

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**  
**TESIS DE GRADO**



**EVALUACION DE LA CALIDAD FISICO QUIMICA Y  
BACTERIOLOGICA DEL AGUA DE RIEGO DE LA  
ESTACION EXPERIMENTAL DE COTA COTA**

Presentado por:  
Jesusa Gertrudis Quispe Mamani

La Paz – Bolivia  
2016

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACION DE LA CALIDAD FISICO QUIMICA Y BACTERIOLOGICA  
DEL AGUA DE RIEGO DE LA ESTACION EXPERIMENTAL DE  
COTA COTA**

**Tesis de grado para obtener el titulo de:  
Licenciatura en Ingeniería Agronómica**

**Presentado por:  
Jesusa Gertrudis Quispe Mamani**

**ASESORES:**

Lic. M.Sc. Edgar García Cárdenas .....

Lic. M.Sc. Pablo Morales Pérez .....

**TRIBUNAL EXAMINADOR:**

Lic. M.Sc. Cynthia Lara Pizarroso .....

Lic. Ph.D. Alberto Figueroa Solíz .....

Ing. Carlos Mena Herrera .....

----- **Aprobada**

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL  
EXAMINADOR:**

Ing. Ph.D. René Chipana .....

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a mis queridos papitos (Julia y Calixto) que son fuente de mi inspiración que aunque hoy no me acompañen físicamente, vivirán por siempre en mi corazón, a mi esposo Jhony mis hijos Álvaro, Gustavo y mis hermanos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero dar gracias primeramente a Dios por haberme permitido concluir este trabajo.

También quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mis tutores Lic Edgar García y Lic. Pablo Morales por haberme guiado, en la elaboración de este trabajo porque sin su supervisión y ayuda no habría sido posible concluirlo especialmente mi eterno agradecimiento al Lic. Pablo Morales quien me brindo su confianza, su colaboración y amistad incondicional en todas las etapas de mi trabajo de tesis muchísimas gracias.

También dar gracias a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica por el conocimiento transmitido.

A la Lic. Ph.D. Marcela Melgarejo de la Carrera de Química de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales, gracias por los análisis microbiológicos que realizo, para la conclusión de este trabajo.

Al Ing Williams Murillo, el Ing Cesar Oliver y el personal administrativo de la Estación Experimental de Cota Cota Edwin y Eulogio por su colaboración y la amistad incondicional que me brindaron.

A mis revisores: Lic. M.Sc. Cynthia Lara Pizarroso, Ing. Carlos Mena Herrera y Al Lic. Ph.D. Alberto Figueroa Solíz por las observaciones y aportes que me dieron para mejorar este trabajo.

A mis amigas Martha, Maricel, Vicky, Edith y Ana, por su apoyo y su sincera amistad que me brindaron durante los momentos más difíciles que me toco pasar muchas gracias.

Y de manera especial a mi familia Jhony, Álvaro y Gustavo por el apoyo, colaboración y tolerancia que me brindaron durante todo el tiempo que duro este trabajo.

A todos y cada una de las personas que tuve el privilegio de conocer durante el tiempo que duro este trabajo.

Gracias a todos...

## RESUMEN

El presente trabajo “Evaluación de la calidad físico química y bacteriológica del agua de riego de la Estación Experimental de Cota Cota”, tiene como objetivo evaluar la calidad del agua para riego de los cultivos agrícolas de la Estación.

Determinados los parámetros físicos químicos de primer y segundo grado de los puntos de muestreo (Manantial, tanque y rio) durante la época húmeda y época seca en la gestión agrícola 2013 -2014, de acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que: El potencial de hidrógeno, pH de las muestras tanto en época húmeda como seca presentan valores dentro del rango de 7,5 y 8,3.

La conductividad eléctrica del manantial y del tanque alcanzo un valor de 904,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que, de acuerdo con la Norma NCh 1333, se clasifica como agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles ( $750 < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que la conductividad eléctrica (C.E.) del rio alcanzo un valor de 691,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  clasificándose como agua apta para riego.

Las concentraciones de cationes de Na, K, Ca, Mg, Fe y Al en todas las aguas analizadas están por debajo del límite de peligro. Los aniones:  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^{-1}$ ,  $\text{PO}_4^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  presentan un comportamiento variado, sus concentraciones están por debajo de los límites permisibles.

La dureza de las aguas estudiadas están clasificadas como aguas medianamente duras, por lo que no presenta mayor peligro en el uso de estas aguas para riego así se tenga un pH superior a 7.

Las muestras de aguas estudiadas tienen un Por ciento de Sodio Intercambiable (P.S.I.), bajo lo que libra de peligros de inestabilidad, permeabilidad y pobre aireamiento al suelo.

Ninguno de los elementos considerados tóxicos (B, Cl y Na) presenta concentraciones que podrían afectar a las plantas o al suelo.

Los coliformes totales en el río presenta una severa contaminación por lo que deberán recibir tratamiento, mientras que el agua del tanque durante las dos épocas presenta valores que se encuentran dentro de los límites permitidos y por último el manantial en época húmeda no cumple los límites de las normas.

En cuanto a los coliformes fecales las aguas del manantial y del tanque durante las dos épocas se encuentran dentro del límite permitido y el agua del río; en época seca presenta una severa contaminación.

Los contenidos de elementos pesados, definidos como elementos dañinos para la salud, como el Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se, Fe, Co, Ni, Mg, Zn y Sn indican niveles bajos, respecto a los valores máximos permitidos de acuerdo a las normas ambientales nacionales e internacionales existentes.

En la clasificación de aguas para riego; las aguas estudiadas en su totalidad clasifican según la Norma Riverside como aguas que deben utilizarse con alguna precaución.

Según la Norma Wilcox, clasifica como aguas de excelente a buena para el uso de riego y la Norma H. Greene (FAO), clasifica como aguas de buena calidad para el riego.

En general, podemos afirmar que las aguas estudiadas no presentan problemas de calidad en relación a su composición física y química, los parámetros evaluados están dentro de los rangos o límites establecidos por las Normas estudiadas para el efecto.

## INDICE DE CONTENIDOS

	Páginas
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivo general.....	2
1.2.1. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Calidad del Agua.....	3
2.2. Calidad de agua para riego.....	3
2.3. Indicadores de calidad de agua de riego.....	5
2.3.1. Indicadores de primer grado.....	5
2.3.1.1. Potencial de hidrógeno (pH).....	5
2.3.1.2. Conductividad Eléctrica (C.E.).....	6
2.3.1.3. Contenido de sales solubles.....	6
2.3.1.4. Presión osmótica.....	7
2.3.1.5. Iones.....	8
2.3.1.5.1. Cationes.....	8
2.3.1.5.2. Aniones.....	8
2.3.2. Indicadores de segundo grado.....	9
2.3.2.1. Dureza.....	9
2.3.2.2. Salinidad Efectiva (S.E.).....	10
2.3.2.3. Salinidad Potencial (S.P.).....	12
2.3.2.4. Relación de Absorción de Sodio (S.A.R.).....	13
2.3.2.5. Carbonato sódico residual (C.S.R.).....	14
2.3.2.6. Porciento de sodio soluble (P.S.S.).....	16
2.3.2.7. Porciento de sodio intercambiable (P.S.I.).....	16
2.3.2.8. Coeficiente alcalimétrico (Índice de Scott).....	17
2.3.2.9. Relación de calcio o Índice de Kelly.....	18
2.4. Normas para la clasificación del agua para riego.....	19
2.4.1. Norma Riverside.....	19
2.4.2. Norma L.V. Willcox.....	23
2.4.3. Norma H. Greene (F.A.O.).....	24
2.5. Toxicidad.....	25
2.5.1. Concentración de Boro.....	25
2.5.2. Concentración de cloruros.....	26
2.5.3. Concentración de sodio.....	27
2.6. Parámetros de calidad bacteriológica del agua.....	27
2.6.1. Coliformes.....	29
2.6.2. Echerichia coli (E. coli).....	30
2.6.3. Salmonelas.....	30
2.6.4. Elementos traza.....	31
III. LOCALIZACION.....	33
3.1. Ubicación Geográfica.....	33
3.2. Características ecológicas.....	34
3.2.1. Clima.....	34
3.2.2. Temperatura.....	35

3.2.3.	Vientos. ....	35
3.2.4.	Suelos. ....	35
3.3.	Geología. ....	35
3.4.	Fauna y flora. ....	36
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS. ....	37
4.1.	Materiales. ....	37
4.1.1.	Materiales de Laboratorio. ....	37
4.1.2.	Materiales de campo. ....	37
4.1.3.	Materiales de gabinete. ....	38
4.2.	Metodología. ....	38
4.2.1.	Procedimiento de investigación. ....	38
4.2.2.	Análisis químico. ....	41
4.2.2.1.	Potencial de hidrógeno. ....	41
4.2.2.2.	Conductividad eléctrica. ....	42
4.2.2.3.	Alcalinidad. ....	42
4.2.2.4.	Cloruros. ....	42
4.2.2.5.	Fosfatos. ....	43
4.2.2.6.	Sulfatos. ....	43
4.2.2.7.	Concentración de Sales. ....	43
4.2.2.8.	Caracterización de elementos metálicos. ....	44
4.2.2.9.	Preparación de la Muestra para su Lectura en ICP. ....	44
4.2.2.10.	Preparación de la muestras para el análisis microbiológico. ....	44
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES. ....	46
5.1.	Características Fisicoquímicas. ....	46
5.1.1.	Parámetros de primer grado. ....	46
5.1.1.1.	Potencial de hidrógeno (pH). ....	46
5.1.1.2.	Conductividad Eléctrica (C.E.). ....	47
5.1.1.3.	Sólidos Disueltos Totales (SDT). ....	49
5.1.1.4.	Contenido de Cationes. ....	50
5.1.1.4.1.	Sodio. ....	50
5.1.1.4.2.	Potasio. ....	51
5.1.1.4.3.	Calcio. ....	51
5.1.1.4.4.	Magnesio. ....	52
5.1.1.4.5.	Aluminio. ....	52
5.1.1.5.	Contenido de Aniones. ....	53
5.1.1.5.1.	Cloruros. ....	53
5.1.1.5.2.	Nitratos. ....	54
5.1.1.5.3.	Sulfatos. ....	54
5.1.1.5.4.	Fosfato. ....	54
5.1.1.5.5.	Carbonatos y Bicarbonatos. ....	55
5.1.1.6.	Análisis de la veracidad de los resultados de laboratorio. ....	56
5.1.1.6.1.	Sumatoria de Cationes. ....	56
5.1.1.6.2.	Sumatoria de Aniones. ....	57
5.1.1.6.3.	Balance de iones. ....	58
5.1.2.	Parámetros de segundo grado. ....	59
5.1.2.1.	Dureza. ....	59
5.1.2.2.	Salinidad Efectiva (S.E.). ....	60
5.1.2.3.	Salinidad Potencial (S.P.). ....	62
5.1.2.4.	Relación de Absorción de Sodio (S.A.R.). ....	63
5.1.2.5.	Carbonato sódico residual (C.S.R.). ....	64



