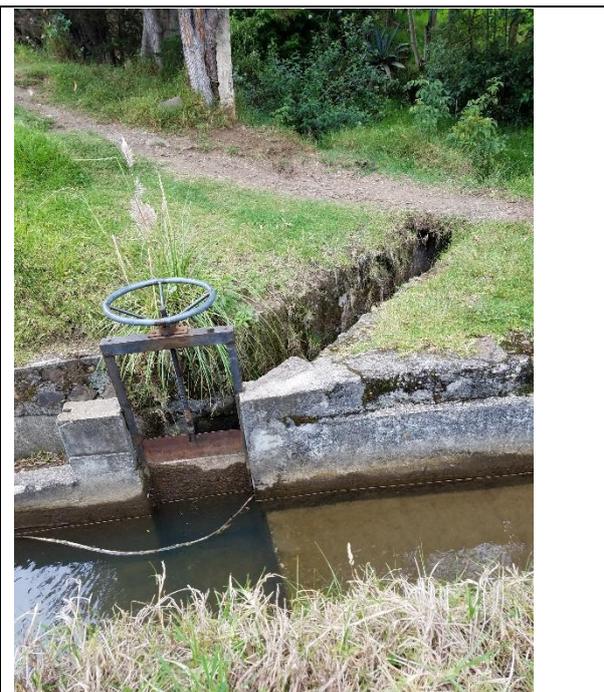


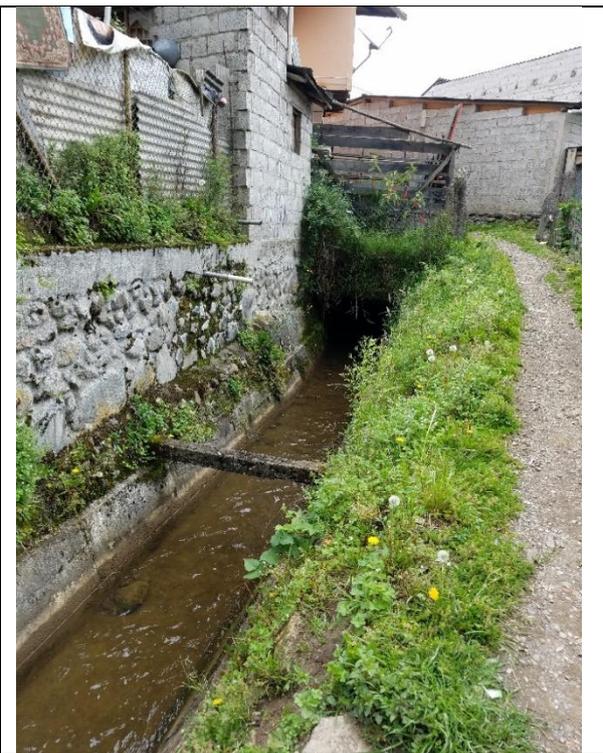
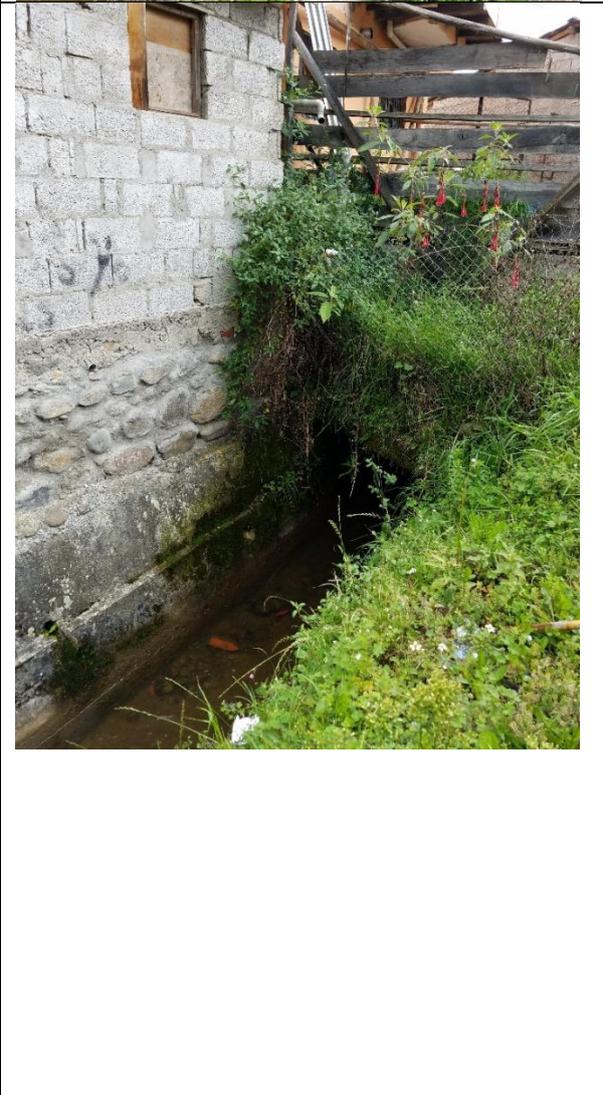
		
1,62	Presencia de compuerta para regular la cantidad de agua en el canal. En este punto existen alrededor de 475-450 L/s.	

<p>1,67- 1,7</p>	<p>Zona agrícola (maíz, haba, frejol y forrajes) y ganadera, presencia de casas y construcciones. Se observa bolsas de basura (fundas de plástico), arena al fondo del canal. Presencia de captaciones para los usuarios. Se llega a las afueras de checa. Al finalizar este tramo existe la presencia de un puente por donde pasa el agua del canal. Moradores de la zona comentan que en épocas de lluvias torrenciales el canal se desborda generando problemas a la comunidad.</p> <p>Se denota de igual forma que las captaciones de los usuarios en Checa no están asociados a la junta de Riego (aislamiento de la sociedad de Riego) por lo tanto en esta zona no se realiza mingas de limpieza y se encuentra basura luego de dicho puente.</p>	
<p>2</p>	<p>En este tramo se pueden observar casas aledañas al canal con mascotas acercándose a el agua de riego así como también sembríos, de igual forma se observa una mecánica la cual puede desechar residuos al canal. Presencia de piedras por esta zona.</p>	

		
2,048	<p>El agua luego de pasar por zonas agrícolas y por comunidades, llega a un puente por el cual transitan vehículos, buses, personas, etc. Se ve presencia de arena decantada, piedras y fundas de plástico, debido a la falta de limpieza y organización de la comunidad de Checa.</p>	

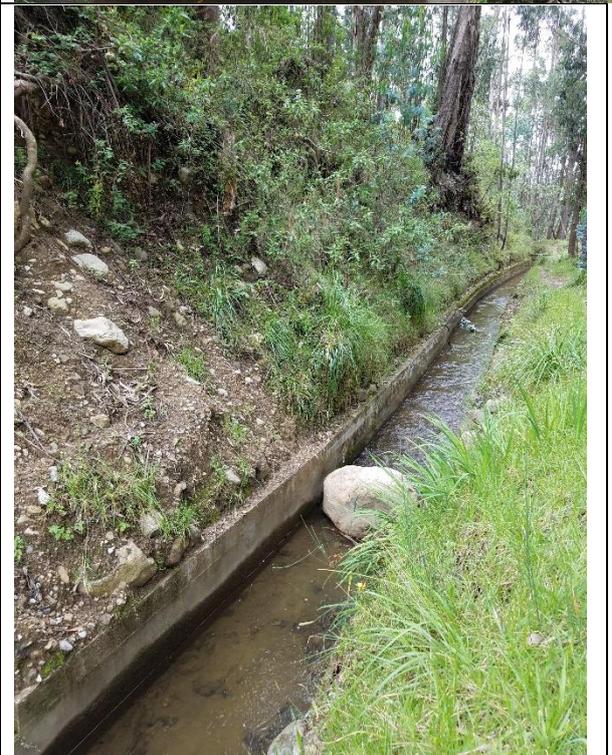


2,079	<p>Presencia de desarenador y aliviadero que desemboca en una quebrada. Se ve claramente una presencia de turbiedad muy leve (agua azulada) en el agua.</p>	
2,152 - 2,235	<p>Este tramo del canal presenta variedad de agricultura (principalmente maíz) y zona urbana. Se nota la presencia de varios puntos donde se cambia la humedad de las paredes del canal así como el color (negro con moho), lo que indica una presencia de goteos provenientes de tuberías de las casas aledañas al canal en su parte superior. Dichos caudales ligeros de agua que se unen a el agua de riego se cree que provienen de tubos que contienen agua de pozos sépticos de las casas que no se pueden identificar a simple vista, sin embargo contaminan el agua.</p>	

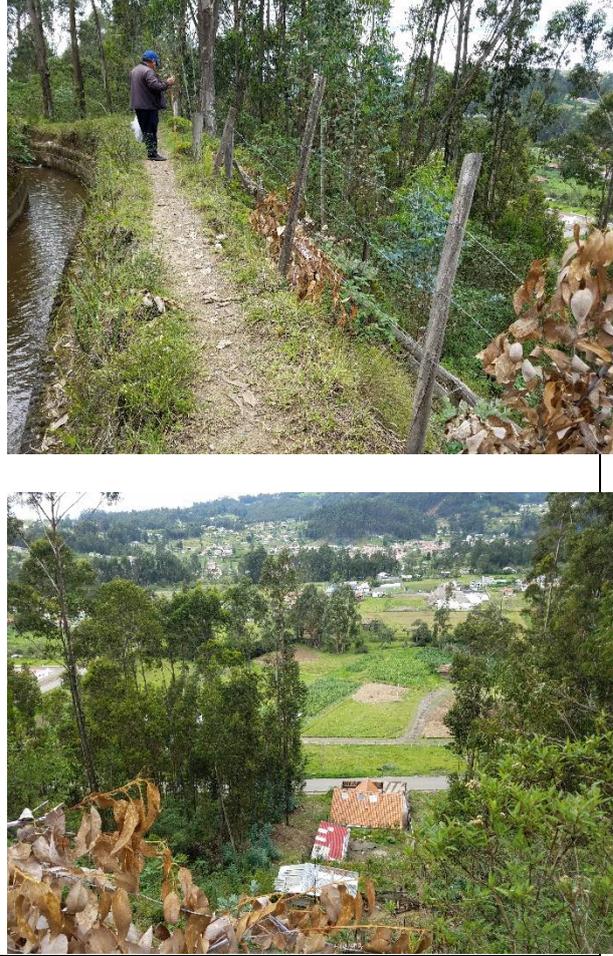
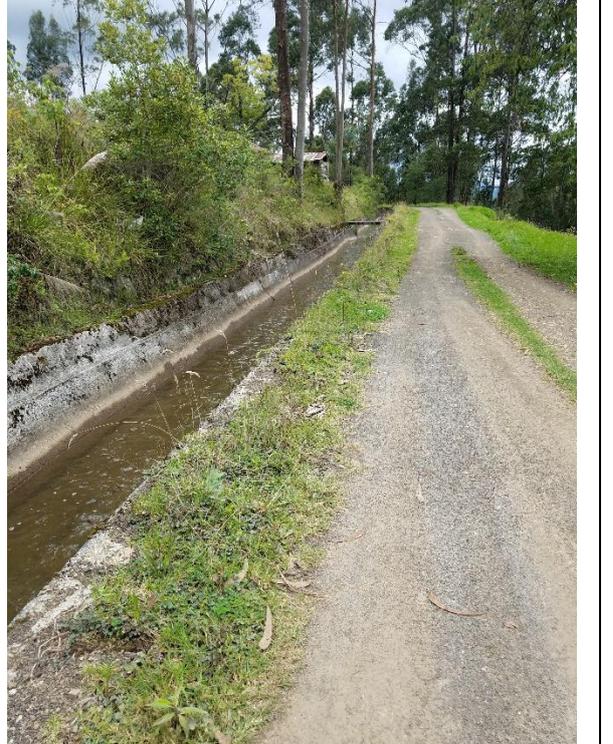
2,266	<p>Zona urbana, con gran presencia de población con casas y animales junto al canal de riego. Se evidencia claramente la salida de tubos de desecho que se dirigen al canal proveniente del interior de las casas, donde los moradores contaminan el agua. El agua se ve ligeramente turbia con presencia de piedras, arena decantada, fundas plásticas, desechos orgánicos, etc.</p>	
2,276 - 2,37	<p>El agua del canal, ingresa debajo de la población de checa mediante un túnel, el cual tiene acceso limitado cuando se requieren hacer la limpieza dentro del mismo. El personal encargado indica que cuando se realizan las mingas de limpieza es un tanto peligroso debido a los desechos que se encuentran al fondo del túnel y se necesitan linternas. Lo que se ha encontrado han sido plásticos, residuos orgánicos, animales muertos y un sin número de contaminantes.</p> <p>Se cree también que debido a que la velocidad del agua no genera una gran presión al pasar por este túnel, esta no puede arrastrar los residuos que estén posiblemente taponando la sección donde no hay acceso, lo que genera un arrastre de contaminantes hacia el agua, desconociendo el tiempo que estos se encuentren en este tramo oculto.</p>	

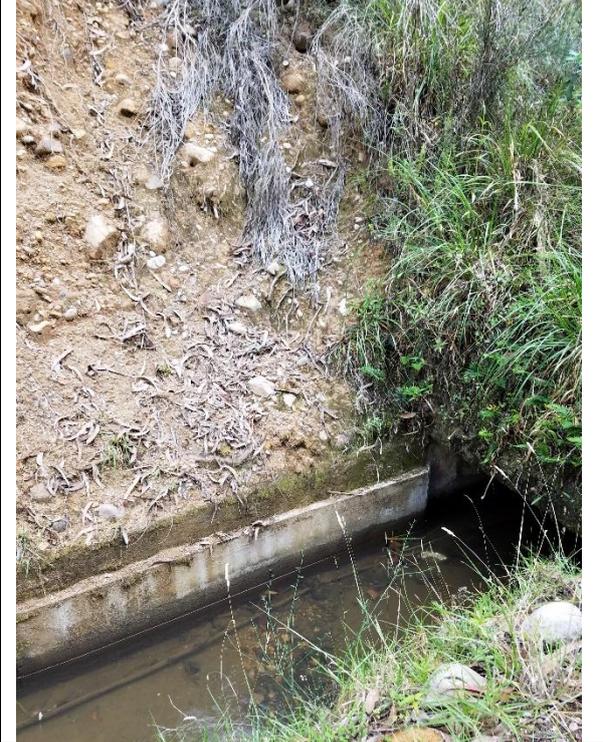
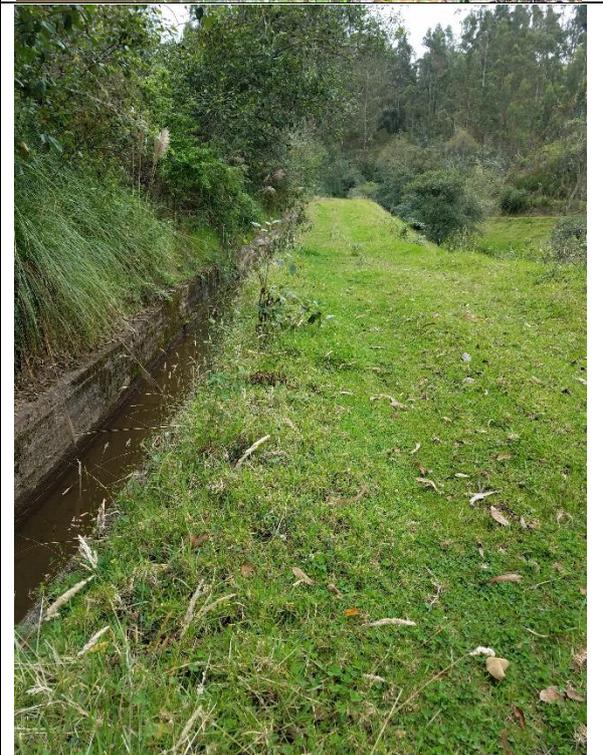