5.1.2.6.	Porcentaje de Sodio Soluble (P.S.S.).....	65
5.1.2.7.	Porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.).....	66
5.1.2.8.	Índice de Scott o coeficiente alcalimétrico (K). ....	67
5.1.2.9.	Índice de Kelly.....	68
5.1.2.10.	Elementos tóxicos.....	69
5.1.2.10.1.	Cloruros. ....	69
5.1.2.10.2.	Sodio.....	70
5.1.2.10.3.	Boro.....	70
5.1.2.11.	Elementos Traza.....	71
5.1.2.12.	Microbiología.....	72
5.1.2.12.1.	Coliformes totales.....	72
5.1.2.12.2.	Coliformes fecales.....	73
5.2.	Clasificación del agua de riego.....	74
5.2.1.	Norma Riverside.....	74
5.2.2.	Norma Wilcox.....	75
5.2.3.	Norma Greene.....	77
VI.	CONCLUSIONES.....	78
VII.	RECOMENDACIONES.....	82
VIII.	BIBLIOGRAFIA.....	83

## INDICE DE TABLAS

### Páginas

Tabla N° 1.	Clasificación del agua para riego según su conductividad eléctrica.....	6
Tabla N° 2.	Clasificación de las aguas en función de los grados hidrométricos.....	10
	Franceses.....	10
Tabla N° 3.	Clasificación de aguas para riego según su salinidad Efectiva (S.E.).....	12
Tabla N° 4.	Clasificación de aguas de riego según la salinidad efectiva y en función al tipo de suelo que se va aplicar (según Doneen).....	12
Tabla N° 5.	Clasificación de aguas para riego según su (S.P.).....	13
Tabla N° 6.	Valores de R.A.S. para clasificar aguas de riego.....	14
Tabla N° 7.	Clasificación del agua de riego según C.S.R.....	15
Tabla N° 8.	Clasificación de agua de riego según el (P.S.S.).....	16
Tabla N° 9.	Clasificación de agua según el (P.S.I.).....	17
Tabla N° 10.	Cálculo del índice de Scott.....	18
Tabla N° 11.	Calidad del agua según los valores del índice de Scott.....	18
Tabla N° 12.	Peligro de salinidad en términos de conductividad eléctrica (Según USDA) ....	21
Tabla N° 13.	Peligro de sodificación o alcalinización en términos de Relación de Adsorción de Sodio (según USDA) .....	22
Tabla N° 14.	Iones tóxicos presentes en las aguas.....	25
Tabla N° 15.	Calidad del agua en relación a su contenido en Boro.....	26
Tabla N° 16.	Guía microbiológica para el uso de aguas residuales en la agricultura.....	28
Tabla N° 17.	Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego.....	32

## INDICE DE CUADROS

### Páginas

Cuadro N° 1.	Sumatoria de cationes en función de la época de muestreo (2013-2014). ....	57
Cuadro N° 2.	Sumatoria de aniones en función de la época de muestreo (2013-2014). ....	58
Cuadro N° 3.	Calculo del % de variación en función de la época de muestreo (2013-2014). ...	59

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura N° 1.	Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Según USDA) .....20
Figura N° 2.	Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego. (Adaptado de "The Quality fo wáter for Irrigation USE",U.S.D.A).....23
Figura N° 3.	Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego. ....24 (Adaptado de Utilisati3n desterres salines, H. Greene, F.A.O).....24
Figura N° 4.	Mapa de ubicaci3n de la Cuenca Jillusaya. ....34
Figura N° 5.	Ubicaci3n de los puntos de muestreo. ....38

## INDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
Gráfico N° 1. Comportamiento del potencial de hidrógeno en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).....	47
Gráfico N° 2. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica (C.E.) en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014). ....	48
Gráfico N° 3. Comportamiento de sólidos disueltos totales (S.D.T.) en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014). ....	50
Gráfico N° 4. Comportamiento de los cationes (Ca, Mg, K, Na, Fe y Al) presentes en el agua de los diferentes puntos de muestreo (2013-2014). ....	53
Gráfico N° 5. Comportamiento de los aniones sulfato, cloruros, nitratos, fosfatos, carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de los diferentes puntos de muestreo (2013-2014). ....	56
Gráfico N° 6. Comportamiento de la Dureza en las aguas de los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).....	60
Gráfico N° 7. Comportamiento de La Salinidad Efectiva en los puntos de muestreo (2013-2014). ....	61
Gráfico N°8. Comportamiento de La Salinidad Potencial en los puntos de muestreo (2013-2014). ....	62
Gráfico N° 9. Comportamiento de la Relación de adsorción de sodio en los puntos de muestreo (2013-2014).....	64
Gráfico N° 10. Comportamiento del carbonato sódico residual en los puntos de muestreo (2013-2014). ....	65
Gráfico N° 11. Comportamiento del porcentaje de sodio soluble en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).....	66
Gráfico N° 12. Comportamiento del por ciento de sodio intercambiable en los puntos de muestreo (2013-2014).....	67
Gráfico N° 13. Comportamiento del Índice de Scott en los puntos de muestreo (2013-2014)..	68
Gráfico N° 14. Comportamiento del Índice de Kelly en los puntos de muestreo (2013-2014)...	69
Gráfico N° 15. Contenido de elementos tóxicos en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014). ....	71
Gráfico N° 16. Contenido de elementos traza en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014). ....	72
Gráfico N° 17. Contenido de Coliformes totales y fecales en los puntos de muestreo (2013-2014). ....	74

## I. INTRODUCCIÓN.

La Estación Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía es parte del Campus Universitario de la Universidad Mayor de San Andrés, se encuentra ubicada a 15 km del centro de la ciudad de La Paz y cuenta con una superficie de 8,79 hectáreas acondicionadas en gran parte para prácticas agrícolas. El agua que se utiliza fundamentalmente para riego es captada de dos fuentes: Una del río Jillusaya y la otra proveniente de un manantial.

Desde que se fueron urbanizando las tierras quebrada arriba, el río Jillusaya que nace de la confluencia de dos ríos el Charapaya y Jaque Jaque ubicado en el Valle Alto de La Paz viene recibiendo las descargas de aguas residuales industriales y residuales domésticas de forma directa y a través de alcantarillas urbanas; como resultado de ello el río se encuentra cada vez más contaminado.

Estudios o trabajos puntuales referidos al uso de las aguas o la clasificación de las aguas para fines agrícolas del río Jillusaya no se han hecho, pese a que sus aguas están siendo utilizadas para ese fin. En cuanto a estudios de contaminación del río Jillusaya sólo se ha encontrado estudios de evaluación de la contaminación de las aguas realizado por Flores (2009), y diseño de un sistema de riego para la Estación Experimental de Cota Cota (Apaza, 2011).

Desde que la Estación entro en servicio, los profesionales de la Facultad de Agronomía que trabajan en ella han prestado atención al control integrado de la contaminación del agua, tanto superficial como subterránea y los problemas de salinidad del suelo; sin embargo el factor económico y la falta de un laboratorio equipado para el control de las aguas ha impedido a la fecha contar con un monitoreo permanente de los niveles de de calidad de agua para riego agrícola.

El presente trabajo hace la evaluación de las aguas del río Jillusaya y la del manantial como posible agua para riego agrícola y está precedida por un estudio para la clasificación de tal manera que pueda ser aprovechada.

### **1.1. Justificación.**

Los problemas ambientales asociados al crecimiento de la mancha urbana son claramente notorios e impactan las aéreas circundantes a la zona de riego; entre ellos se destacan los problemas de salinidad del suelo y la contaminación del agua, tanto superficial como subterránea. Por eso, se hace necesaria la evaluación como posible agua para riego agrícola, la cual debe estar precedida por un estudio para su clasificación.

### **1.2. Objetivo general.**

Evaluar la calidad físico químico y microbiológico de las fuentes de agua de riego de la Estación experimental de Cota Cota.

#### **1.2.1. Objetivos específicos.**

- ✚ Determinar los parámetros fisicoquímicos de las dos fuentes de agua de riego.
- ✚ Analizar parámetros microbiológicos.
- ✚ Identificar los principales oligoelementos y elementos metálicos contenidos en las fuentes de agua.
- ✚ Caracterizar las fuentes de agua para uso agrícola.