		
2,41-2,63	<p>Zona agrícola (siembra de maíz), presencia de ganado, cerdos y animales domésticos, existen de puentes de madera para acceso a las casas aledañas al canal. Este tramo presenta varias captaciones mediante tubos hacia la población de checa.</p>	

2,75	<p>Luego de que el agua de riego haya pasado por un pequeño bosque con poca presencia de agricultura y población, esta se dirige a un túnel que pasa por debajo de una vía. Se puede observar una considerable decantación de arena y presencia de piedras en el agua antes de entrar al túnel,</p>	
2,8- 2,94	<p>Tramo crítico en época de invierno, se producen varios derrumbes que taponan el canal. Esta zona presenta varias captaciones de los usuarios con mangueras para el ganado y maíz. Se observa claramente una piedra de tamaño grande, producto del deslizamiento de la montaña junto al canal. Debido a estos derrumbes, el canal se ensucia con plantas, arena, rocas, etc.</p>	

<p>2,97- 3,05</p>	<p>Se encontró un perro muerto en este tramo del canal, lo que indica la falta de concientización de los moradores al cuidar la calidad del agua del canal. La presencia de este animal, genera una acumulación de microorganismos patógenos, turbiedad, atrae otro tipo de animales, etc. aumentado la contaminación del canal.</p>	
<p>3,09</p>	<p>El agua del canal se dirige por debajo de un túnel pequeño de aproximadamente 4 metros de longitud. La limpieza de esta parte del canal no se la realiza con frecuencia, con lo cual es un punto clave de contaminación debajo dentro de dicho túnel.</p>	

<p>3,12-3,24</p>	<p>Existe la presencia de captaciones en este sector, debido a que el canal se ha construido al lado de una quebrada existente en la zona montañosa, con lo cual los moradores han aprovechado esta zona para captar el agua mediante varios conductos de tubería (tres principales que se dividen en 8 secundarios) de modo que se proceda al riego agrícola (papas, pasto, etc.) de la zona baja a la pendiente.</p>	
<p>3,33-3,83</p>	<p>El canal se dirige hacia una zona altamente agrícola (siembra de maíz y pasto principalmente), ganadera y con alta densidad poblacional debido a que el canal de riego se encuentra junto a una carretera.</p>	

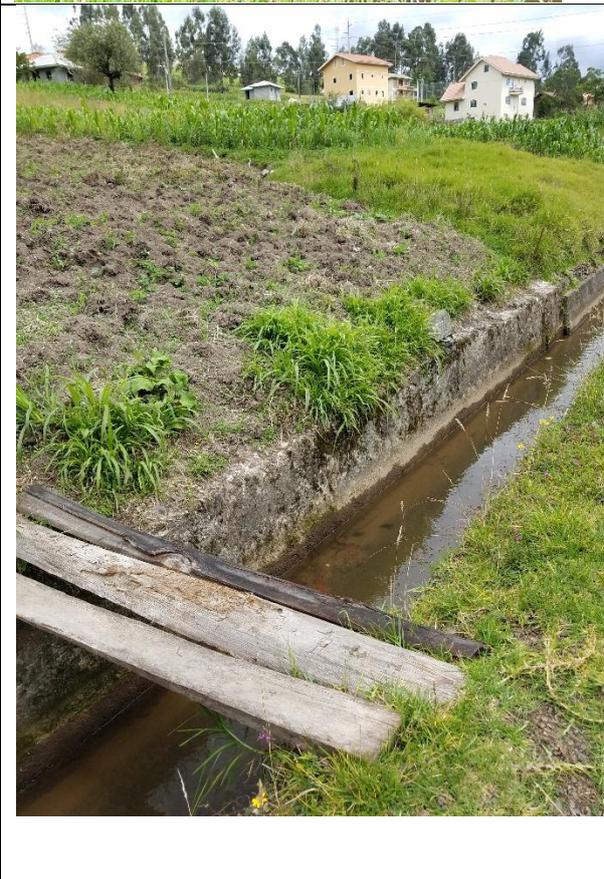
<p>4,01- 4,05</p>	<p>Zona de deslizamiento de rocas y residuos de plantas y árboles. Continuo a esto el agua ingresa por un túnel de aproximadamente 4 metros de longitud. Este tramo del canal de riego es crítico en temporada de lluvia, debido a que al existir una ladera sobre el canal se producen derrumbes taponando el sistema de riego al mismo tiempo que lo contamina mediante el arrastre de áridos hacia el agua. Cabe recalcar que el canal se encuentra junto a la vía.</p>	
<p>4,61- 4,75</p>	<p>El canal de riego entra a una zona montañosa inhabitada, sin embargo existen sembríos de papa y cebada. En este punto debido a la inexistencia de moradores, no se procede a la limpieza del canal mediante las mingas.</p>	

4,91- 5,16- 5,2	<p>Luego de que el canal de riego pase por un pequeño puente, este continúa por un bosque (zona inhabitada, kilómetro 4,91). El sector en este punto se denota como Paluncay (pequeña población y zona agrícola con animales de granja y domésticos), donde existe la presencia de un puente llamado “Puente Paluncay”, de color amarillo, diseñado específicamente para que el agua de riego pase de Paluncay hacia la parroquia de Sidcay, dividiendo de igual forma estos dos sectores.</p>	
5,26- 5,33	<p>El agua al salir del puente antes mencionado se dirige hacia un bosque de gran superficie, a la entrada del mismo se observa el agua de color verdoso hasta llegar a un desarenador. En este punto (kilómetro 5,33) se procedió a desarenar el canal de riego, observándose gran cantidad de arena en el fondo, producto del arrastre de la misma a lo largo del canal hasta este sector.</p>	

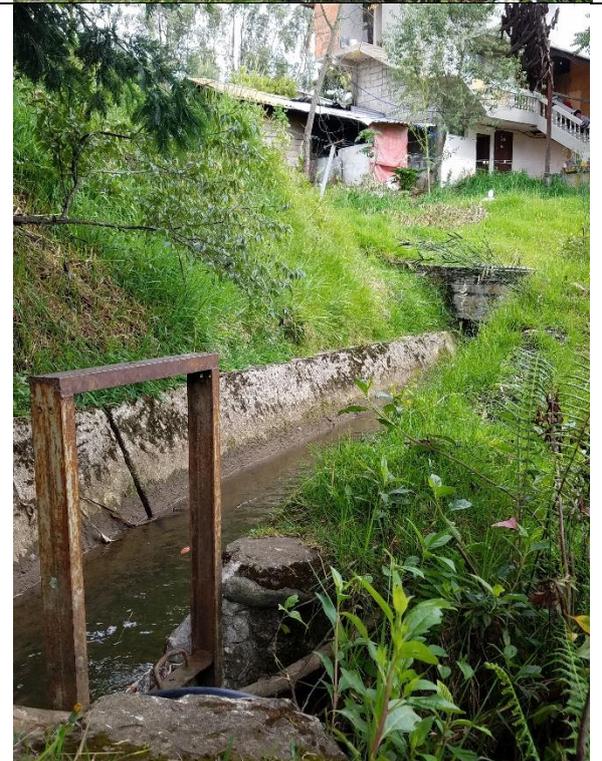
5,55-5,78	<p>Zona de deslizamiento de un material rojizo, el canal se llena de lodo. Debido a este fenómeno de derrumbes, se ha cerrado la parte superior con losetas (10 metros aproximadamente) para evitar que el material entre en contacto con el agua, sin embargo este sigue cayendo y contaminando el sistema volviendo el agua turbia debido al arrastre de sólidos. En este tramo existen pocas captaciones.</p>	
6,04	<p>El agua vuelve a entrar a una zona cubierta por losetas, en este punto debido a la gran presencia de derrumbes en la zona, dichas losetas se han tapado totalmente de un material rojizo, impidiendo realizar la limpieza del canal. Este es un punto crítico de contaminación a lo largo del canal. Al salir de este punto se puede observar claramente en el agua la decantación y arrastre de este material rojizo al fondo del canal, el problema está en que al ser una zona no poblada, no se realiza ningún tipo de limpieza, incrementando la probabilidad de contaminación del agua.</p>	

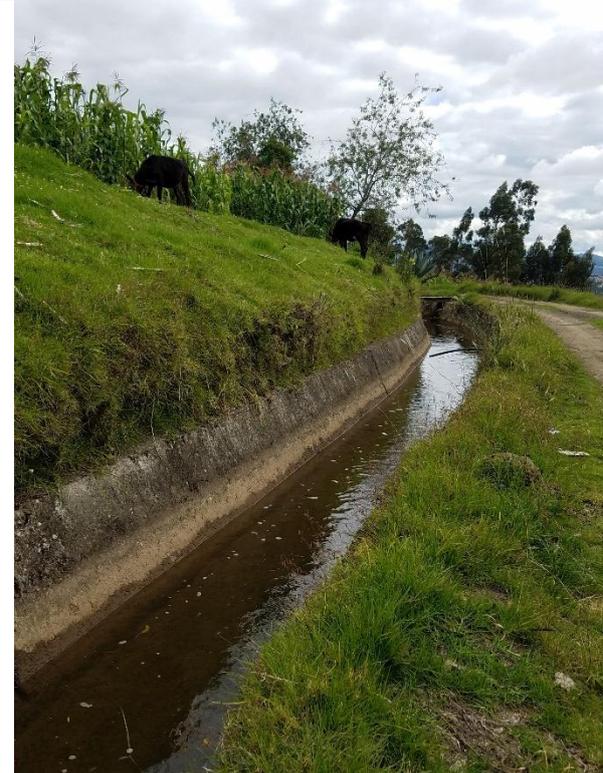


<p>6,1- 6,4</p>	<p>El canal sigue avanzando por el bosque hasta llegar a un punto donde existe un aliviadero (compuerta para desembocar desechos presentes en esta zona) que desemboca el agua a un río junto al canal. La basura acumulada en este punto contamina el río donde desemboca al momento que se abre la compuerta del canal.</p>	
<p>7,12</p>	<p>Empieza nuevamente la población a más de esto la presencia de animales domésticos y de granja como también la zona agrícola. En esta zona se pueden observar casas que presentan tubos que desembocan en el canal.</p>	

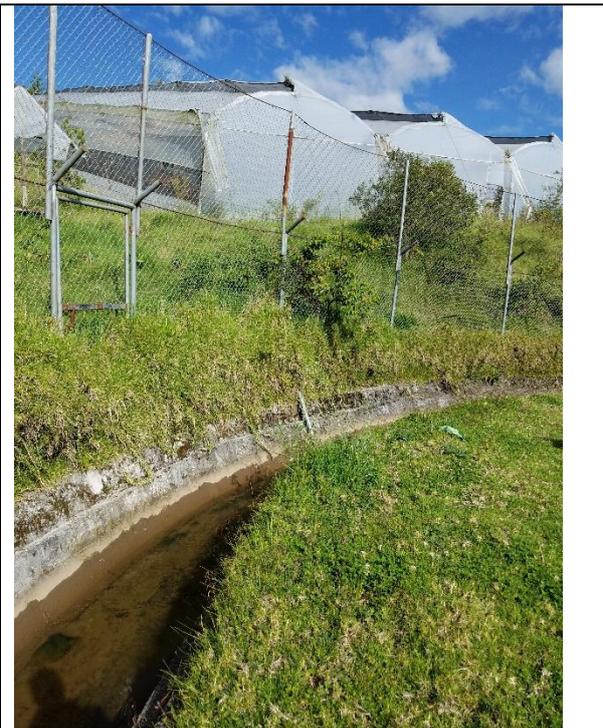
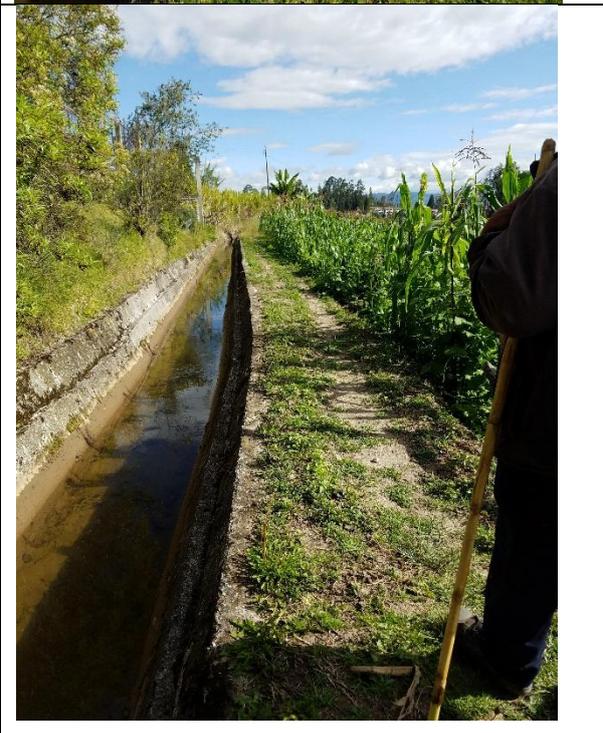
		
7,14-7,23	<p>Este punto se denomina San Antonio, debido a que el sector está altamente poblado, se puede observar con claridad los sembríos junto al canal de riego, por lo tanto, es una zona llena de captaciones de agua para que los moradores puedan realizar la siembra de sus cultivos. Esto genera un problema, debido a que los agricultores adhieren abono orgánico a sus sembríos, lo cual en una temporada de lluvia, se produce el arrastre de ciertos componentes del abono hacia el agua, generando un problema de contaminación. Además se ha denotado en esta zona la presencia de basura, por ende la falta de concientización de la población, al tener el canal junto a sus hogares.</p>	

<p>8,44- 8,46</p>	<p>Presencia de una vía de tránsito que divide San Antonio de la nueva zona denominada Gran Poder, este sector se caracteriza por ser un punto estratégico de muestreo, debido a que termina la zona urbana, agrícola y ganadera, empezando una pequeña zona montañosa.</p>	
<p>8,49- 8,82</p>	<p>Este punto presenta un tanque de reserva que abastece de agua de riego a la zona de San Antonio, además el sistema presenta varias captaciones. El sector se encuentra entre la vía principal y zona agrícola - ganadera, lo que produce un aumento de contaminación por ambas partes de modo que se ve la presencia de basura sobrenadando el agua de riego.</p>	

9,26	<p>En este kilómetro se encuentra una compuerta que sirve como desarenador, se observa claramente en la imagen la presencia de una vertiente proveniente de la zona superior del canal, que arrastra un pequeño caudal de agua que se une con el sistema de riego.</p>	
10,05 - 10,16	<p>El aspecto del agua en este punto, es limpio sin presencia de arena ni basura flotante. El canal pasa por un pequeño puente llegando a una compuerta, la cual ha sido diseñada para limpiar esta zona en el caso de haber presencia de sobrenadantes, sin embargo no existe la presencia de un desarenador en el caso de que se necesite. El canal se encuentra entre una zona urbana mayormente poblada (parte superior del canal) y la zona agrícola y ganadera (parte inferior), se recalca que el canal continúa junto a la vía.</p>	

10,31	<p>Empieza el sector denominado Sidcay, que se caracteriza por presentar grandes cultivos de maíz, arvejas, habas, etc. (zona muy productora), lo que incrementa el uso de fertilizantes y abono orgánico. De igual forma los moradores presentan gran cantidad de animales de granja, vacas en su mayoría. Se observa presencia de basura en el fondo del canal de riego.</p>	
10,36	<p>Este kilómetro presenta un aliviadero, que demarca la frontera entre Sidcay-Ricaurte. Se observa claramente la presencia de basura y arena en el fondo del canal.</p>	