### **1.3. Hipótesis.**

La calidad del agua de riego de la Estación Experimental de Cota Cota no es apta para su uso.

## **II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1. Calidad del Agua.**

La calidad del agua es una variable fundamental del medio hídrico, tanto en lo que respecta a la caracterización ambiental como desde la perspectiva de la planificación hidrológica. Este término puede responder a varias definiciones, que se han visto reflejadas en la legislación a lo largo del tiempo.

De forma tradicional se ha entendido por calidad de un agua al conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado. Esta definición ha dado lugar a diversas normativas, que aseguran la calidad suficiente para garantizar determinados usos, pero que no recoge los efectos y consecuencias que la actividad humana tiene sobre las aguas naturales (Romero, 2005).

### **2.2. Calidad de agua para riego.**

La calidad del agua destinada al riego de plantas como frutales, legumbres, cereales entre otros, necesita satisfacer un patrón de calidad. En tal sentido, no debe contener sustancias como el boro y metales pesados que son tóxicos para el suelo y las plantas. En el caso de los vegetales que se consumen en estado crudo, estos deben ser regados con aguas que satisfagan criterios más estrictos especialmente en lo que respecta a los parámetros microbiológicos, porque son muchas las enfermedades causadas por virus, bacterias, protozoarios o gusanos que se transmiten a través de esta vía (FAO,1985).



Por su parte Aceves y Palacios (1994), menciona, que la calidad del agua para riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación de su empleo con fines de riego de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas del agua: la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades de los suelos, las condiciones de manejo de los suelos y aguas y las condiciones climatológicas.

Romero (2005), indica que la aptitud del agua para uso agrícola depende de su efecto sobre el suelo y el cultivo, para mantener la calidad y productividad de los suelos cultivables, se debe controlar la calidad del agua para irrigación; la cual está influida principalmente por las siguientes características:

- Concentración total de sales solubles o salinidad.
- Proporción relativa de sodio con respecto a otros cationes.
- Concentración de boro y otros elementos que pueden ser tóxicos.
- En algunos casos, la relación entre la concentración de bicarbonatos y la dureza.

La calidad del agua de riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga; por tanto la calidad del agua es una consideración importante para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego (Siles, 1999).

Romero (2005), indica que el tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes:

- A corto plazo influye en la producción, calidad y tipo de cultivo.
- A largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar al suelo hasta hacerlo totalmente inservible para la agricultura.

### 2.3. Indicadores de calidad de agua de riego.

Para evaluar su aptitud con fines de riego, se debe hacer un muestreo representativo y luego en laboratorio, determinar parámetros físico-químicos que ayudaran a determinar los indicadores para la calificación del agua de riego.

La calidad del agua de riego está relacionado al análisis y anticipo de cuatro problemas: Salinidad, permeabilidad, toxicidad (por absorción radicular y foliar) y otros problemas; dichos indicadores que contemplan lo anteriormente mencionado se clasifican en: Indicadores de primer grado e indicadores de segundo grado.

#### 2.3.1. Indicadores de primer grado.

##### 2.3.1.1. Potencial de hidrógeno (pH).

El pH, es un valor variable entre 0 y 14 que mide cuantitativamente e indica la acidez o la alcalinidad de una solución (Masterton, 1974)

Para Seoanes (1999), el pH, es un parámetro que nos indica la concentración de protones (iones hidrogeno H<sup>+</sup>) presentes en una disolución acuosa; la expresión que nos da el pH de una disolución es una relación logarítmica representada por:

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

Donde:

**[H<sup>+</sup>]** = Concentración de protones en el equilibrio de la disolución en mol/L.

### 2.3.1.2. Conductividad Eléctrica (C.E.).

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, varía en función de la temperatura y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua; por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con los sólidos disueltos totales, (TDS) (Helmer, 1999).

El mismo autor, menciona que la medida de la conductividad eléctrica se realiza mediante un conductímetro provisto de célula de conductividad apropiada, expresado en diferentes unidades (Siemens/cm, mhos/cm) y sus equivalencias son las siguientes:  
 $1 \text{ dS/m} = 1 \text{ milimhos/cm} = 1000 \mu\text{S/cm}$ .

Para Vásquez (2000), la conductividad eléctrica, se determina en forma rápida y precisa y el agua utilizada para el riego tiene una CE normalmente entre 2,000 a 2,250 mmhos/cm.

Según Urbano (1995), para los problemas de salinización, utilizando la conductividad eléctrica (CE) del agua, propone la siguiente escala:

**Tabla Nº 1.** Clasificación del agua para riego según su conductividad eléctrica (CE).

Conductividad Eléctrica	Unidad	Clasificación
$CE \leq 0,7$	Milimhos / cm	No hay problema
$0,7 < CE \leq 3,0$	Milimhos / cm	Problema Creciente
$CE > 3,0$	Milimhos / cm	Problema grave

Fuente: Urbano P. (1995).

### 2.3.1.3. Contenido de sales solubles.

En la mayoría de los riegos los contenidos de sales solubles no son suficientemente altos para producir daño en las plantas sin embargo, cuando la concentración de las sales en el agua del suelo aumenta debido a la pérdida de humedad por

evapotranspiración, entonces sí estos se hacen nocivos debido a que producen presiones osmóticas en la solución del suelo que está en contacto con las raíces de la planta, las cuales al pasar de ciertos valores producen una disminución en los rendimientos o pérdida total de la cosecha; los contenidos permisibles de sales en el agua de riego son aproximadamente cinco veces menor que en el extracto de saturación del suelo (Aceves y Palacios,1994).

Los mismos autores mencionan, para estimar el contenido de las sales solubles en el agua de riego y sus posibles efectos sobre los cultivos se determina en forma rápida y precisa mediante la siguiente relación:

$$\text{S.T.} = \text{C.E.} * \text{K}$$

Donde:

- S.T. =** Concentración de sales totales (ppm = mg/L).  
**C.E. =** Conductividad eléctrica (micromohos/cm).  
**K =** Constante de proporcionalidad (0,64).

#### **2.3.1.4. Presión osmótica.**

El paso de moléculas de agua por una membrana a una solución puede impedirse aplicando presión a la solución, la presión externa justamente suficiente para impedir la ósmosis se llama Presión Osmótica de esa solución; a nivel de las plantas la presión osmótica mide la tensión que tiene que vencer la raíz de la planta para tomar agua y nutrientes de la solución del suelo (Serrano,.....)

El mismo autor menciona que existe una correlación de la conductividad eléctrica y presión osmótica mediante la siguiente ecuación:

$$\Psi_o = - 0,36*CE$$

**Donde:**

**$\Psi_o$**  = Presión osmótica expresado en bares.

**CE** = Conductividad eléctrica expresado en dS/m.

#### **2.3.1.5. Iones.**

##### **2.3.1.5.1. Cationes.**

Si se dispone de energía suficiente, es posible eliminar uno o más electrones de un átomo neutro, dejando una partícula de carga positiva que es algo menor que el átomo original, esta partícula cargada positivamente se llama catión (Masterton, 1974)

En un análisis de aguas para riego, es necesario determinar los siguientes cationes: Amonio ( $NH_4^{+1}$ ), Calcio ( $Ca^{+2}$ ), Magnesio ( $Mg^{+2}$ ), Sodio ( $Na^{+1}$ ) y Potasio ( $K^{+1}$ ), expresándolos en meq/L (Vásquez, 2000).

##### **2.3.1.5.2. Aniones.**

Pueden agregarse alternativamente electrones a ciertos átomos para formar especies de carga negativa que son algo mayores que el átomo del que se derivan, a estas partículas se las denomina aniones. (Masterton ,1974)

En un análisis de aguas para riego, es necesario determinar los siguientes aniones: Bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^{-1}$ ), Carbonatos ( $\text{CO}_3^{-2}$ ), Cloruro ( $\text{Cl}^{-1}$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4^{-2}$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^{-1}$ ) y Sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ). Y se expresan en meq/L. (Vásquez ,2000).

### 2.3.2. Indicadores de segundo grado

#### 2.3.2.1. Dureza

Se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón, para formar precipitados en el agua. Los principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son los siguientes:

- Cationes :  $\text{Ca}^{+1}$  ,  $\text{Mg}^{+2}$  ,  $\text{Sr}^{+2}$  ,  $\text{Fe}^{+2}$
- Aniones :  $\text{HCO}_3^{-1}$  ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ,  $\text{Cl}^{-1}$  ,  $\text{NO}_3^{-1}$

Según Vásquez (2000), indica que la dureza del agua, se refiere al contenido de Calcio, el cálculo se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza} = ([\text{Ca}^{+2}] * 2,5 + [\text{Mg}^{+2}] * 4,12)/10$$

**Donde:**

**Dureza** = Se expresa en grados hidrotimétricos.

La clasificación del agua en función de la dureza se muestra en la tabla N° 2.

**Tabla Nº 2.** Clasificación de las aguas en función de los grados hidrométricos Franceses

Tipo de agua	Grados Hidrométricos Francés (°F )
Muy Dulce	°F < 7
Dulce	7 < °F < 14
Medianamente Dulce	14 < °F < 22
Medianamente Dura	22 < °F < 32
Dura	32 < °F < 54
Muy dura	°F > 54

**Fuente:** Junta de Extremadura 1992, citado por Sánchez (2005).

### 2.3.2.2. Salinidad Efectiva (S.E.)

La Salinidad Efectiva (S.E.) es una estimación mas real del peligro que representan las sales solubles del agua para riego al pasar a formar parte de la solución del suelo pues considera la precipitación posterior de las sales menos solubles (carbonato de calcio y magnesio así como sulfato de calcio), las cuales dejan de precipitar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo. Este proceso es más notable cuando las aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos (Siles et al., 1999).

Para el cálculo de la salinidad efectiva se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

**1º Caso;** Si el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el contenido de calcio y existe magnesio en la solución, la salinidad efectiva será igual a la suma de cationes menos lo que puede formarse de carbonatos de calcio y magnesio expresado en meq/L

$$\text{S.E.} = \Sigma \text{ de cationes} - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

**2º Caso;** Si el contenido de calcio es mayor que el contenido de carbonatos y se tiene sulfatos presentes en solución entonces la salinidad efectiva será igual a la suma de cationes menos lo que puede formarse de carbonato de calcio y sulfato de calcio expresados en meq/L.

$$\text{S.E.} = \Sigma \text{ de cationes} - \text{Ca}^{+2}$$

**3º Caso;** Si el contenido de calcio y magnesio es mayor que el contenido de carbonatos y bicarbonatos en la solución entonces la salinidad efectiva sera igual a la suma de cationes menos la presencia de carbonatos de calcio y lo que puede formarse de magnesio.

$$\text{S.E.} = \Sigma \text{ de cationes} - (\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1})$$

Para clasificar las aguas en función a su salinidad efectiva S.E. se utiliza la tabla N° 3 y la tabla N° 4.



**Tabla Nº 3.** Clasificación de aguas para riego según su Salinidad Efectiva (S.E.).

Clase	Salinidad Efectiva (meq/L)
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Mas de 15

Fuente: Quino (2006).

**Tabla Nº 4.** Clasificación de aguas de riego según la salinidad efectiva y en función al tipo de suelo que se va aplicar (según Doneen).

Condición del suelo	Unidad	Buena	Dudosa a inadecuada	Inadecuada
Suelo pesado: Muy poco lavaje puede esperarse debido a la compactación	meq/L	<3	3-5	>5
	ppm	<165	165-275	>275
Suelo mediano: Algún lavaje, pero la percolación esta todavía restringida	meq/L	<5	5-10	>10
	ppm	<275	275-550	>550
Suelo liviano: Ninguna restricción de la percolación.	meq/L	<7	7-15	>15
	ppm	<388	385-825	>825

Fuente: Siles et al., (1999).

### 2.3.2.3. Salinidad Potencial (S.P.).

Cuando la humedad aprovechable de un suelo es menos del 50% las últimas sales que quedad en solución son cloruros ( $Cl^{-1}$ ) y sulfatos ( $SO_4^{-2}$ ). La salinidad potencial (SP) es un índice para estimar el peligro de estas y que por consiguiente aumentan la presión osmótica, (Siles et al., 1999). Este índice se calcula con la formula siguiente:

$$\text{S.P.} = [\text{Cl}^{-1}] + \frac{1}{2} [\text{SO}_4^{-2}]$$

Todos los iones se expresan en meq/L.

La tabla N° 5 muestra los valores y la clase de agua para riego según su salinidad potencial (S.P.).

**Tabla N° 5.** Clasificación de aguas para riego según su Salinidad Potencial (S.P.).

Clase	Salinidad Potencial (meq/L)
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Más de 15

Fuente: Quino (2006).

#### 2.3.2.4. Relación de Absorción de Sodio (S.A.R.)

Cuando la concentración de sodio en el agua es elevada en relación con los otros cationes este se acumula paulatinamente en el suelo y como consecuencia provoca la dispersión del suelo y hace que este pierda su estructura. Esto puede ejercer efectos secundarios importantes sobre el desarrollo vegetal ya que la pérdida de la estructura causa una aeración y permeabilidad deficientes (la permeabilidad del suelo, el agua y aire disminuye, se favorece la formación de costras, lo cual afecta o impide el desarrollo normal de los cultivos) así como una baja disponibilidad de agua. Para determinar estos efectos se ha propuesto los siguientes índices que, por una parte valora la proporción relativa de Sodio con respecto al Calcio y Magnesio si la proporción de Sodio es alta será mayor el peligro de sodificación y al contrario si predomina el Calcio y Magnesio el peligro es menor (Del Valle ,1992).

La relación de absorción de sodio puede usarse como “índice de sodio” o “del peligro de sodificación que tiene el agua”. Es calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{R.A.S} = \frac{\text{Na}}{\frac{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})}}{2}}$$

**Donde:**

**R.A.S.** = Relación de Absorción de Sodio.

**Na, Ca y Mg** = Cationes en meq/L.

La clasificación del agua de riego según su RAS se muestra en la tabla N° 6

**Tabla N° 6.** Valores de R.A.S. para clasificar aguas de riego.

Clasificación	Relación de Absorción de Sodio	
	CE= 100µmhos/cm	CE = 750µmhos/cm
<b>S.1.</b> Bajo en sodio	0 – 10	0 – 6
<b>S.2.</b> Media en sodio	10 – 18	6 – 12
<b>S.3.</b> Alta en sodio	18 – 26	12 – 18
<b>S.4.</b> Muy alta en sodio	>26	>18

Fuente: Del Valle (1992).

### 2.3.2.5. Carbonato Sódico Residual (C.S.R.).

Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el de calcio más magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio debido a que su alta solubilidad puede permanecer en solución aún después que se han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones, la concentración total y relativa de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y

magnesio del complejo de intercambio produciendo la degradación del suelo ( Aceves y Palacios ,1994).

Este constituye otro índice que calcula la acción degradante del agua. Las aguas recomendables para riego presentan un C.S.R. cuyo valor es inferior al 1,25 meq/L (Sánchez ,2005), se calcula a partir de:

$$\text{C.S.R.} = [\text{CO}_3^{-2}] + [\text{HCO}_3^{-1}] - [\text{Ca}^{+2}] - [\text{Mg}^{+2}]$$

**Donde:**

**C.S.R.** = Carbonato Sódico Residual (meq/L).

**[CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>]** = Concentración de carbonatos en meq/L.

**[HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>]** = Concentración de bicarbonatos en meq/L.

**[Ca<sup>+2</sup>]** = Concentración de calcio en meq/L.

**[Mg<sup>+2</sup>]** = Concentración de magnesio en meq/L.

La clasificación del agua según su carbonato sódico residual C.S.R. se muestra en la tablas N° 7.

**Tabla N° 7.** Clasificación del agua de riego según su Carbonato Sódico Residual (C.S.R.).

Clase	Valores de Carbonato Sódico Residual (meq/L)
Buena	Menos de 1.25
Dudosa a Inadecuada	1.25 – 2.5
No recomendable	Mayores de 2.5

**Fuente:** Palacios y Aceves (1994).

### 2.3.2.6. Porciento de Sodio Soluble (P.S.S.)

El índice de Porciento de Sodio Soluble (P.S.S.) está relacionado a aguas de irrigación y extractos de suelos para indicar la relación de iones de sodio en solución con relación a la concentración total de cationes solubles (Siles et al., 1999); se puede calcular con la formula siguiente:

$$\text{P.S.S.} = \text{Na} / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) * 100$$

Donde:

**Ca, Mg, Na y K.** Están expresados en meq/L.

La clasificación de las aguas de riego según su porcentaje de sodio soluble se muestra en la tabla N° 8.

**Tabla N° 8.** Clasificación de agua de riego según el Porciento de Sodio Soluble (P.S.S.).

Porciento de Sodio Soluble	Clasificación
<b>P.S.S. &lt; 50%</b>	Buena
<b>50% &lt; P.S.S. &lt; 66%</b>	Dudosa a inadecuada
<b>P.S.S. &gt; 66%</b>	Inadecuada

**Fuente:** Siles et al., (1999).

### 2.3.2.7. Porciento de Sodio Intercambiable (P.S.I.).

La presencia de sodio intercambiable crea condiciones de inestabilidad de los agregados del suelo y del sistema poroso, el hinchamiento y la dispersión coloidal restringen la permeabilidad del suelo al agua y gases y conduce consecuentemente a problemas de anegamiento, encostramiento, escurrimiento y pobre aireación, se lo

relaciona con la relación de adsorción de sodio (RAS) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{P.S.I.} = \frac{\text{RAS} * 0.01}{1 + (\text{RAS} * 0.01)} * 100$$

Para utilizar el PSI como índice de calidad del agua de riego se evalúa el riesgo de estas por la tendencia a desarrollar suelos sódicos y sus valores de riesgo se muestran en la tabla N° 9

**Tabla N° 9.** Clasificación de agua según el Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.).

Porcentaje de Sodio Intercambiable	Riesgo
P.S.I. < 5	Bajo
5 < P.S.I. < 15	Moderado
15 < P.S.I.	No recomendable

Fuente: Porta (2010).

### 2.3.2.8. Coeficiente alcalimétrico (Índice de Scott).

Este índice valora la calidad agronómica de un agua y evalúa la toxicidad que pueden producir las concentraciones de los iones cloruro y sulfato, aportadas con el agua de riego y que permanecen en el suelo tras formar cloruro y sulfato de sodio respectivamente (Sánchez, 2005). Las tablas N° 10 y N° 11 muestran el cálculo del índice de Scott.

**Tabla Nº 10.** Cálculo del índice de Scott.

meq/ L	mg/L
1° Caso : $Cl^{-1} \geq Na^{+1}$	$K_1 = 2040 / Cl^{-1}$
2° Caso : $Cl^{-1} < Na^{+1} \leq (Cl^{-1} + SO_4^{-2})$	$K_2 = 6.620 / 2,6Cl^{-1} + Na^{+1}$
3° Caso : $Na^{+1} > (Cl^{-1} + SO_4^{-2})$	$K_3 = 662 / Na^{+1} - 0,32Cl^{-1} - 0,43SO_4^{-2}$

Fuente: Cánovas 1986, citado por Sánchez (2005).