10,45 - 10,81	<p>Luego de que se haya controlado el caudal del agua, el canal entra nuevamente a una zona con alta densidad poblacional, agrícola y ganadera (vacas, ovejas y gallinas principalmente), así como de animales domésticos. Este sector se caracteriza por la presencia de viveros junto al canal con alto número de captaciones por parte de los usuarios. El actual punto se denomina San Jacinto.</p> <p>Se observa en la imagen que las casas presentan tubos que salen desde las mismas, volviendo al canal turbio, afectando la calidad del agua.</p>	
11,11	<p>Zona crítica del sistema de riego, punto de contaminación alto. En este punto se observa una rejilla con una compuerta que sirve como desarenador y desfogue del exceso de agua y residuos que se encuentren.</p> <p>Llegan todo tipo de residuos que se acumulan tales como: grasas, jabón, botellas plásticas, residuos orgánicos (cascaras de frutas) y se mira la presencia de moscos y un olor desagradable.</p>	

<p>11,2- 11,25</p>	<p>Esta zona se caracteriza por la presencia de invernaderos que bombean el agua del canal para sus productos, tales como: frutilla y tomate. Este es un punto estratégico debido a la alta demanda de agua de riego en el sector debido a que el agua no se dirige solamente a los viveros sino a los terrenos en la parte baja del canal donde se cultiva maíz, alfalfa, etc., así como también los animales de granja que consumen el agua (vacas y ovejas principalmente). Se observa gran cantidad de sedimento al fondo del canal.</p>	
<p>11,33</p>	<p>En este kilómetro existe una escuela en la parte superior al canal, la misma que presenta vertientes de aguas residuales hacia el canal, afectando a la calidad de agua de la zona. Este punto de igual forma que el anterior se caracteriza por presentar grandes cultivos de maíz, haba, entre otros. Se denota también la alta cantidad de abono orgánico y animales de granja (especialmente ovejas y vacas) junto al canal de riego. Se ha informado que este sector presenta un fallo geológico en el kilómetro 11,43 el cual ha sido reconstruido varias veces.</p>	



11,53	<p>Luego de que el canal haya pasado por esta zona llena de captaciones para abastecer de agua a las grandes plantaciones, este se divide dando origen al primer canal secundario el cual mediante una compuerta se dirige a una zona de Ricaurte, la Merced desembocando en el cuartel Dávalos.</p>	
11,56	<p>Termina el canal principal, el cual presenta una compuerta que divide al ramal principal de los secundarios. Esta zona es crítica debido a que existe la presencia de basura en gran cantidad, así como también lodo y arena decantada en el fondo.</p>	



ANEXO 3. TABLA DE MÉTODO MICROBIOLÓGICO (NMP)

NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE BACTERIAS, SEMBRANDO TRES TUBOS POR CADA DILUCIÓN

No. de tubos Positivos en cada dilución			NMP/g ó ml	Límites de confianza			
Diluciones 10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³		Infer. 99%	Super.	Infer. 95%	Super.
0	1	0	3	<1	23	<1	17
1	0	0	4	<1	28	1	21
1	0	1	7	1	35	2	27
1	1	0	7	1	36	2	28
1	2	0	11	2	44	4	35
2	0	0	9	1	50	2	38
2	0	1	14	3	62	5	48
2	1	0	15	3	65	5	50
2	1	1	20	5	77	8	61
2	2	0	21	5	80	8	63
3	0	0	23	4	177	7	129
3	0	1	40	10	230	10	180
3	1	0	40	10	290	20	210
3	1	1	70	20	370	20	280
3	2	0	90	20	520	30	390
3	2	1	150	30	660	50	510
3	2	2	210	50	820	80	640
3	3	0	200	<100	1900	100	1400
3	3	1	500	100	3200	200	2400
3	3	2	1100	200	6400	300	4800

Fuente: Gaviria, Blanca C., Manual de Prácticas de Microbiología de Alimentos, 1997, Bogotá, Colombia, Carrera de Bacteriología PUJ.



ANEXO 4. CLASIFICACIÓN DE INDICES DE CALIDAD SEGÚN PESOS

País	Estados Unidos		Unión Europea	Colombia	
Índice	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987	UWQI 2007	ICA Rojas 1991	ICAUCA 2004
Parámetro					
OD	0.17	0.109	0.114	0.25	0.21
pH	0.11	0.077	0.029	0.17	0.08
DBO	0.11	0.097	0.057	0.15	0.15
Nitratos	0.10	0.09	0.086		
Coliformes Fecales	0.16	0.116		0.21	0.16
Temperatura	0.10	0.077			
Turbiedad	0.08			0.11	0.07
Sólidos Disueltos Totales	0.07			0.11	0.07
Fósforo Total			0.057		0.08
Cadmio			0.086		
Mercurio			0.086		
Conductividad		0.079			
Sólidos Suspendidos					0.05
Color		0.063			0.05
Nitrógeno Total					0.08
Cloruros		0.074			
Arsénico			0.113		
Fluoruro			0.086		
Coliformes Totales		0.09	0.114		
DQO					
Alcalinidad		0.063			
Dureza		0.065			
Fosfatos	0.10				
Cianuro			0.086		
Selenio			0.086		

Ilustración 48 Clasificación de los Índices de Calidad y la asignación de sus pesos relativos (Torres et al., 2009).

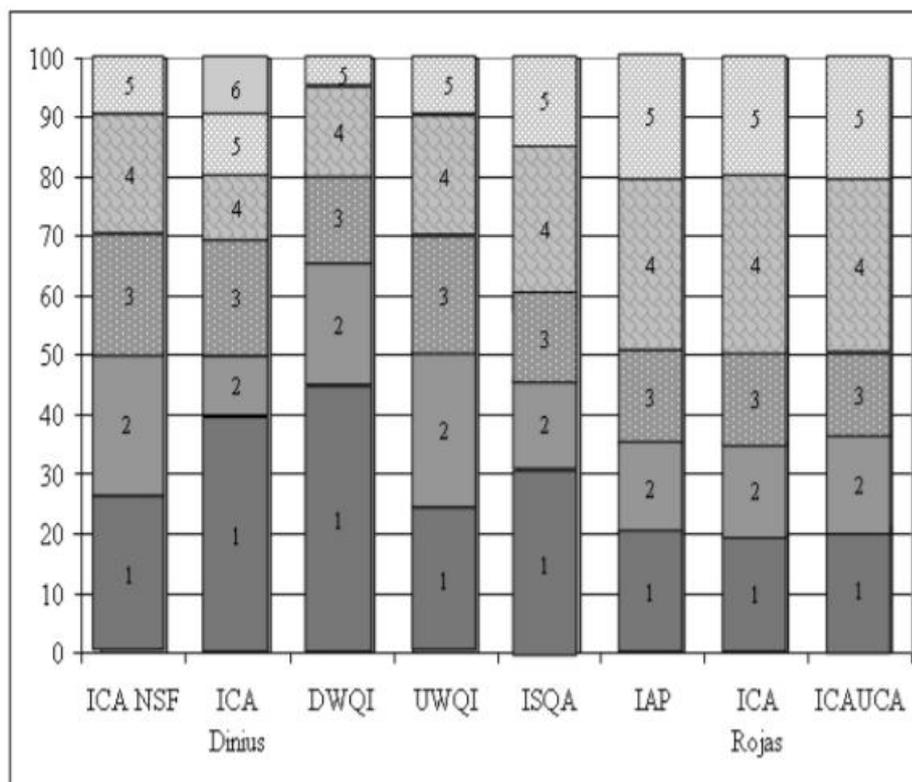


Ilustración 49 Rangos de clasificación de los ICA (Torres et al., 2009).

Código	ICA							
	ICA NSF	ICA Dinius	DWQI	UWQI	ISQA	IAP	ICA Rojas	ICAUCA
1	Muy Mala Calidad	Inaceptable su consumo	Pobre	Pobre	No puede usarse	Pésima	Muy Mala	Pésima
2	Mala Calidad	Dudoso para consumo	Marginal	Marginal	Recreación y Refrigeración	Mala	Inadecuada	Inadecuada
3	Mediana Calidad	Tto potabilización necesario	Regular	Regular	Consumo humano con tratamiento especial, Riego, Industrial	Regular	Aceptable	Aceptable
4	Buena Calidad	Dudoso consumo sin Tto	Buena	Buena	Consumo humano con tratamientos convencionales	Buena	Buena	Buena
5	Excelente Calidad	Tto menor requerido	Excelente	Excelente	Todos los usos	Optima	Optima	Optima
6	-	No requiere Tto para consumo	-	-	-	-	-	-

Ilustración 50 Clasificación de los ICA por la representación de los resultados (Torres et al., 2009).

ANEXO 5. VALORES DE Q PARA EL CÁLCULO DE ICA-NSF

Coliformes fecales/mL	Log ₁₀ CF	Q	DBO-5 (mg/L)	Q	Oxígeno Disuelto	Q



							(% sat)	
1	0	99		0	100		0	2
2	0.30103	91		1	95		5	5
3	0.477121	86		2	80		10	7
4	0.60206	82		3	67		15	10
5	0.69897	80		4	61		20	12
6	0.778151	78		5	56		25	15
7	0.845098	76		6	51		30	19
8	0.90309	74		7	46		35	23
9	0.954243	73		8	42		40	30
10	1	72		9	38		45	37
20	1.30103	63		10	34		50	44
30	1.477121	58		11	30		55	51
40	1.60206	55		12	28		60	57
50	1.69897	52		13	25		65	66
60	1.778151	50		14	23		70	75
70	1.845098	48		15	20		75	81
80	1.90309	47		16	18		80	87
90	1.954243	45		17	16		85	91
100	2	44		18	14		90	95
200	2.30103	37		19	13		95	98
300	2.477121	34		20	12		100	99
400	2.60206	31		21	11		105	98
500	2.69897	29		22	10		110	96
600	2.778151	27		23	9		115	93
700	2.845098	25		24	8		120	90
800	2.90309	24		25	7		125	87
900	2.954243	23		26	7		130	84
1000	3	22		27	6		135	81
2000	3.30103	18		28	6		140	78
3000	3.477121	16		29	5		>140	50
4000	3.60206	15		30	5			
5000	3.69897	14		>30	2			
6000	3.778151	13						
7000	3.845098	12						
8000	3.90309	11						
9000	3.954243	11						
10000	4	10						
20000	4.30103	8						
30000	4.477121	7						
40000	4.60206	6						
50000	4.69897	6						
60000	4.778151	5						
70000	4.845098	5						
80000	4.90309	5						
90000	4.954243	4						
100000	5	4						
>100000		2						

Tabla 35 Valores Q para coliformes fecales, DBO5 y Oxígeno Disuelto (Thukral et al., 2005).



pH	Q		Variación de Temperatura (C)	Q		Turbiedad (NTU)	Q
<2	0		-10	55		0	95
2	2		-9	59		5	86
2.2	2		-8	63		10	76
2.4	3		-7	66		15	67
2.6	3		-6	70		20	61
2.8	4		-5	74		25	57
3	4		-4	78		30	53
3.2	5		-3	82		35	49
3.4	6		-2	85		40	45
3.6	7		-1	89		45	42
3.8	8		0	93		50	39
4	9		1	89		55	36
4.2	11		2	85		60	33
4.4	14		3	81		65	31
4.6	17		4	77		70	29
4.8	20		5	73		75	27
5	27		6	67		80	25
5.2	33		7	61		85	24
5.4	38		8	56		90	22
5.6	44		9	50		95	20
5.8	49		10	45		100	17
6	55		11	40		>100	5
6.2	60		12	36			
6.4	68		13	34			
6.6	75		14	33			
6.8	83		15	31			
7	88		16	29			
7.2	92		17	27			
7.4	92		18	26			
7.6	92		19	24			
7.8	90		20	22			
8	84		21	20			
8.2	77		22	19			
8.4	70		23	18			
8.6	63		24	17			
8.8	56		25	16			
9	49		26	14			
9.2	42		27	13			
9.4	36		28	12			
9.6	29		29	11			
9.8	24		30	10			
10	20						
10.2	17						



10.4	14						
10.6	12						
10.8	10						
11	8						
11.2	7						
11.4	6						
11.6	5						
11.8	4						
12	3						
>12	0						

Tabla 36 Valores Q para: pH, variación de temperatura y turbiedad (Thukral et al., 2005).

Solidos totales disueltos (mg/L)	Q		Fosfatos (mg/L)	Q		Nitratos (mg/L)	Q
0	79		0	100		0	97
10	82		0.1	96		1	96
20	84		0.2	92		2	95
30	85		0.3	81		3	90
40	86		0.4	71		4	70
50	87		0.5	60		5	65
60	87		0.6	55		6	60
70	86		0.7	50		7	58
80	85		0.8	47		8	56
90	84		0.9	43		9	53
100	83		1	40		10	51
110	83		1.2	36		12	48
120	82		1.4	33		14	45
130	81		1.6	30		16	42
140	80		1.8	29		18	39
150	79		2	27		20	37
160	78		2.2	26		22	35
170	76		2.4	25		24	33
180	75		2.6	24		26	31
190	74		2.8	22		28	29
200	73		3	21		30	27
210	71		3.2	20		32	25
220	70		3.4	19		34	23
230	69		3.6	19		36	21
240	67		3.8	18		38	19
250	66		4	17		40	18
260	65		4.2	16		42	16
270	63		4.4	15		44	15
280	62		4.6	15		46	13
290	61		4.8	14		48	12
300	60		5	13		50	10
310	58		5.2	12		52	9



320	57		5.4	12		54	8
330	56		5.6	11		56	8
340	54		5.8	11		58	7
350	53		6	10		60	7
360	52		6.2	10		62	6
370	50		6.4	9		64	6
380	49		6.6	9		66	6
390	48		6.8	8		68	5
400	47		7	8		70	5
410	45		7.2	8		80	4
420	44		7.4	8		90	3
430	43		7.6	7		100	3
440	41		7.8	7		>100	1
450	40		8	7			
460	38		9	7			
470	36		10	7			
480	35		>10	2			
490	33						
500	31						
>500	20						

Tabla 37 Valores Q para: Sólidos totales disueltos, fosfatos y nitratos (Thukral et al., 2005).



ANEXO 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

MUESTRA 1	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	152,5	94,6	6,1	8,05	0,2	0,002	6	0,13	0,08	0,01	35,625	52,5	7	17,5	6400	149
2	155,9	93,7	4,7	8,26	0,2	0,001	5	0,13	0,03	0,03	38	50	6,23	20	3200	4800
3	162,6	93,6	2,9	8,43	0,3	0,002	6	0,12	0,29	0,07	42,75	47,5	5	17,5	1900	440
4	164,4	93,7	2,3	8,44	0,2	0,001	7	0,09	0	0,04	45,125	50	5,17	17,5	3200	4800
5	170,1	95,3	1,6	8,33	0,4	0,001	5	0,1	0,34	0,02	42,75	45	5	20	4800	4800

Tabla 38 RESULTADOS DE MUESTREO 1

MUESTRA 2	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	89,8	57,5	2,2	8,009	0	0	1	0,07	0,04	0,03	35,625	47,5	7	37,5	290	28
2	89,2	56,8	1,6	8,08	0,3	0,004	2	0,12	0,06	0	40,375	42,5	8	40	370	36
3	87,7	54,4	1,8	8,13	0	0	1	0,11	0,03	0,02	33,25	45	10	40	50	6400
4	85,7	52,9	1,7	8,11	0	0	0	0,03	0,07	0,03	33,25	45	9	42,5	370	660
5	85,4	51,2	1,1	8,05	0,2	0,002	2	0,12	0,02	0	33,25	47,5	12	50	6400	6400

Tabla 39 RESULTADOS DE MUESTREO 2



MUESTRA A 3	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	101,4	63	3,2	7,551	0,4	0,002	4	0,12	0,09	0,05	38	37,5	3,76	20	65	50
2	92,5	56,5	2,5	7,627	0,3	0,005	2	0,11	0,08	0,04	35,625	32,5	4,27	17,5	820	77
3	105,8	64,7	2,5	7,833	0,7	0,002	3	0,15	0,11	0,09	33,25	32,5	6,17	22	3200	80
4	107,3	64,9	2,5	7,871	0,2	0,002	3	0,12	0,04	0,03	40,375	37,5	5,28	22	820	177
5	110,5	65,9	2,6	7,806	0	0	1	0,005	0	0	38	35	5,52	22,5	6400	177

Tabla 40 RESULTADOS DE MUESTREO 3

MUESTRA A 4	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	97	60,8	3,2	7,58	0	0	2	0,05	0,02	0	33,25	45	9,45	25	50	36
2	97,2	60,8	2,8	7,655	0,1	0	2	0,09	0,03	0,03	38	55	9,99	40	660	77
3	96,2	59,4	2,8	7,805	0	0	1	0,11	0,05	0	33,25	40	4,46	35	177	65
4	96,1	58,9	2,8	7,874	0	0	2	0,12	0,01	0	28,5	60	4,99	25	1900	660
5	96,9	58,5	2,8	7,82	0,2	0,002	2	0,06	0,03	0	28,5	52,5	4,44	35	6400	77

Tabla 41 RESULTADOS DE MUESTREO 4

MUESTRA 5	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	127,2	80,3	4,8	7,614	0,4	0,003	5	0,18	0,02	0,05	40,375	52,5	6,62	30	28	28
2	131,7	80,6	3,4	7,68	0,1	0,006	4	0,14	0,02	0,15	45,125	50	7,24	25	36	36



3	132,7	79,8	2,3	7,851	0	0	4	0,08	0	0,03	45,125	57,5	8,4	25	28	28
4	133,7	79,8	3,1	7,853	0	0	1	0	0	0	45,125	55	7,97	25	290	290
5	144,1	83,9	1,5	7,94	0,1	0	5	0,1	0	0,02	47,5	57,5	9,28	35	6400	6400

Tabla 42 RESULTADOS DE MUESTREO 5

MUESTRA A 6	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	111	69	4,9	7,51	0,4	0	3	0,09	0,07	0	42,75	62,5	4,15	25	28	0
2	111,5	69,3	4,7	7,57	0,8	0,002	3	0,14	0,01	0	47,5	50	4,42	27,5	28	23
3	114,8	69	4,4	7,7	0	0,001	5	0,06	0,15	0	45,125	50	6,01	27,5	660	6400
4	114,5	67,9	4,3	7,82	0	0	3	0,14	0	0	45,125	57,5	6,22	32,5	370	6400
5	118,6	69,6	4,4	7,65	0,1	0	2	0,1	0	0	45,125	40	7,2	35	6400	6400

Tabla 43 RESULTADOS DE MUESTREO 6

MUESTRA A 7	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	80	49,4	6,4	7,506	0	0,003	2	0,17	0,03	0,15	42,75	45	9	40	177	23
2	82	50,2	5,9	7,601	0,8	0,002	0	0,11	0,01	0	38	40	9	45	370	520
3	80,9	49,2	5,8	7,62	1,1	0,001	6	0,15	0,03	0,07	38	35	25	100	820	6400
4	83,5	49,8	6,4	7,62	2,6	0,003	3	0,13	0,05	0,07	33,25	40	25	110	3200	28
5	87,3	50,6	5,1	7,633	2,1	0,016	2	0,14	0,03	0,04	23,75	32,5	28	120	660	6400

Tabla 44 RESULTADOS DE MUESTREO 7



MUESTRA A 8	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	98,5	61,6	5,9	7,582	0,9	0,004	3	0,09	0,02	0,11	33,25	40	2,39	17,5	36	28
2	97,6	60,3	5,4	7,882	0,1	0	1	0,05	0,01	0,09	23,75	35	2,55	17,5	660	0
3	97,5	60	5,4	7,93	0,1	0,001	1	0,01	0,02	0,02	19	45	2,66	15	290	660
4	98,2	59,9	5,4	7,94	0	0,01	2	0,15	0,02	0	16,625	35	2,6	17,5	290	290
5	102,8	61,8	4,8	7,89	2,7	0,011	1	0,08	0,11	0	28,5	45	2,94	20	6400	6400

Tabla 45 RESULTADOS DE MUESTREO 8

MUESTRA A 9	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	106,6	66	5,3	7,68	1	0	2	0,02	0,08	0	42,75	45	1,71	12,5	0	0
2	108,4	65,4	4,1	8,01	0	0	1	0,02	0,03	0,08	33,25	35	1,67	15	40	36
3	109,7	65,5	4	8,67	0,1	0,007	3	0,05	0,03	0	42,75	40	1,77	15	40	660
4	111,2	65,9	3,7	8,05	0	0,005	2	0,07	0	0	47,5	30	1,95	17,5	390	6400
5	115,7	67,8	3,6	7,92	0	0,008	0	0,02	0	0,02	52,25	40	2,04	17,5	6400	6400

Tabla 46 RESULTADOS DE MUESTREO 9

MUESTRA A 10	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	79,2	49,1	5,5	7,62	0,2	0,003	1	0,18	0,17	0,03	42,75	50	17,1	25	290	0



2	79,6	49,3	5,6	7,66	0	0	1	0,05	0	0	38	45	21,4	25	6400	0
3	79	48	5,1	7,72	0	0	0	0,04	0	0	40,375	45	28,9	35	1900	0
4	78,9	47,8	5,2	7,72	1,3	0	1	0	0	0	35,625	55	26,3	35	520	23
5	82,2	48,7	4,5	7,75	0,1	0,004	0	0,05	0	0,1	40,375	37,5	26,7	37,5	3200	36

Tabla 47 RESULTADOS DE MUESTREO 10

MUESTRA 11	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	99,3	63,4	5,6	7,72	0,5	0,001	2	0,07	0,05	0,02	21,375	45	2,3	15	28	28
2	102,6	64,6	5,2	7,89	0,6	0,004	1	0,08	0,05	0,07	28,5	47,5	1,78	15	77	65
3	101	63,2	4,4	7,95	0,2	0,001	2	0,06	0,01	0,03	30,875	40	1,84	15	177	0
4	99,5	61,5	4,4	7,972	0,7	0	0	0,06	0,07	0,02	49,875	42,5	1,6	17,5	77	44
5	104,9	63,8	4,2	7,932	0,6	0	2	0	0,03	0,03	52,25	55	1,7	20	290	660

Tabla 48 RESULTADOS DE MUESTREO 11

MUESTRA 12	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	STD (mg/L)	T °C	pH	Nitratos (NO3-mg/L)	Nitritos (NO2-mg/L)	Sulfatos (SO4 2-mg/L)	Hierro (Fe mg/L)	Fosfatos (PO4 3-mg/L)	Cobre (Cu mg/L)	Alcalinidad mg CaCO3/L	Dureza mgCaCO3/L	Turbidez (NTU)	Color Unidades Hansen	COLIFORMES TOTALES NMP/ml	COLIFORMES FECALES (NMP/ml)
1	116,4	73,1	4,2	7,771	0,3	0,001	4	0,05	0,04	0	23,75	35	2,73	15	177	36
2	114,4	70,8	3,8	7,893	0,4	0,003	4	0,06	0,06	0	26,125	40	2,77	15	290	50
3	115,1	70,2	3,5	7,978	0,5	0,004	5	0,08	0,11	0,04	28,5	40	3,25	15	290	0
4	116	70	3,1	7,978	0,4	0	3	0,04	0,03	0	33,25	35	2,13	12,5	520	35
5	122,6	72	2,4	7,742	0	0	3	0,02	0,15	0,01	52,25	55	4,41	20	3200	6400

Tabla 49 RESULTADOS DE MUESTREO 12



ANEXO 7. TABLAS DE VALORES MÁXIMOS POR PARÁMETRO EN CADA MUESTREO

NUMERO DE MUESTREO	VALOR MAXIMO DE COBRE (mgCu/L)	VALOR MÁXIMO DE HIERRO (mgFe/L)	VALOR MÁXIMO DE COLIFORMES TOTALES (NMP/mL)
MUESTREO 1	0,07	0,13	6400
MUESTREO 2	0,03	0,12	6400
MUESTREO 3	0,09	0,15	6400
MUESTREO 4	0,03	0,12	6400
MUESTREO 5	0,15	0,18	6400
MUESTREO 6	0	0,14	6400
MUESTREO 7	0,15	0,17	3200
MUESTREO 8	0,11	0,15	6400
MUESTREO 9	0,08	0,07	6400
MUESTREO 10	0,1	0,18	6400
MUESTREO 11	0,07	0,08	290
MUESTREO 12	0,04	0,08	3200
MAXIMO	0,15	0,18	6400
MINIMO	0	0,07	290
MODA	0,07	0,12	6400

Tabla 50 Resultados estadísticos de valores máximos, mínimos y modas de ciertos parámetros