**Tabla Nº 11.** Calidad del agua según los valores del índice de Scott.

Valores de K ( $K_1, K_2, K_3$ )	Calidad del Agua
Buena	$K > 18$
Tolerable	$18 > K > 6$
Mediocre	$6 > K > 1.2$
Mala	$6 > K > 1.2$

Fuente: Cánovas 1986, citado por Sánchez (2005).

### 2.3.2.9. Relación de calcio o Índice de Kelly.

Se utiliza junto con el índice de Eaton para determinar el riesgo de alcalinización, se define mediante la siguiente ecuación.

$$I.K. = \frac{Ca}{(Ca+Mg+Na+K)} * 100$$

El índice de Kelly establece que aquellas aguas cuyo valor es superior a un 35% son buenas para su utilización en el riego.

## **2.4. Normas para la clasificación del agua para riego.**

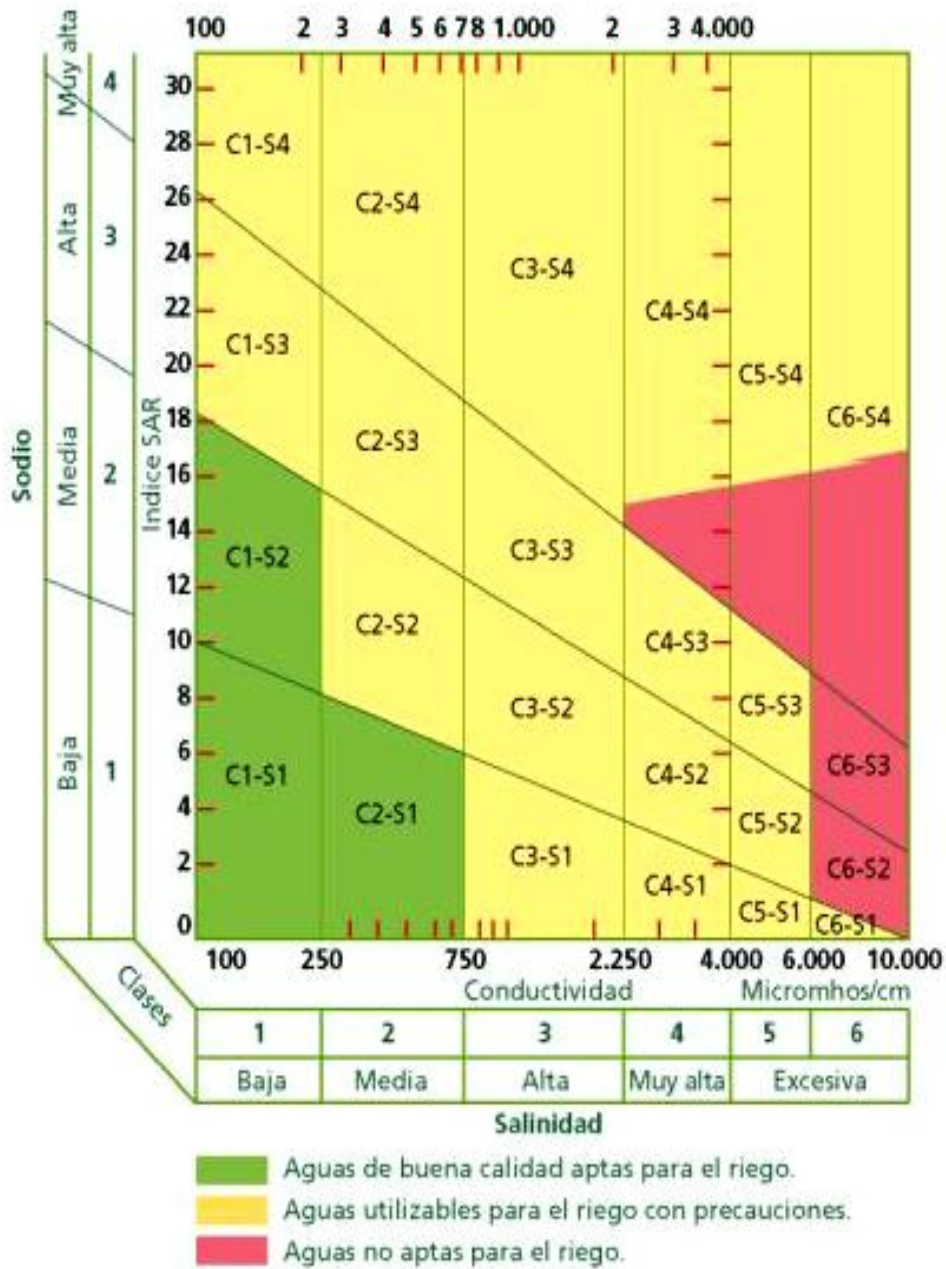
### **2.4.1. Norma Riverside.**

La Norma Riverside es un sistema para la clasificación de las aguas para riego desarrollado por el servicio de agricultura de los EEUU. Tienen gran aceptación nacional porque basa su estructura en relación a dos criterios importantes, la conductividad eléctrica (uS/cm) y el índice de RAS. Según estos dos índices se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S (primeras iniciales de cada uno de los índices escogidos) afectadas de un subíndice numérico (Tabla N° 12 y N° 13), cuyo valor aumenta en relación con el del índice respectivo, estos subíndices varían entre 1 y 4, tanto para la conductividad eléctrica como para el SAR. De acuerdo con esta Norma es posible determinar la calidad del agua y establecer si es apta para el riego. (Urbano, 1980).

Debemos tener en cuenta que la permeabilidad del sustrato influye notablemente en la definición de la calidad de agua de riego ya que es necesario conocer el tipo de suelo para determinar el riesgo de salinidad y de sodio. También es aconsejable considerar el análisis del suelo para prever la interacción del agua de riego que va a ser determinante sobre la nutrición de la planta.



Figura N° 1. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Según USDA)



Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab de suelos IRYDA. 1973), citado por Pérez (2011).

**Tabla Nº 12.** Peligro de salinidad en términos de conductividad eléctrica (Según USDA)

Categorías de Clasificación	Rango de Variación C.E. a 25°C	Observaciones a considerar
Agua de baja Salinidad C1	0 – 250 µS/cm	Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero este se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelo de muy baja permeabilidad
Agua de salinidad media C2	250 – 750 µS/cm	Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se puede producir plantas moderadamente tolerantes a las sales
Agua altamente salina C3	750– 2250 µS/cm	No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado. Se puede necesitar practicas especiales de control de la salinidad, debiendo por lo tanto seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales
Agua muy altamente salina C4	2250-5000 µS/cm	No es apropiado para riego bajo condiciones ordinarias pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales

Fuente: Siles et al., (1999).

**Tabla N° 13.** Peligro de sodificación o alcalinización en términos de Relación de Adsorción de Sodio (según USDA)

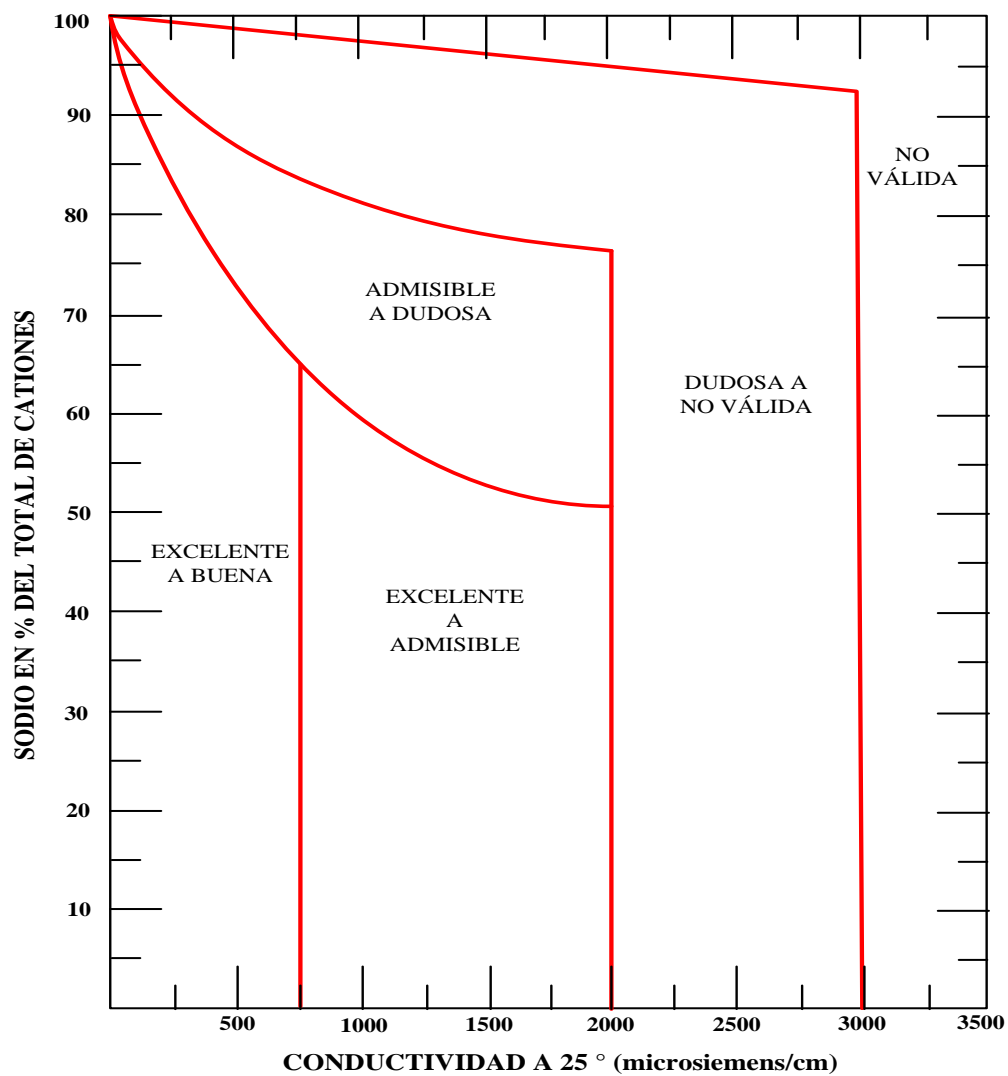
Categorías de Clasificación	Rango de Variación SAR	Observaciones a considerar
Agua baja Sodio S1	0 – 10	Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio
Agua media en sodio S2	10 – 18	En suelos de textura pesada (fina) el sodio representa un peligro considerable, mas aun si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio cationico, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo pueden usarse en suelos de textura liviana (gruesa) o en suelos orgánicos de buena permeabilidad
Agua alta en sodio S3	18 – 26	Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que estos necesitaran practicas especiales de manejo buen drenaje ,fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesiferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas. Puede requerirse de mejoradores químicos para sustituir al sodio intercambiable; sin embargo tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad
Agua muy alta en sodio S4	26 – 30	Es inadecuado para riego cuando su salinidad es baja o media cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico de esta clase de aguas

Fuente: Siles et al., (1999).