Graficas de variación de Cobre, Hierro y Coliformes Totales

MUESTREO 1

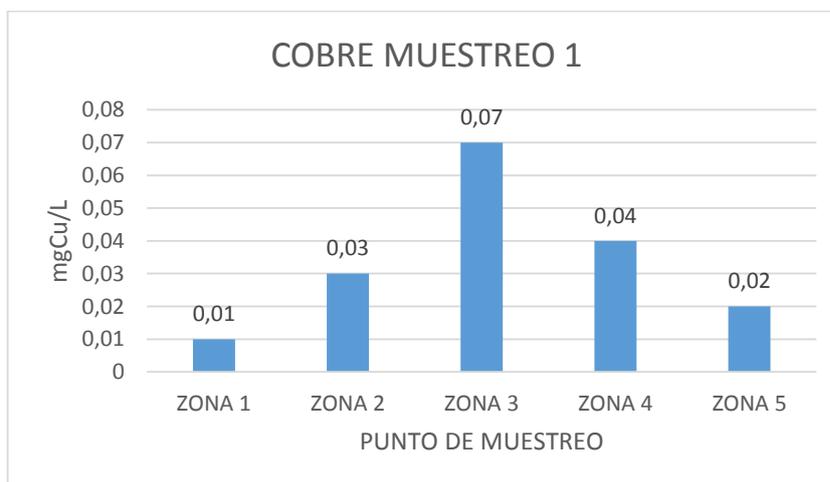


Ilustración 51 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 1

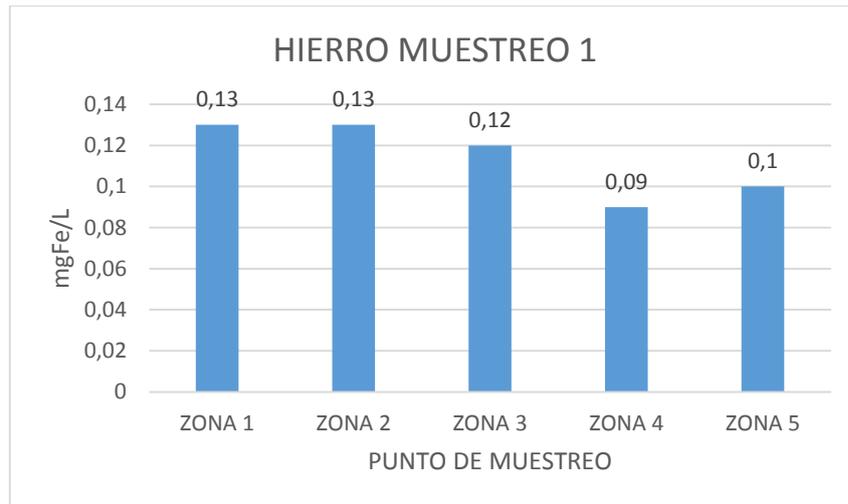


Ilustración 52 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 1

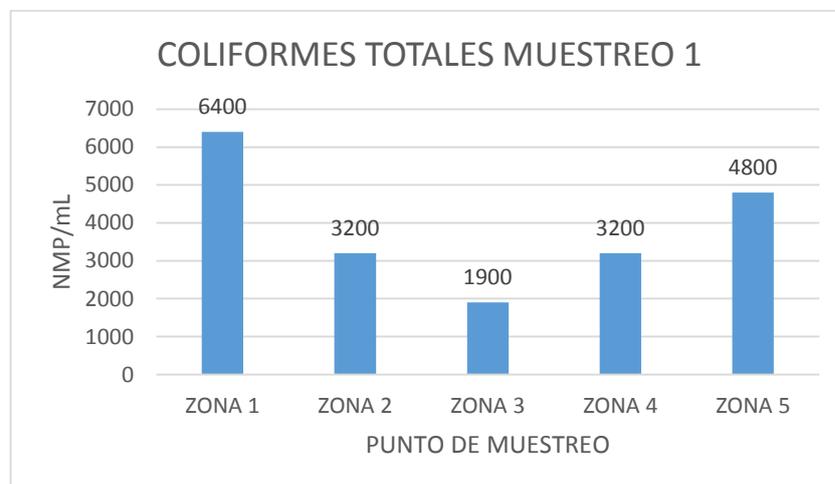


Ilustración 53 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 1

MUESTREO 2

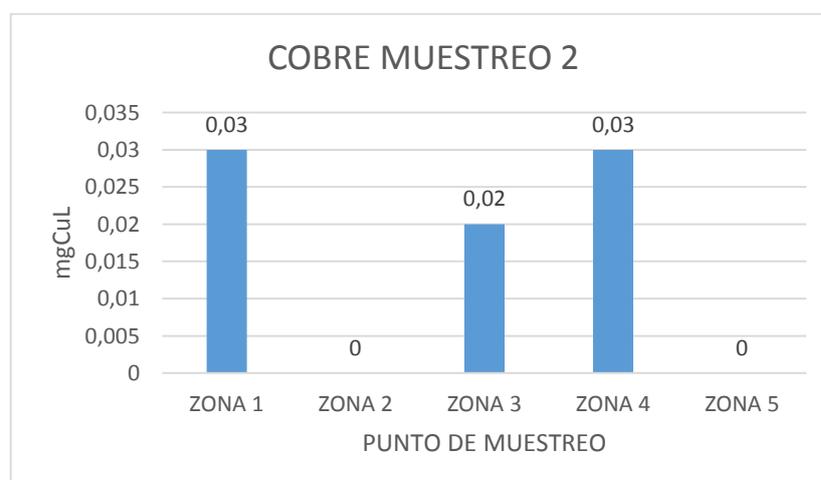


Ilustración 54 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 2

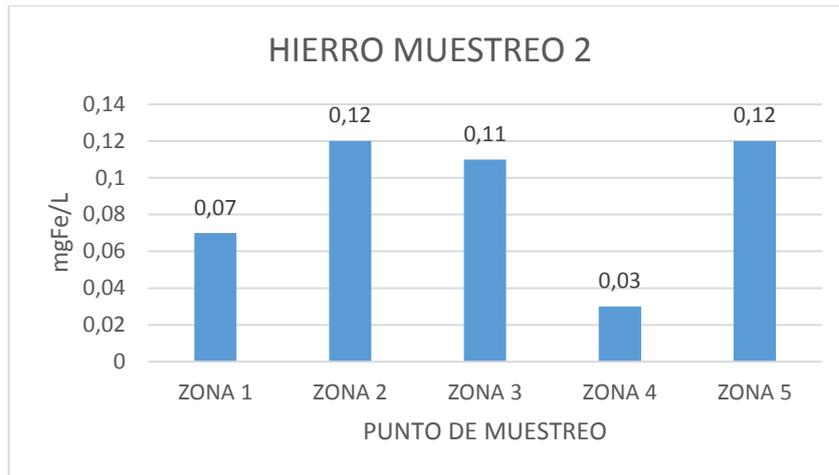


Ilustración 55 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 2

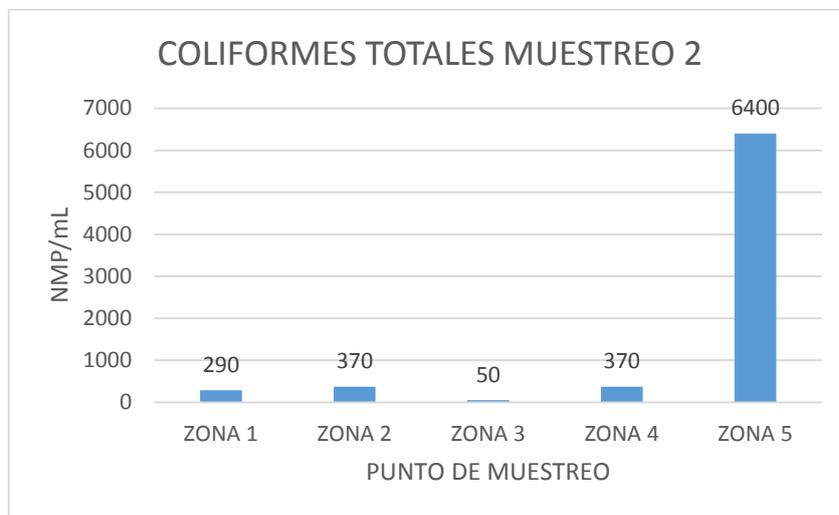


Ilustración 56 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 2

MUESTREO 3

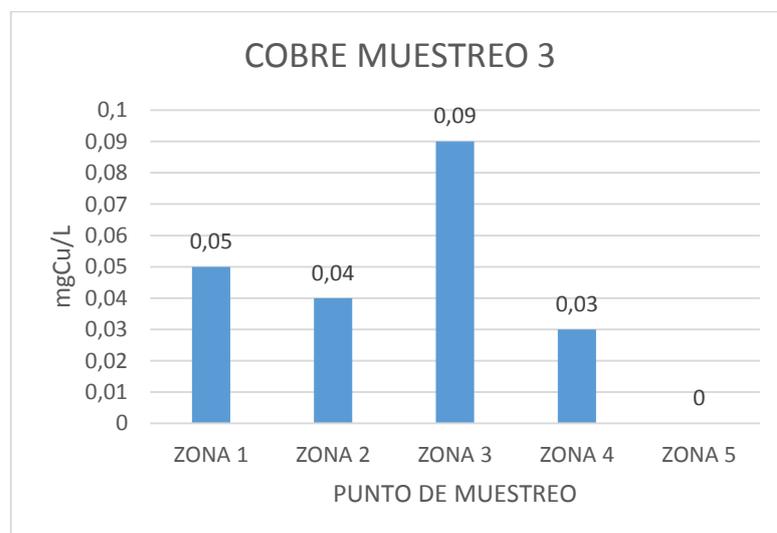


Ilustración 57 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 3

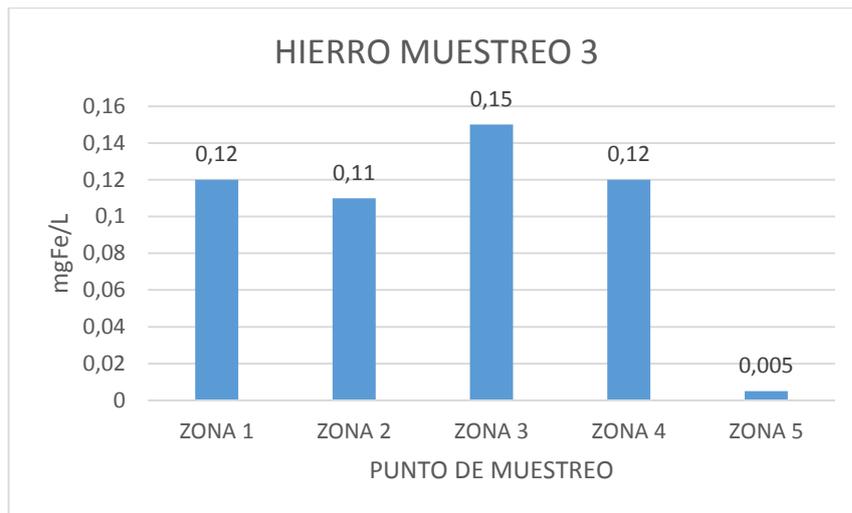


Ilustración 58 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 3

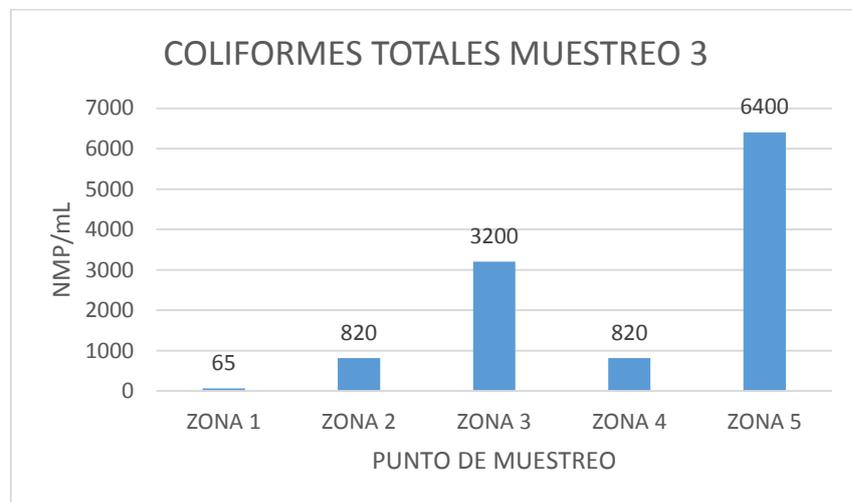


Ilustración 59 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 3

MUESTREO 4

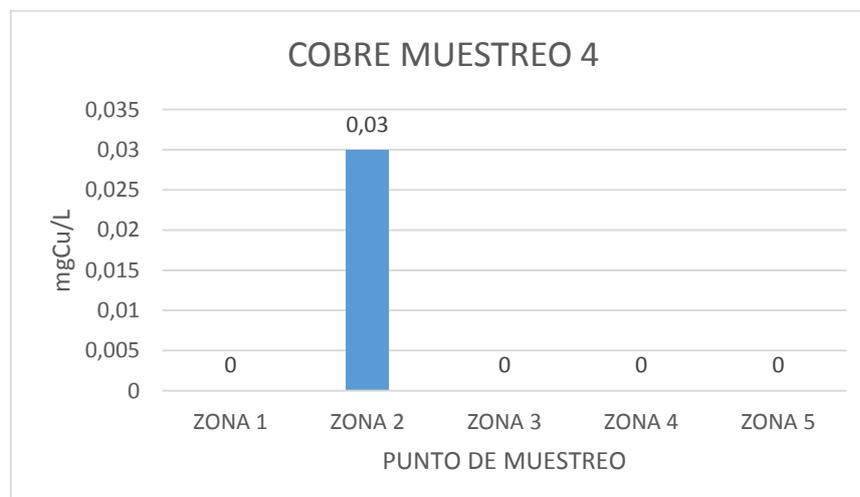


Ilustración 60 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 4

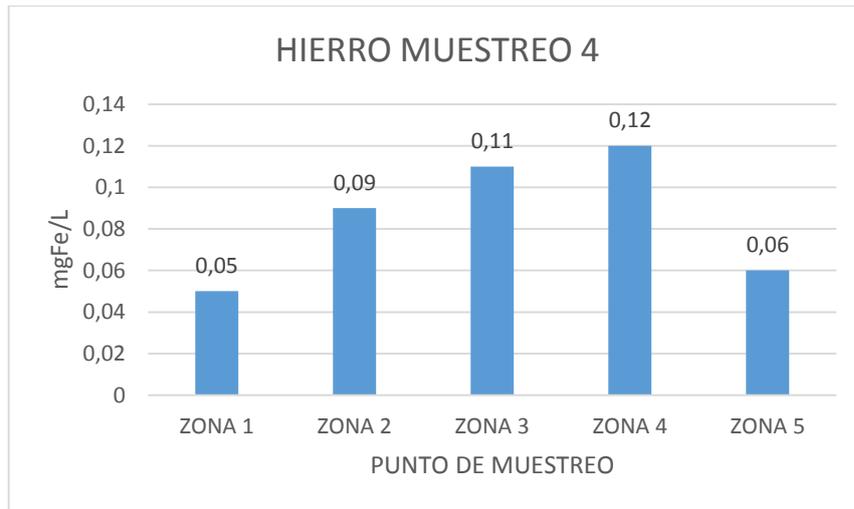


Ilustración 61 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 4

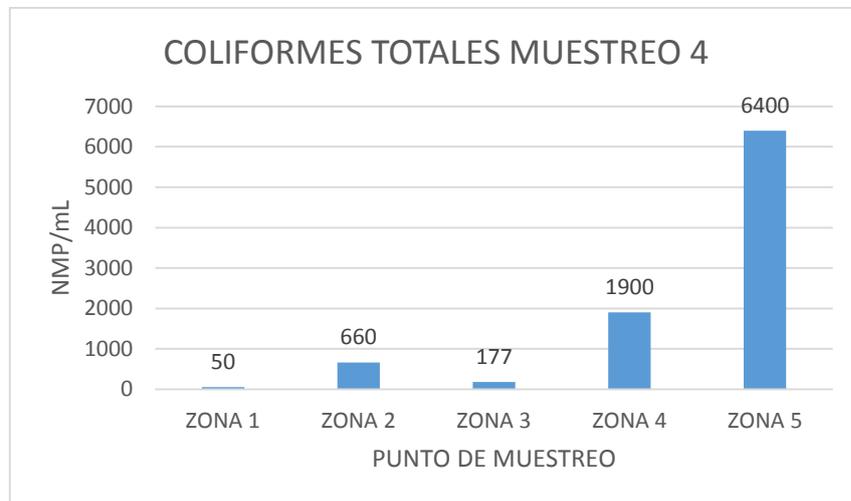


Ilustración 62 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 4

MUESTREO 5

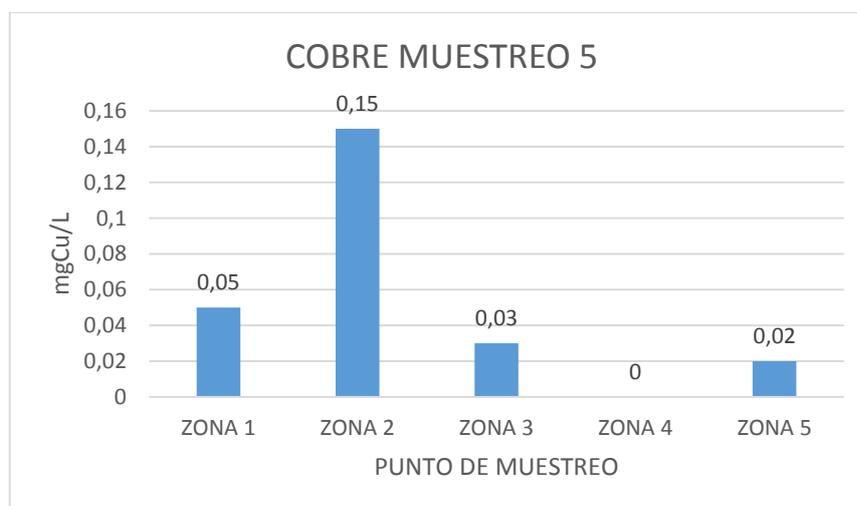


Ilustración 63 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 5

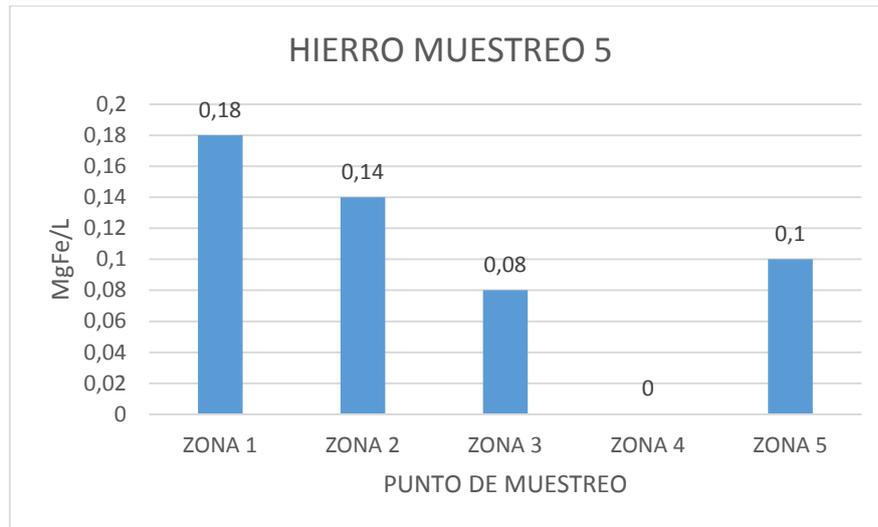


Ilustración 64 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 5

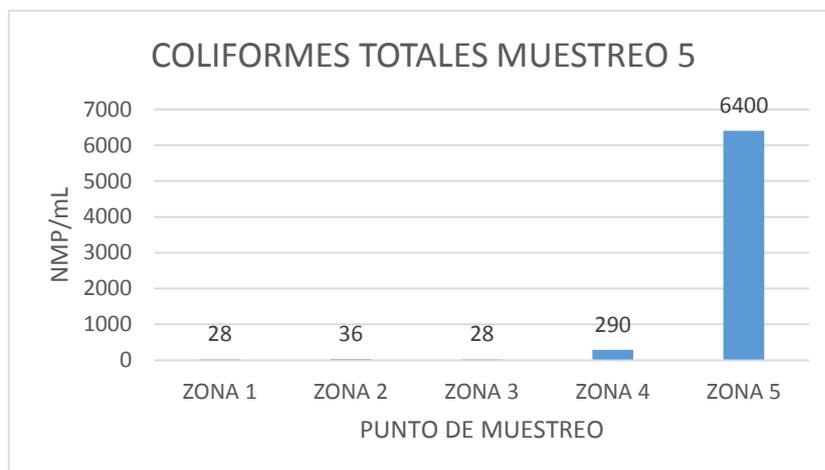


Ilustración 65 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 5

MUESTREO 6

No existe presencia de Cobre

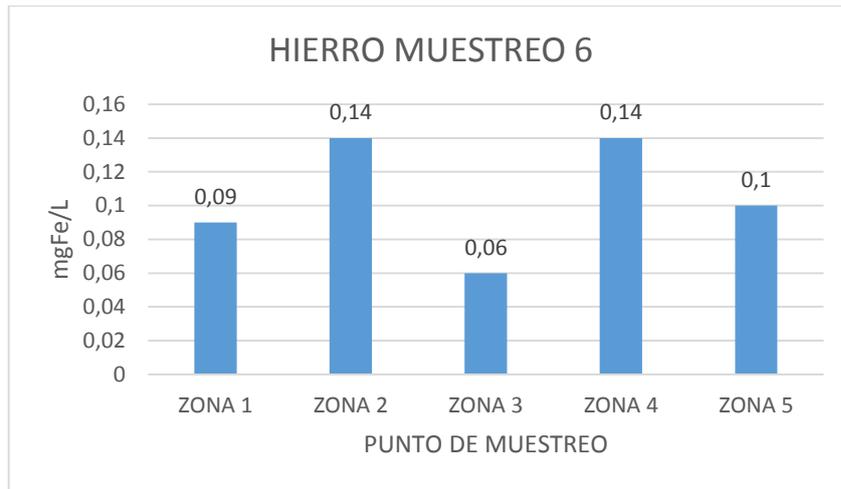


Ilustración 66 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 6

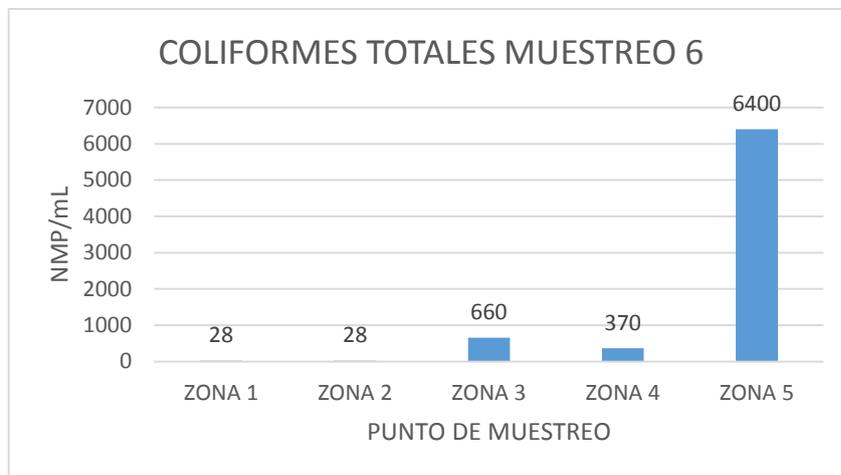


Ilustración 67 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 6

MUESTREO 7

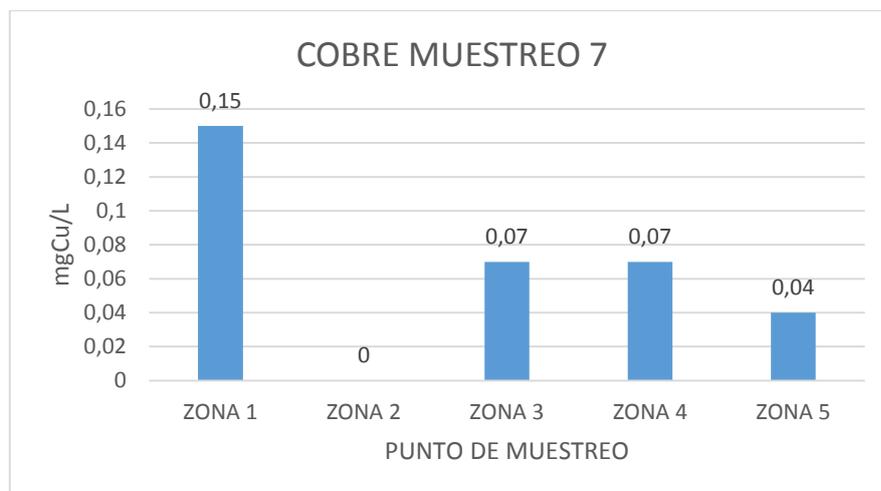


Ilustración 68 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 7

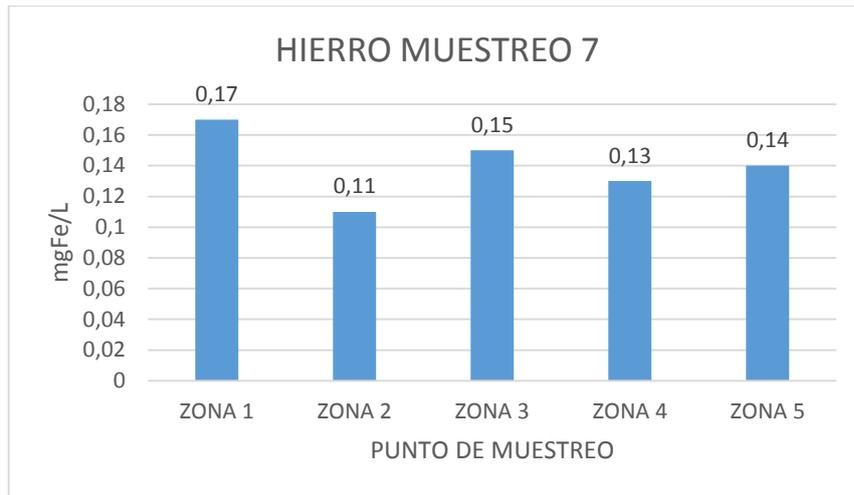


Ilustración 69 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 7

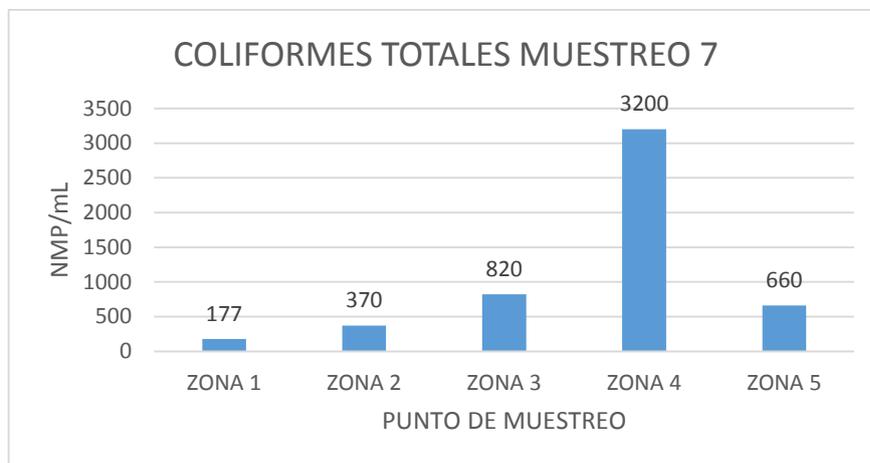


Ilustración 70 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 7

MUESTREO 8

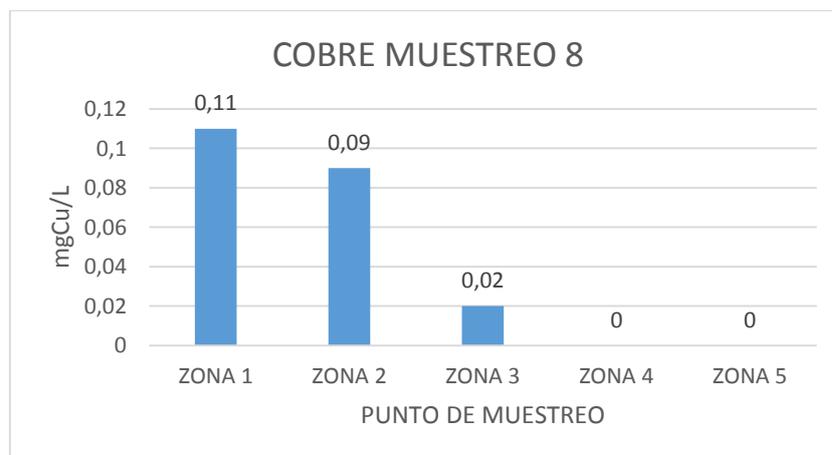


Ilustración 71 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 8

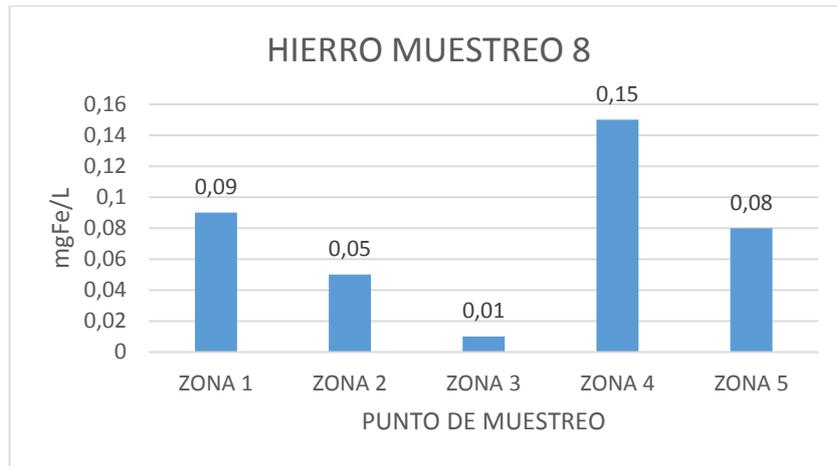


Ilustración 72 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 8

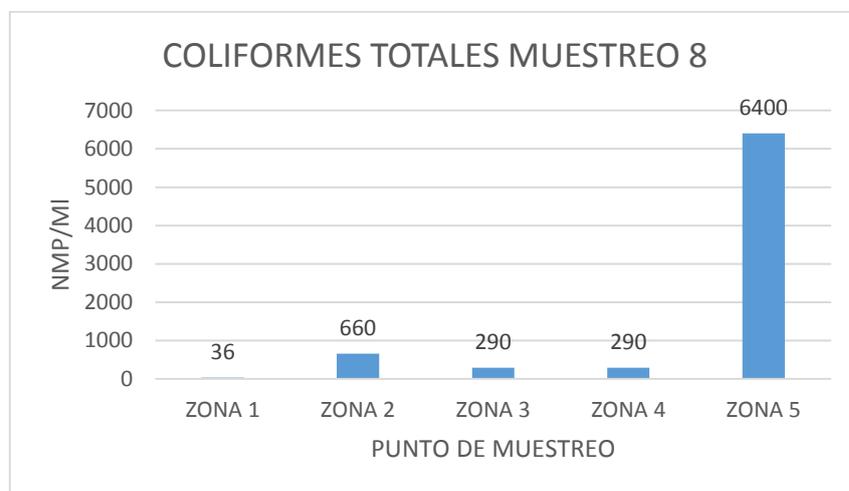


Ilustración 73 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 8