### 2.4.2. Norma L.V. Wilcox

La Norma L.V. Wilcox es un modelo que nos sirve para clasificar la calidad de agua de riego según la aptitud de uso tomando como base la conductividad eléctrica del agua y la relación de absorción de sodio.

**Figura N° 2.** Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego. (Adaptado de “The Quality fo wáter for Irrigation USE”, U.S.D.A)

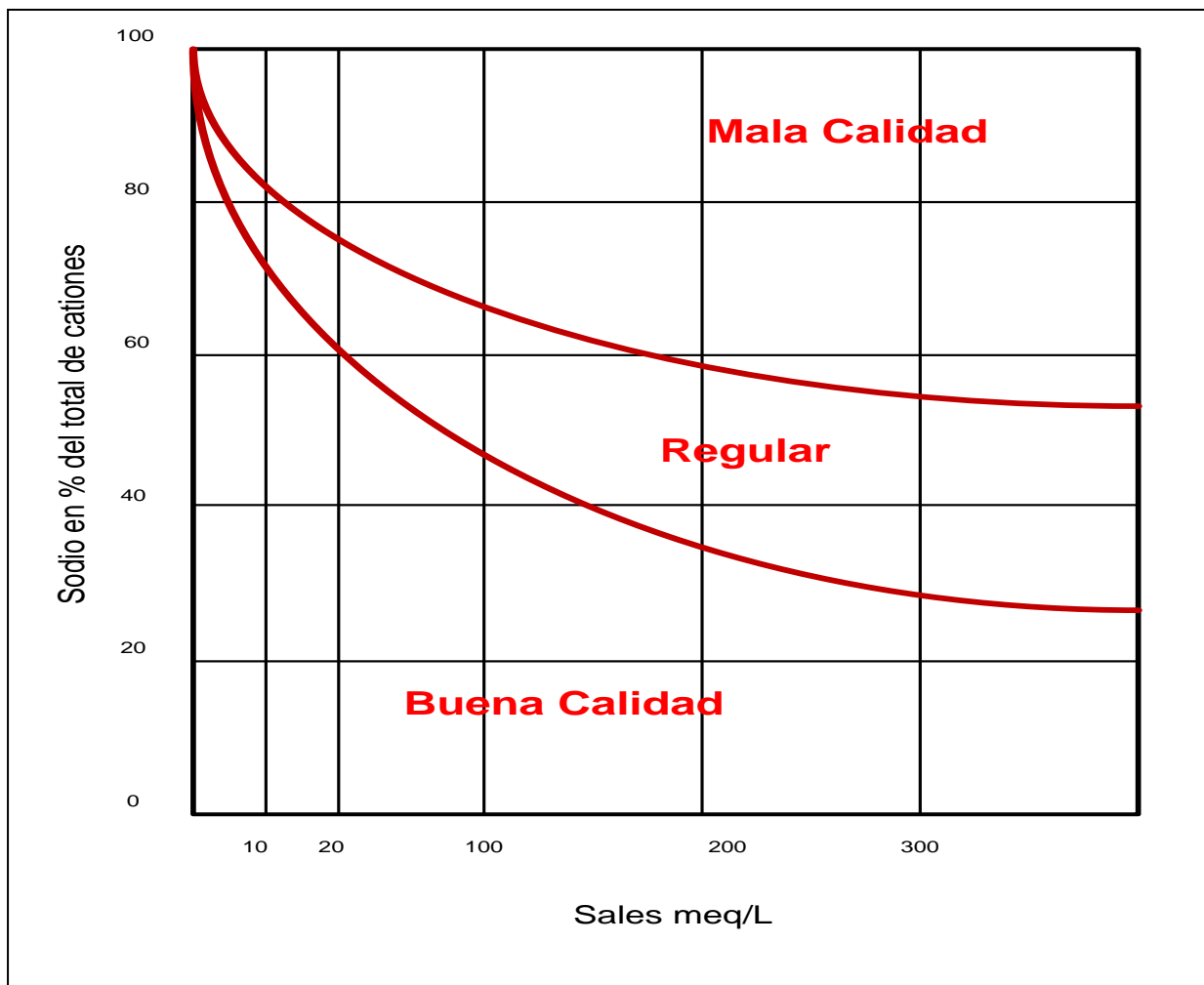


**Fuente:** Cánovas (1986).

**2.4.3. Norma H. Greene (F.A.O.)**

La norma H. Greene toma como base la concentración total de sales expresadas en meq/l con relación al porcentaje de sodio, este porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en meq/L (Fig. N° 3).

**Figura N° 3.** Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego.  
(Adaptado de Utilisatión desterrres salines, H. Greene, F.A.O)



Fuente: Cánovas (1986).

## 2.5. Toxicidad.

Los problemas de toxicidad surgen cuando ciertos elementos (iones) del suelo o del agua, son absorbidos por las plantas y acumulados en sus tejidos en concentraciones lo suficientemente altas como para provocar daños y reducir sus rendimientos. La magnitud de estos daños depende la cantidad de iones absorbidos y de la sensibilidad de las plantas; los cultivos perennes son los más sensibles. Los iones de mayor importancia son el cloro, el sodio y el boro. (Ayers Westcol, 1994).

Los iones tóxicos más comunes presentes en las aguas residuales son Boro, Cloruro y Sodio. (Aceves y Palacios ,1994). Sus niveles de toxicidad expresados en meq/ L se muestran en la tabla N° 14.

**Tabla N° 14.** Iones tóxicos presentes en las aguas.

Niveles tóxicos de iones específicos	Boro (meq/L)	Cloruros (meq/L)	Sodio (meq/L)
Ninguno	<1	1 – 3	< 3
Ligero a moderado	<3	3 – 9	< 9
Severo	<4	9 – 10	< 10

**Fuente:** Palacios y Aceves 1970, Del Valle 1992; Aguilera y Martínez 1996; Marín 2002, citado por Pérez (2011).

### 2.5.1. Concentración de Boro.

El Boro se halla presente en el agua de riego en concentraciones que varían desde trazas hasta varias parte por millón, es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas convirtiéndose en un elemento toxicó cuando excede su nivel optimo el mismo que considera menor a 0,33 ppm para cultivos sensibles hasta 1,00 ppm para cultivos tolerante y se expresa en ppm (Vásquez, 2000).

La calidad del agua en relación al contenido de Boro se observa en la tabla N° 15.

**Tabla N° 15.** Calidad del agua en relación a su contenido en Boro.

Clase respecto al boro	Cultivos Sensibles ppm	Cultivos Semi tolerantes ppm	Cultivos Tolerantes ppm
1	< 0,33	< 0,67	> 1,00
2	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
3	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
4	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
5	> 1,25	> 2,50	> 3,75

**Fuente:** Cadahia 1997, citado por Sánchez (2005).

Los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) toxicidad. Los síntomas de toxicidad son normalmente mostrados en las hojas viejas como amarillamiento.

### 2.5.2. Concentración de cloruros.

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. Concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos, los frutales suelen ser bastante sensibles y su sensibilidad depende en gran parte del porta injerto empleado. Los cloruros son los más peligrosos y su toxicidad se presenta en el agro en forma de quemaduras en las hojas, en particular en el ápice.

### **2.5.3. Concentración de sodio.**

Elevados contenidos de sodio pueden afectar a las plantas y también producir problemas de permeabilidad en los suelos. Algunos de los cultivos más sensibles al sodio son el almendro, el aguacate, los frutales de hueso y los cítricos. Suelen indicar problemas de toxicidad en la mayoría de árboles frutales y cítricos.

Su toxicidad se manifiesta en la planta en forma de quemaduras en los bordes de las hojas. La alta concentración de sales disminuye la posibilidad de las raíces de absorber agua; la elevada concentración de sodio reduce la permeabilidad del suelo esto es porque el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones. El calcio y el magnesio son cationes que forman parte de los complejos estructurales que forman el suelo generando una estructura granular apropiada para los cultivos. El exceso de iones de sodio desplaza el calcio (Ca) y magnesio (Mg) y provoca la dispersión y desagregación del suelo. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire a través de los poros.

### **2.6. Parámetros de calidad bacteriológica del agua.**

El agua destinada al consumo humano y uso doméstico debe estar libre de patógenos. La mayor parte de las enfermedades transmitidas a través del agua tienen su origen en la ingestión de agua contaminada por microorganismos de origen fecal. (Henry y Heinke, 1999) y por lo tanto producen cuadros diarreicos en las personas. Existen muchas fuentes de contaminación, dentro de las más comunes se encuentra la ingestión de alimentos o agua contaminada con heces que provienen del tracto gastrointestinal del hombre y otros animales de sangre caliente. Los principales indicadores para la evaluación de la calidad bacteriológica del agua son los coliformes fecales y la bacteria *Echericha coli*, ambos provienen de las heces de origen humano y animal.

La OMS en 1989 Estableció los criterios básicos para la protección sanitaria de los grupos en riesgo que utilizan sistemas de reuso en la agricultura y recomienda las



guías microbiológicas que fueron el resultado de un largo proceso de preparación con el fin de lograr calidad microbiológica de las aguas residuales (Helmer, 1999).

La guía microbiológica para el uso de las aguas residuales en la agricultura se muestra en la tabla N° 16.

**Tabla N° 16.** Guía microbiológica para el uso de aguas residuales en la agricultura.

<b>Categoría</b>	<b>Condiciones de reúso</b>	<b>Grupo expuesto</b>	<b>Nematodos (1) (numero de huevos Por 100ml) (2)</b>	<b>Coniformes Fecales (numero de huevos por 100 ml )(3)</b>	<b>Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica Requerida</b>
<b>A</b>	<b>Riego de cultivos que pueden ser consumidos crudos, campos deportivos, parques públicos (4)</b>	Trabajadores consumidores publico	≤ 1	≤ 1.000	<b>Serie de lagunas de estabilización diseñadas para lograr la calidad microbiológica indicada o el tratamiento equivalente</b>
<b>B</b>	<b>Riego de cereales, cultivos industriales, forraje, pastizales y árboles (5)</b>	Trabajadores	≤ 1	N A	<b>Retención de las lagunas de estabilización por 8 a 10 días o remoción equivalente de coniformes fecales y helmintos</b>
<b>C</b>	<b>Riego localizado de cultivos de la categoría B si no hay exposición de los trabajadores y público.</b>	ninguno	N A	N A	<b>Pre tratamiento requerido para el riego; sedimentación primaria como mínimo</b>

Fuente: OMS (1989)

**Donde:**

**NA** No aplicables

**1** Ascaris, trichuris y nematodos parásitos

**2** Durante el periodo de riego. Media aritmética

**3** Durante el periodo de riego. Media geométrica

**4** Una guía más estricta (200 coliformes fecales por 100 mL) es adecuada para jardines públicos, como los de los hoteles donde el público puede tener contacto directo

**5** En el caso de frutales, el riego debe interrumpirse dos semanas antes de la recolección y no se debe recoger ninguna fruta del suelo. No se debe aplicar riego por aspersión

.

**2.6.1. Coliformes.**

El grupo Coliformes incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas Gram-negativa, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un periodo de 48 horas a 35°C o 37°C. (Romero, 2005).

Dentro de los coliformes totales se encuentra el sub grupo de coliformes fecales o coliformes termo tolerante, estas bacterias presentan las mismas características que el grupo total y su única diferencia se refiere a que se desarrollan a temperaturas de 44°C a 45°C. (Valenzuela, 1995).

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44,5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Los Coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. OMS, (1989).

### **2.6.2. Echerichia coli (E. coli).**

Echerichia coli es una bacteria que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, es un huésped constante del intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, que puede causar infecciones gastrointestinales (APHA et.al. 1995). Por su especificidad, está considerada como un buen índice de contaminación fecal reciente, la cuál relacionada con las descargas de agua residuales domésticas (OMS, 1995), por lo que su detección implica investigar las fuentes potenciales o el sistema de distribución (WHO, 2001). Se considera el índice de contaminación fecal más adecuado.

### **2.6.3. Salmonelas.**

Son bacterias gram negativas, aeróbicas facultativas, también pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae y relacionadas con Echerichia coli, Shigelia spp. y otras bacterias entéricas. Estas bacterias pueden causar diferentes cuadros clínicos, como fiebre tifoidea y salmonelosis, que son enfermedades gastrointestinales transmitidas por los alimentos (Henry y Heinke, 1999). Normalmente habitan en el intestino de algunos animales y pueden encontrarse en las aguas residuales: El ser humano puede ingerir alimentos contaminados por parte de los manipuladores de alimentos (contaminación cruzada) o contaminarse de productos de origen animal, como los pollos y el ganado que puedan ser portadores de salmonellas, las cuales pueden pasar a los alimentos frescos tales como la leche, los huevos, y productos derivados como queso, mantequilla, lácticos y aquellos que incluyan huevos sin cocinar como la mayonesa. Otros alimentos comúnmente implicados en los brotes de salmonela son las carnes y los productos cárnicos como hamburguesas, albóndigas, salchichas crudas pero no cocinadas (Madigan et.al. 2004).

#### **2.6.4. Elementos traza.**

Son necesarios normalmente en cantidades muy reducidas, para el crecimiento, desarrollo y fisiología de plantas. Afortunadamente, la mayoría de los proveedores de regadío y efluentes de aguas residuales contiene cantidades pequeñas de los elementos traza con lo cual no supone ningún riesgo para la irrigación con aguas recicladas (Porta, 2010).

Sin embargo, más de 85% de los elementos traza aplicados suelen acumularse en el suelo y pueden drenar a las aguas subterráneas provocando problemas de contaminación. El límite de toxicidad dependerá del tipo de planta. Esto además dependerá del tipo de suelo. Cuando un elemento se añade al suelo por irrigación, este puede que se inactive químicamente y no reaccione o puede ser que se acumule y crezca su nivel debido a las reacciones que se producen con otros elementos químicos que forman los complejos estructurales del suelo alcanzando niveles tóxicos (Porta, 2010).

Los sistemas de irrigación pueden afectar la absorción de elementos tóxicos por la planta. Por ejemplo, sistemas humidificadores rociados pueden producir un riesgo alto de absorción de estos elementos tóxicos en las hojas (Usón et al, 2010).

La norma Chilena 1333 muestra en la tabla N° 17 las concentraciones máximas de elementos químicos en aguas para riego.

**Tabla Nº 17.** Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego.

Elementos	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	4,00
Boro (B)	mg/L	0,75
Cadmio (Cd)	mg/L	0,010
Cloruro (Cl-)	mg/L	200,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,050
Cobre (Cu)	mg/L	0,20
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Hierro (Fe)	mg/L	5,00
Litio (Li)	mg/L	2,50
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Níquel (Ni)	mg/L	0,20
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Selenio (Se)	mg/L	0,020
Zinc (Zn)	mg/L	2,00

Fuente: Norma Chilena 1333.

### **III. LOCALIZACION.**

#### **3.1. Ubicación Geográfica.**

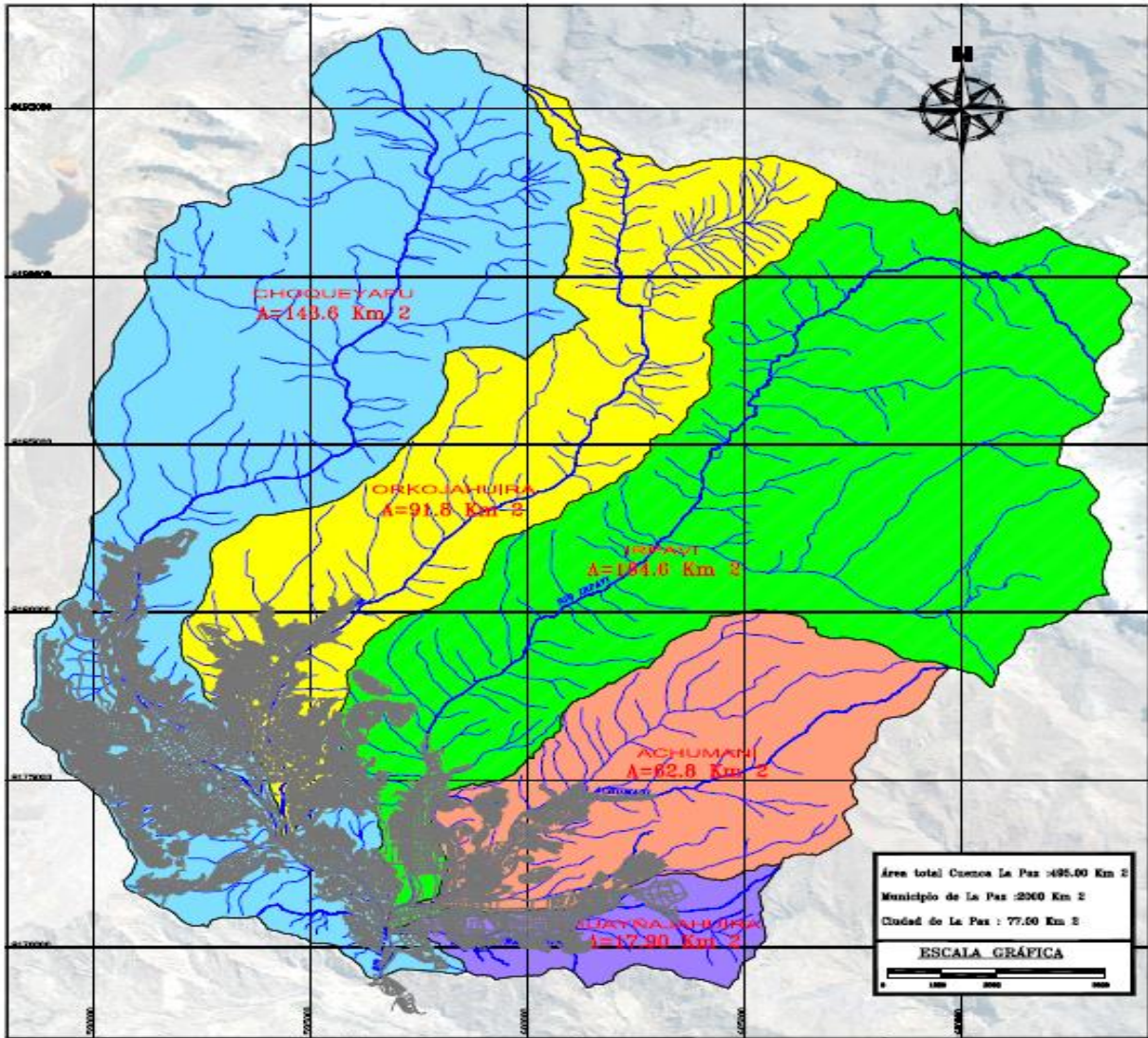
El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Cota Cota, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés; comprende una superficie de 8,79 Hectáreas y se constituye parte del campus Universitario, ubicado al sur este de la ciudad de La Paz a orillas del río Jillusaya.