MUESTREO 9

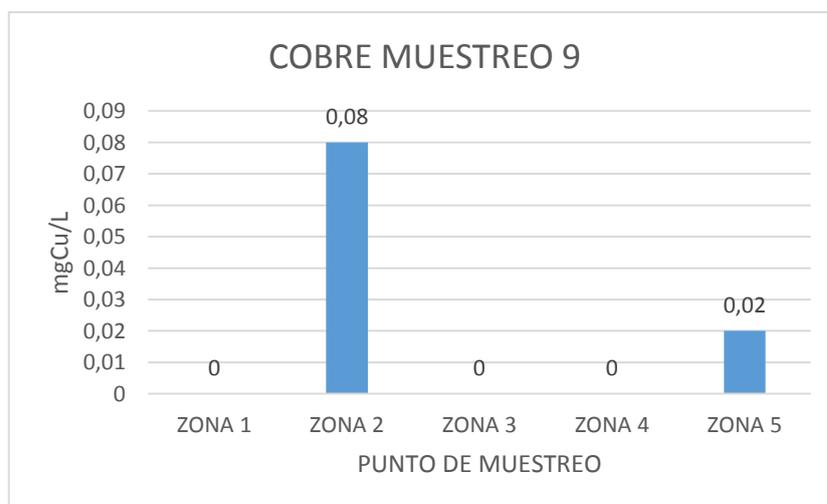


Ilustración 74 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 9

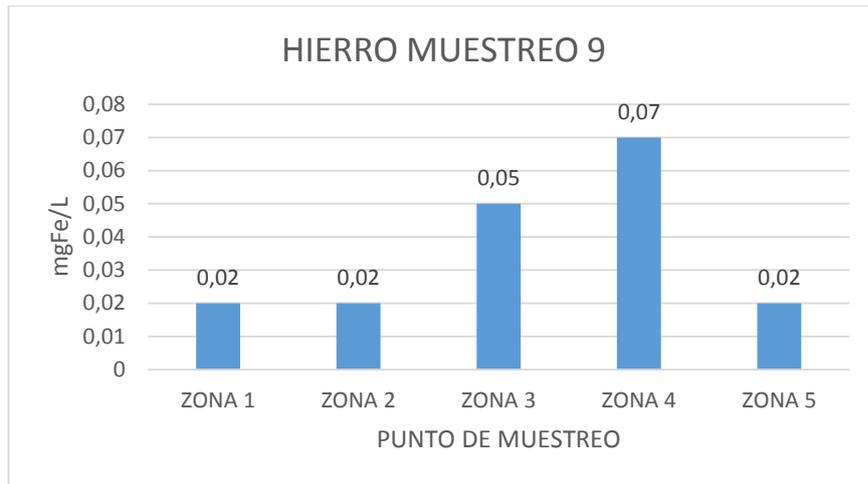


Ilustración 75 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 9

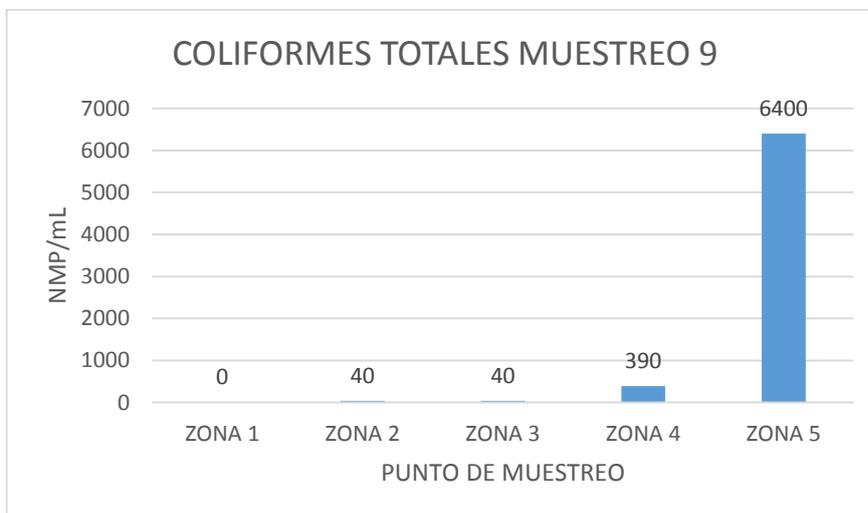


Ilustración 76 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 9

MUESTREO 10

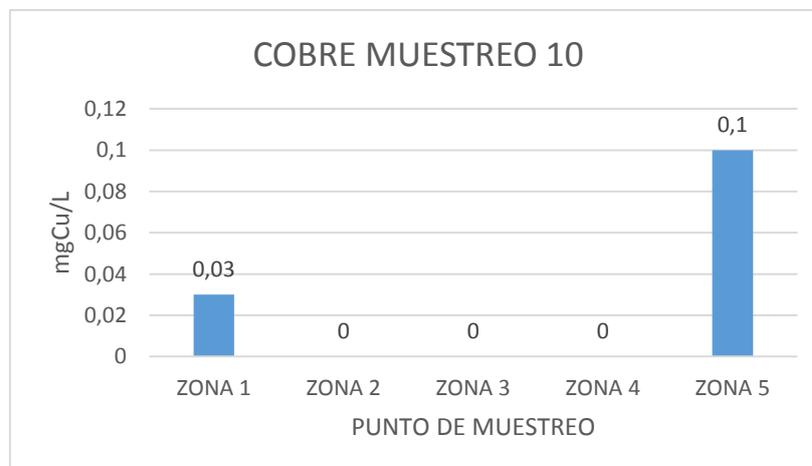


Ilustración 77 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 10

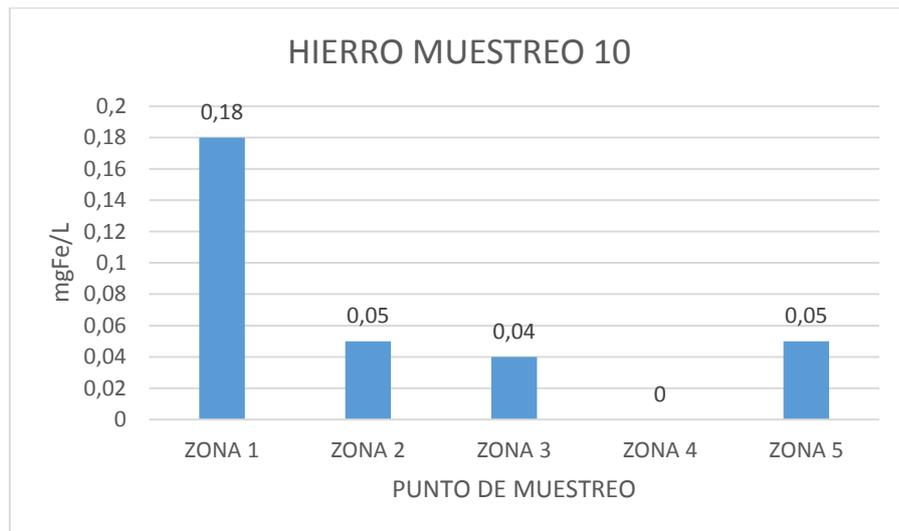


Ilustración 78 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 10

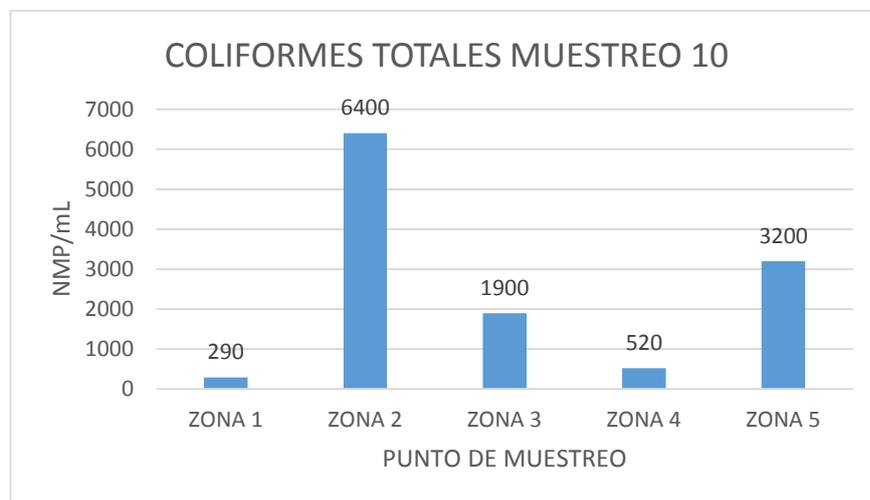


Ilustración 79 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 10

MUESTREO 11

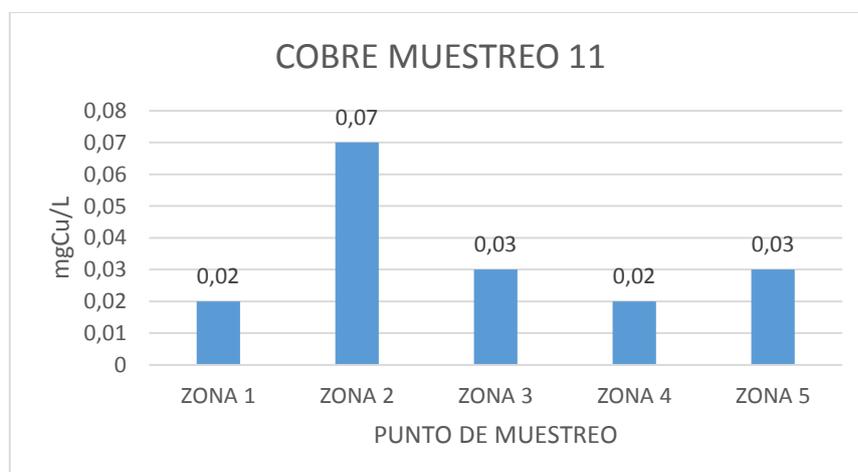


Ilustración 80 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 11

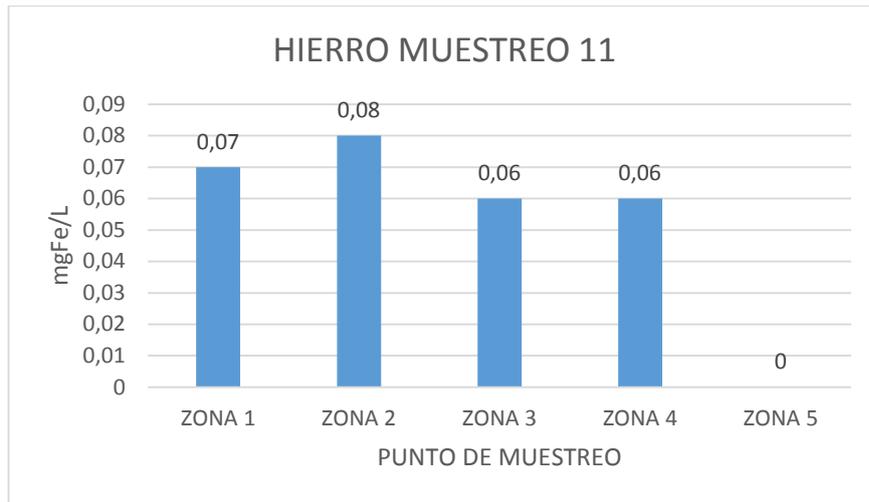


Ilustración 81 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 11

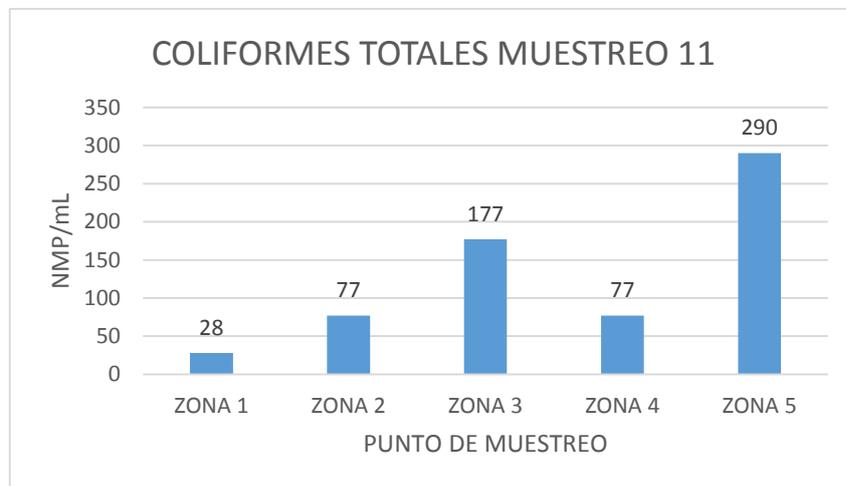


Ilustración 82 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 11

MUESTREO 12

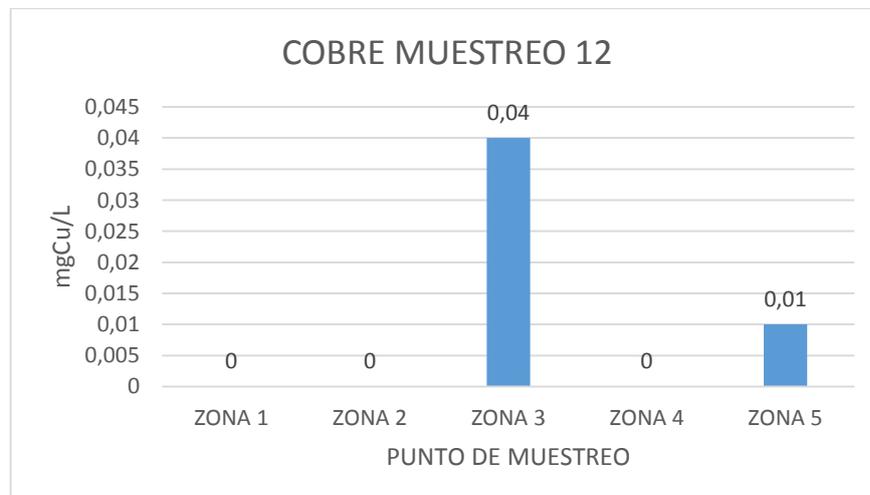


Ilustración 83 Variación de Cobre en las diferentes zonas. Muestreo 12

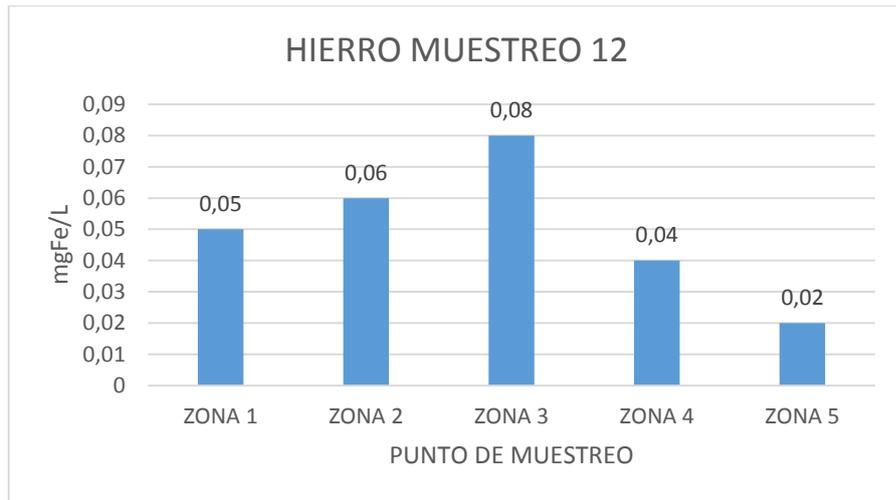


Ilustración 84 Variación de Hierro en las diferentes zonas. Muestreo 12

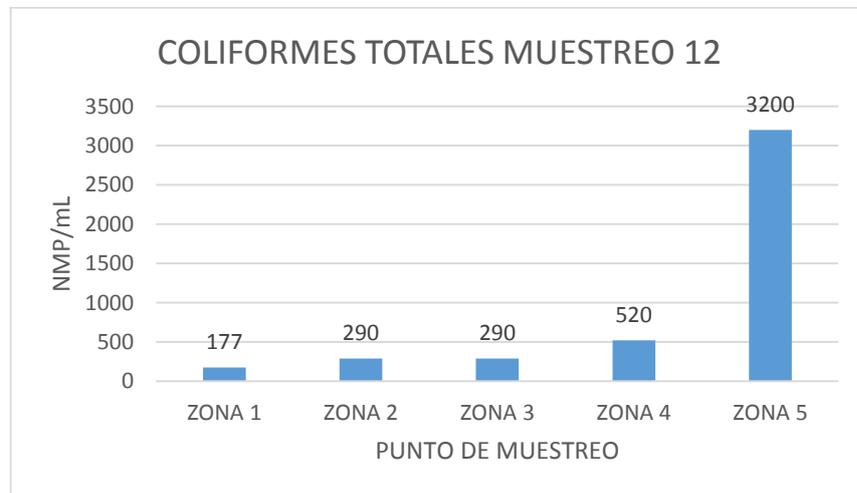


Ilustración 85 Variación de Coliformes Totales en las diferentes zonas. Muestreo 12

ANEXO 8. Cálculos de ICA-NSF mediante la función aritmética
MUESTREO 1

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
9,015555556	3,155555556	6,711111111	3,155555556	3,155555556
12,56597222	11,44305556	10,53402778	10,48055556	11,06875
9,222222222	10,30555556	11,30555556	11,63888889	12,0277778
13,44444444	13,72222222	11,40277778	13,88888889	10,6944444
13,44444444	13,44444444	13,43055556	13,44444444	13,4166667
9,111111111	9,282222222	9,555555556	9,517777778	9,555555556
8,121944444	8,130694444	8,131666667	8,130694444	8,11513889
74,93	69,48	71,07	70,26	68,03
BUENA	MEDIA	BUENA	BUENA	MEDIA

Tabla 51 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 1

MUESTREO 2

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
--------	--------	--------	--------	--------



W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
13,11111111	12,4888889	2,8	5,73333333	2,8
12,78520833	12,4055556	12,13819444	12,2451389	12,5659722
11,69444444	12,0277778	11,91666667	11,9722222	12,3055556
13,66666667	13,5555556	13,72222222	13,5	13,7777778
13,47222222	13,4305556	13,47222222	13,4722222	13,4444444
9,11111111	8,88888889	8,44444444	8,66666667	8,04444444
8,45833333	8,45833333	8,45833333	8,45833333	8,45833333
82,30	81,26	70,95	74,05	71,40
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 52 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 2

MUESTREO 3

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
11,55555556	10,51111111	10,44444444	8,58	8,58
14,05555556	14,0143056	13,59875	13,4245833	13,7225
11,13888889	11,5277778	11,5277778	11,5277778	11,4722222
13,38888889	13,4444444	13,2777778	13,6666667	13,8888889
13,41666667	13,4305556	13,375	13,4444444	13,4722222
9,80355556	9,70155556	9,29555556	9,49333333	9,44
8,42916667	8,45833333	8,412638889	8,41069444	8,40097222
81,79	81,09	79,93	78,55	78,98
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 53 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 3

MUESTREO 4

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
12,48888889	10,51111111	10,88888889	5,73333333	10,3555556
14,05555556	13,9715278	13,72708333	13,4108333	13,6583333
11,13888889	11,3611111	11,3611111	11,3611111	11,3611111
13,7777778	13,7222222	13,6111111	13,8333333	13,7222222
13,47222222	13,4583333	13,4722222	13,4722222	13,4444444
8,56666667	8,44666667	9,66355556	9,55755556	9,66755556
8,45055556	8,45055556	8,45833333	8,45833333	8,45833333
81,95	79,92	81,18	75,83	80,67
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 54 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 4

MUESTREO 5

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
13,11111111	12,4888889	13,11111111	7,62222222	2,8
14,03416667	13,9333333	13,51625	13,5070833	13,1083333
10,25	11,0277778	11,63888889	11,1944444	12,0833333
13,7777778	13,7777778	13,88888889	13,8888889	13,8888889
13,41666667	13,4583333	13,4722222	13,4722222	13,4583333
9,19555556	9,0577778	8,8	8,89555556	8,60444444
8,26097222	8,25805556	8,26583333	8,26583333	8,22597222



82,05	82,00	82,69	76,85	72,17
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 55 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 5

MUESTREO 6

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
22	13,6666667	2,8	2,8	2,8
14,05555556	14,05555556	13,90277778	13,65833333	13,9791667
10,19444444	10,30555556	10,47222222	10,52777778	10,47222222
13,5	13,83333333	13,05555556	13,8888889	13,8888889
13,41666667	13,36111111	13,47222222	13,47222222	13,45833333
9,725555556	9,67155556	9,331111111	9,28444444	9,06666667
8,370833333	8,36791667	8,370833333	8,38152778	8,365
91,26	83,26	71,40	72,01	72,03
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 56 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 6

MUESTREO 7

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
13,66666667	6,35555556	2,8	13,11111111	2,8
14,05555556	14,0540278	14,025	14,025	14,0051389
8,972222222	9,38888889	9,472222222	8,972222222	10,05555556
13,72222222	13,83333333	13,72222222	13,61111111	13,72222222
13,47222222	13,36111111	13,31944444	12,7777778	13,125
8,666666667	8,66666667	6,333333333	6,333333333	6,06666667
8,4525	8,45833333	8,450555556	8,45638889	8,45833333
81,01	74,12	68,12	77,29	68,23
BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA

Tabla 57 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 7

MUESTREO 8

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
13,11111111	22	5,733333333	7,62222222	2,8
14,05555556	13,3741667	13,15416667	13,10833333	13,3375
9,388888889	9,80555556	9,805555556	9,805555556	10,25
13,77777778	13,83333333	13,77777778	13,7777778	13,2777778
13,34722222	13,45833333	13,45833333	13,47222222	12,70833333
10,07755556	10,0455556	10,02355556	10,0355556	9,96755556
8,442777778	8,45541667	8,458333333	8,458333333	8,440833333
82,20	90,97	74,41	76,28	70,78
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 58 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 8

MUESTREO 9

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q



22	12,4888889	5,73333333	2,8	2,8
13,93333333	12,7798611	9,25069444	12,5659722	13,2
9,88888889	10,6388889	10,6944444	10,8611111	10,9166667
13,44444444	13,7222222	13,7222222	13,8888889	13,8888889
13,33333333	13,4722222	13,4583333	13,4722222	13,4722222
10,21355556	10,2215556	10,2015556	10,1655556	10,1475556
8,4	8,40583333	8,40486111	8,40097222	8,3825
91,21	81,73	71,47	72,15	72,81
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 59 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 9

MUESTREO 10

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
22	22	22	13,6666667	12,4888889
14,025	13,9638889	13,87222222	13,8722222	13,8263889
9,72222222	9,63888889	10,05555556	9,97222222	10,4166667
12,94444444	13,8888889	13,88888889	13,8888889	13,8888889
13,44444444	13,4722222	13,4722222	13,2916667	13,4583333
7,16444444	6,65333333	5,986666667	6,21777778	6,18222222
8,449583333	8,45152778	8,438888889	8,43694444	8,44569444
87,75	88,07	87,71	79,35	78,71
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 60 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 10

MUESTREO 11

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
13,11111111	10,8888889	22	11,9555556	5,73333333
13,87222222	13,3375	13,0625	12,9616667	13,145
9,638888889	9,97222222	10,47222222	10,47222222	10,5833333
13,61111111	13,6111111	13,83333333	13,5	13,7222222
13,40277778	13,3888889	13,44444444	13,375	13,3888889
10,09555556	10,1995556	10,18755556	10,2355556	10,2155556
8,425277778	8,41361111	8,427222222	8,44375	8,42138889
82,16	79,81	91,43	80,94	75,21
BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	BUENA

Tabla 61 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 11

MUESTREO 12

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
W*Q	W*Q	W*Q	W*Q	W*Q
12,4888889	11,5555556	22	12,5555556	2,8
13,7943056	13,32375	12,93416667	12,9341667	13,8386111
10,58333333	10,8055556	10,97222222	11,1944444	11,5833333
13,6666667	13,5555556	13,27777778	13,7222222	13,0555556
13,4305556	13,4166667	13,40277778	13,4166667	13,4722222
10,0095556	10,0015556	9,905555556	10,1295556	9,67355556
8,33097222	8,35333333	8,359166667	8,36111111	8,34166667
82,30	81,01	90,85	82,31	72,76



BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA	BUENA
--------------	--------------	------------------	--------------	--------------

Tabla 62 Resultados del ICA-NSF con el método aritmético. Muestreo 12

**ANEXO 9. ÍNDICES DE CALIDAD MÉTODO MULTIPLICATIVO
MUESTREO 1**

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
1,95	1,61	1,85	1,61	1,61
1,72	1,70	1,69	1,69	1,70
1,60	1,62	1,64	1,64	1,65
1,67	1,68	1,64	1,68	1,63
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
74,47	60,57	69,27	61,48	59,46
BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

Tabla 63 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 1

MUESTREO 2

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,08	2,06	1,58	1,79	1,58
1,73	1,72	1,72	1,72	1,72
1,65	1,65	1,65	1,65	1,66
1,67	1,67	1,68	1,67	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,49	1,48	1,48	1,48	1,47
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
82,42	79,53	61,40	69,42	60,43
BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

Tabla 64 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 2

MUESTREO 3



ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,03	2,00	2,00	1,93	1,93
1,75	1,75	1,74	1,74	1,74
1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
1,67	1,67	1,67	1,67	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,50	1,49	1,49	1,49	1,49
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
81,36	78,45	78,90	75,85	75,25
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 65 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 3

MUESTREO 4

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,06	2,00	2,01	1,79	1,99
1,75	1,75	1,74	1,74	1,74
1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
1,68	1,68	1,67	1,68	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,48	1,48	1,49	1,49	1,49
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
81,83	77,51	80,05	70,61	77,79
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 66 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 4

MUESTREO 5

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29



2,08	2,06	2,08	1,89	1,58
1,75	1,75	1,74	1,74	1,73
1,62	1,63	1,64	1,64	1,65
1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,49	1,49	1,48	1,48	1,48
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
82,10	80,05	82,18	73,68	60,92
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA

Tabla 67 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 5

MUESTREO 6

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,28	2,10	1,58	1,58	1,58
1,75	1,75	1,75	1,74	1,75
1,62	1,62	1,63	1,63	1,63
1,67	1,68	1,67	1,68	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
90,41	81,36	61,70	61,50	60,79
BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

Tabla 68 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 6

MUESTREO 7

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,10	1,83	1,58	2,08	1,58
1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
1,60	1,61	1,61	1,60	1,62



1,68	1,68	1,68	1,67	1,68
1,67	1,67	1,67	1,66	1,67
1,48	1,48	1,44	1,44	1,43
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
81,22	69,53	59,28	76,71	58,19
BUENA	MEDIA	MEDIA	BUENA	MEDIA

Tabla 69 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 7

MUESTREO 8

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,08	2,28	1,79	1,89	1,58
1,75	1,74	1,73	1,73	1,74
1,61	1,61	1,61	1,61	1,62
1,68	1,68	1,68	1,68	1,67
1,67	1,67	1,67	1,67	1,66
1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
82,08	88,04	70,11	73,18	60,16
BUENA	BUENA	MEDIA	BUENA	MEDIA

Tabla 70 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 8

MUESTREO 9

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,28	2,06	1,79	1,58	1,58
1,75	1,73	1,66	1,72	1,74
1,61	1,63	1,63	1,63	1,63
1,67	1,68	1,68	1,68	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,50	1,50	1,50	1,50	1,50



1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
90,32	79,83	67,83	61,60	61,28
BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

Tabla 71 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 9

MUESTREO 10

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,28	2,28	2,28	2,10	2,06
1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
1,61	1,61	1,62	1,62	1,62
1,66	1,68	1,68	1,68	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,45	1,44	1,43	1,44	1,44
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
87,14	85,17	86,12	78,49	76,76
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

Tabla 72 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 10

MUESTREO 11

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,08	2,01	2,28	2,05	1,79
1,75	1,74	1,73	1,73	1,73
1,61	1,62	1,63	1,63	1,63
1,67	1,67	1,68	1,67	1,68
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
82,11	77,59	90,01	79,71	69,35
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA



Tabla 73 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 11

MUESTREO 12

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Q ^w				
2,35	2,30	2,34	2,32	2,29
2,06	2,03	2,28	2,07	1,58
1,74	1,74	1,73	1,73	1,75
1,63	1,63	1,63	1,64	1,64
1,67	1,67	1,67	1,68	1,67
1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
1,50	1,50	1,50	1,50	1,49
1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
82,12	78,92	89,64	81,03	61,33
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MEDIA

Tabla 74 Resultados del ICA-NSF con el método multiplicativo. Muestreo 12

BIBLIOGRAFÍA

Agrobanco. (2013, marzo). *Revista técnica agropecuaria*. 8(1), 11.

Aznar Jiménez, A. (2000). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS*. Recuperado de

<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

BANCO MUNDIAL. (2017, mayo 4). El riego tecnificado, una opción que mejora la calidad de vida de los pequeños y medianos agricultores en Ecuador.

Recuperado 22 de mayo de 2019, de World Bank website:

<http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/05/04/riego-tecnificado-ecuador>

Brunton, V. (2011). *Irrigation water quality*. (1), 3.



- ControLab. (2018). Coliformes Fecales [Empresa]. Recuperado 7 de junio de 2019, de Calidad Microbiológica website:
<http://www.calidadmicrobiologica.com.co/microbiologia/coliformes-fecales>
- CORTOLIMA. (2013, septiembre 8). *PLAN DE ORDENACION Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA MAYOR DEL RIO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA-CORPOICA-SENA-UNIVERSIDAD DE TOLIMA*. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/l_211calidad_de_aguas.pdf
- Cruz, C. H., Patiño, P., & Escobar, J. C. (2010). *Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption*. 30(3), 10.
- D'angelo, M. (2017, enero 16). Sulfatos presentes en nuestro suministro y en aguas naturales. Recuperado 31 de mayo de 2019, de General Water Company Argentina website: <https://gwc.com.ar/contaminantes-del-agua/sulfatos/>
- Díaz de Santos, E., & Aznar Jiménez, A. (2000). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19.
- Espectro electromagnético: Descubre qué es. (2019, febrero 26). Recuperado 9 de junio de 2019, de OKDIARIO website: <https://okdiario.com/curiosidades/descubre-que-espectro-electromagnetico-3751794>
- Estación Experimental Agrícola de New Jersey. (2005, diciembre). FS516: Management of Iron in Irrigation Water. Recuperado 31 de mayo de 2019, de RUTGERS website: <https://njaes.rutgers.edu/fs516/>
- FAO. (s. f.). Water quality for agriculture. Recuperado 13 de junio de 2019, de <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E01.htm>



- García, A. (2012, septiembre). *Criterios modernos para evaluación de la calidad de agua para riego*. 2(1), 26-34.
- García Avila, F. (2019, abril 25). Performance of Phragmites Australis and Cyperus Papyrus in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands—ScienceDirect. Recuperado 11 de julio de 2019, de ScienceDirect website:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633918302090?via%3Dihub>
- Guy, S. (2017). La Calidad del Agua de Riego. Recuperado 1 de julio de 2019, de SMART FERTILIZER MANAGEMENT website: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>
- HACH. (2000). *MANUAL DE ANALISIS DE AGUA* (Segunda). Loveland, Colorado, EE.UU.
- HACH. (2010). *SensION+ EC5 HACH 0710.indd*. 118.
- Herrera Escudero, A. (2014, mayo). *LEY DEBOUGUER-LAMBERT-BEER*.
Recuperado de <https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2014/05/L.-Ley-de-Bouguer-Lambert-Beer-0.pdf>
- Lasso Palacios, A. M. (2009). *DETERMINACION DE NITRITO EN AGUA POR ESPECTROFOTOMETRÍA* (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitrito+en+agua+por+Espectrofotometr%C3%ADa.pdf/4775634c-c6ba-4c95-8e98-0696ace02c03>
- Lopez, G., García, V., José, M., Caamaño, P., Pondal, R. I. P., & de Compostela, S. (2002). *DETERMINACION Y DIFERENCIACION DE ESCHERICHIA COLI Y*



Universidad de Cuenca

*COLIFORMES TOTALES USANDO UN MISMO SUSTRATO
CROMOGENICO. 17.*

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION*

SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE. , Pub. L. No. Decreto
Ejecutivo 3516, § ANEXO 1 DEL LIBRO VI, 407 (2017).

Molinari, M., Bentivegna, D., & Tucac, G. (2015, Semtiembre). (PDF) EFECTO Y
CONCENTRACIÓN DEL COBRE EN CULTIVOS REGADOS CON
SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO. Recuperado 6 de junio de 2019,
de Reserch Gate website:

https://www.researchgate.net/publication/282086115_EFECTO_Y_CONCENTRACION_DEL_COBRE_EN_CULTIVOS_REGADOS_CON_SULFATO_DE_COBRE_PENTAHIDRATADO

Moreno, A. (2011, junio 9). Parámetros físicos de calidad de las aguas. Color.

Recuperado 29 de mayo de 2019, de Mailxmail website:

<http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-1-2/parametros-fisicos-calidad-aguas-color>

Nordin, R. N., & Pommen, L. W. (Septiembre,29). *Water Quality Guidelines for Nitrogen (Nitrate, Nitrite, and Ammonia)*. 29.

Once, W., & Barros, P. (2012). *Implementación de un sistema de gestión de procesos organizacionales en la junta administradora del sistema de riego de la comunidad Checa periodo 2010-2011*. (Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/1486/1/tsoc83.pdf>

OpenStax College. (s. f.). Ácidos, bases, pH y soluciones amortiguadoras. Recuperado 30 de mayo de 2019, de Khan Academy website:



<https://es.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/acids-bases-and-ph/a/acids-bases-ph-and-buffers>

Oram, B. (2014). Water Research Center—Water Quality Index Calculator. Recuperado 31 de mayo de 2019, de WATER RESEARCH CENTER website: <https://water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>

PanaChlor. (2017). *Sólidos Disueltos Totales (TDS) y Electroconductividad (EC)*.

Recuperado de [http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-\(TDS\)-Electroconductividad-\(EC\).pdf](http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-(TDS)-Electroconductividad-(EC).pdf)

Patiño, P., Holguín, J., Barba, L., & Cruz C. (2002). *MEDODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS A LAS CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DEL RÍO CAUCA EN EL TRAMO SALVAJINA-LA VIRGINIA* (Universidad del Valle). Recuperado de <http://bvsp.paho.org/texcom/cd050704/patino.pdf>

Pradillo, B. (2016, septiembre 12). Parámetros de control del agua potable [Text].

Recuperado 29 de mayo de 2019, de IAgua website:

<https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>

Ramos, D. S. (2015). *Tema 11 Calidad del agua y su control*. 49.

Rendon. (2013, abril 22). Artículos sobre el Agua—La tecnificación del riego parcelario

| CamarenCamaren. Recuperado 22 de mayo de 2019, de CAMAREN website:

<http://www.camaren.org/la-tecnificacion-del-riego-parcelario/>

Shiyab, S. (2018). *Phytoaccumulation of Copper from Irrigation Water and Its Effect on the Internal Structure of Lettuce*. 8(29), 13.

<https://doi.org/10.3390/agriculture8020029>



- Sosa, B., & Larrea, D. (2014). *La tecnificación de la agricultura familiar bajo riego en Ecuador* (Carlos Zambrano C, Vol. 1). Recuperado de <http://www.camaren.org/documents/archivo2.pdf>
- Tayupanda Paca, B. I. (2009). *Elaboración de una propuesta metodológica participativa para la tecnificación del riego parcelario en la zona de celes* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/332/1/13T0625%20.pdf>
- Thukral, A. K., Renu, B., & Rupinder, K. (2005). *Water Quality Indices*. Department of Botanical & Environmental Sciences Guru Nanak Dev University, Amritsar.
- Topalcengiz, Z. (2017, abril 11). Calidad microbiana del agua agrícola en la Florida Central. Recuperado 7 de junio de 2019, de The National Center for Biotechnology Information website: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5388333/>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 16.
- Universidad Complutense Madrid. (2009). *LA DUREZA TOTAL DEL AGUA*. 5.
- Universidad de Jaén. (2010). *Análisis de Aguas*. Recuperado de http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf
- Universitat Politècnica de València - UPV. (2013). *Aplicación de la ley de Lambert-Beer en espectroscopía UV-visible* | | UPV [Mp4]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xJZIOOkvTOo>
- Walton, H. F., & Reyes, J. (1983). *Análisis químico e instrumental moderno*. Reverte.



Universidad de Cuenca

World Health Organization. (2011). *Nitrate and nitrite in drinking-water*. Recuperado

de

https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndad

d.pdf