La Estación Experimental, se encuentra a una altura aproximadamente de 3428 m.s.n.m. situándose a  $16^{\circ}32'10,22''$ , latitud Sur. y  $68^{\circ}03'51,66''$ , longitud Oeste.(Google image 2015).

El punto de muestreo del manantial se encuentra ubicado a  $16^{\circ}32'12,04''$  latitud sur y  $68^{\circ}03'51,65''$  longitud oeste, el punto de muestreo del tanque se encuentra ubicado a  $16^{\circ}32'12,27''$  latitud sur y  $68^{\circ}03'51,90''$  longitud oeste, mientras que el punto de muestreo del canal de riego se encuentra ubicado a  $16^{\circ}32'13,06''$  latitud sur y  $68^{\circ}03'51,91''$  longitud oeste.

La cuenca del río Jillusaka llamado también río Wila Cota corresponde al valle alto de La Paz, forma parte de la de la cuenca del río Achumani inferior con un área de 19, 2 km<sup>2</sup> de los cuales el 32 % corresponde a la cuenca Jillusaya; el punto más elevado de la cuenca Achumani está a 4400 m.s.n.m y los puntos más bajos a 3200 m.s.n.m., en la confluencia del río Achumani con el río Irpavi. (Vargas, 1992)

Figura Nº 4. Mapa de ubicación de la Cuenca Jillusaya.



Fuente: Vargas (1992).

### 3.2. Características ecológicas.

#### 3.2.1. Clima.

La zona de Cota Cota presenta un patrón climático unimodal, que se caracteriza por tener una época húmeda en los meses de octubre a marzo y una época seca en los meses de abril a septiembre (Zeballos, 2000).



### **3.2.2. Temperatura.**

Presenta una temperatura media de 11,5°C, alcanzando una temperatura mínima durante la época seca registrándose 0°C en los meses de junio y julio causando daño a las plantas, las máximas temperaturas de 28°C y 29°C se registran en los meses de noviembre y diciembre provocando desecación y marchitamiento en las plantas; estos meses también se tienen los valores más altos de radiación (Zeballos, 2000).

### **3.2.3. Vientos.**

Los vientos de mayor intensidad son los de dirección y sudoeste y se manifiestan a partir de los meses de julio a septiembre (Zeballos, 2000)

### **3.2.4. Suelos.**

De acuerdo a la clase textural que presenta los suelos de Cota Cota va desde franco a franco limoso, en general son suelos fértiles; la topografía del lugar se caracteriza por ser relativamente accidentada con pendientes regulares a fuertes.

Los suelos son utilizados para la producción de hortalizas como lechuga, acelga, pimentón, frutillas, árboles frutales, cebolla, maíz, papa, rosas y diferentes cultivos de especies forrajeras.

## **3.3. Geología.**

La cuenca Achumani está subdividida en superior e inferior, la inferior a la vez se subdivide en las cuencas Huayllani y Kellumani y presenta tres ríos principales: El río Achumani, cuyo lecho es de 700m de ancho y en cuya parte final desembocan el río Jillusaya o Wila Cota con un ancho máximo de 80 m y el río Koani con 70 m de ancho (Vargas, 1992).



En su curso estos ríos han depositado sedimentos, formando estratos con una distribución granulométrica variada: Gravosa en la parte alta y limo-arcillosa en la parte baja. Además, un sector intermedio conformado por estratos arenosos y gravosos intercalados y de formas lenticulares.

### **3.4. Fauna y flora.**

El área de estudio, cuenta con especies como: eucalipto (*Eucalyptus globulus*), acacias (*Acacia floribunda*), chilcas (*Braccharis sp*), también existen especies de las familias Poaceae y Chenopodiaceae con predominancia de cultivos agrícolas bajo riego. La crianza de conejos, cuyes, aves de corral y porcinos entre otros es característico en la Estación Experimental de Cota Cota.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **4.1. Materiales.**

#### **4.1.1. Materiales de Laboratorio.**

- Espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer)
- Lámpara de cátodo hueco del elemento respectivo
- Vasos de 250 mL
- Frascos volumétricos de 25; 50; 100, 200 y 1 000 mL
- Pipetas volumétricas clase A de diferentes volúmenes
- Embudos
- Papel de filtro Whatman N° 40
- Agua ultra pura grado reactivo tipo 1 según especificación del standard methods
- Acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), calidad especial
- Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado (65 %), p.a.
- Solución madre 1 g elemento/L (Perkin Elmer)
- pHmetro,
- Conductímetro
- Otros reactivos

#### **4.1.2. Materiales de campo.**

- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Etiquetas
- Bolígrafos
- Planillas de registro
- Recipientes (frascos)
- Marcador

#### 4.1.3. Materiales de gabinete.

- Computador
- Hojas bond tamaño carta
- Impresora

#### 4.2. Metodología.

##### 4.2.1. Procedimiento de investigación.

Se eligieron tres puntos de muestreo definidos y acordados con los responsables de la Estación Experimental de Cota Cota. El primer punto se ubicó en la entrada del agua del río Jillusaya a la estación experimental; el segundo punto en el ojo del Manantial y finalmente el tercer punto en el tanque de almacenamiento de agua del manantial.

Las estaciones de muestreo se referenciaron geográficamente utilizando un Sistema de Posicionamiento Geográfico y posteriormente se realizó el trazo del recorrido.

**Figura Nº 5.** Ubicación de los puntos de muestreo.



El muestreo fue realizado en dos épocas del año época seca mes de junio y época de lluvias mes de febrero en días normales de riego.

Se tomaron muestras simples para determinar cualitativa y cuantitativamente la calidad del agua de cada uno de los puntos de muestreo. Para el análisis de parámetros físico químicos se tomó 1 litro de muestra sin tratamiento ni adición de conservantes cumpliendo el siguiente procedimiento: Antes de recoger la muestra se lavaron las botellas tres veces con la misma agua; los envases se llenaron hasta el borde, procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y el tapón de cierre. El transporte de las muestras se realizó teniendo el cuidado de asegurarnos que los envases estén cerrados herméticamente resguardados de la luz y evitando que la muestra se caliente. La entrega en el laboratorio se realizó, dentro de las 24 horas posteriores a la toma.

Las muestras destinadas al análisis de metales pesados fueron tratadas de forma diferente, ya que se adicionó 5 ml de HNO<sub>3</sub> calidad suprapura por cada litro de muestra, se adicione el acido hasta lograr un pH menor a 2.

El pH, la temperatura (°C), la conductividad eléctrica (CE) y los sólidos suspendidos totales (SST), se determinaron in situ con el equipo portátil METTLER TOLEDO MX300; los resultados se corroboraron en el laboratorio llevando las muestras a las mismas condiciones de campo con un aparato ACCUMET AR50.

Para los análisis tanto fisicoquímicos como de metales, previo al muestreo, todas las botellas fueron etiquetadas indicando los siguientes datos:

- Referencia de la muestra.
- Nombre de quien ha realizado la toma de muestra.
- Fecha y hora de toma de muestra.
- Identificación del punto de muestreo.
- Adiciones (acidificación, conservantes, etc.).

Para el análisis microbiológico se cumplió con procedimientos normalizados para el efecto, previo a la toma de muestra los frascos fueron sometidos al proceso de esterilización, luego de ser etiquetados se llevaron los frascos en un autoclave para realizar la toma de muestras en el manantial, tanque y río.

Los parámetros a estudiar se agruparon en cuatro categorías:

- 1) **De campo:** Temperatura (°C), conductividad eléctrica (CE), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST).
  
- 2) **Fisicoquímicos:** Cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, dureza, Nitratos, pH, Conductividad, sólidos disueltos totales, nitratos, fueron realizados en el Laboratorio de Calidad Ambiental LCA, perteneciente a la Carrera de Biología, ubicado en el Campus Universitario de Cota Cota, UMSA y se realizaron según los procedimientos normalizados para aguas potables y residuales.
  
- 3) **Metales.** La determinación de los oligoelementos y elementos metálicos fueron realizados en el Laboratorio Químico del IGEMA de la Carrera de Ciencias Geológicas de la UMSA, ubicado en el Campus Universitario de Cota Cota, a través del análisis por espectroscopia de absorción atómica e ICP, cumpliendo con normas y procedimientos propios para el análisis de aguas.
  
- 4) **Bacteriológicos.** Para el análisis bacteriológico se utilizaron frascos estériles de 500 mL. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Química, perteneciente a la Carrera de Ciencias Químicas, ubicado en el Campus Universitario de Cota Cota, UMSA, se realizaron según los procedimientos normalizados para aguas potables y residuales.

Los métodos utilizados para los análisis físico químicos, metales y bacteriológicos se resumen en la Tabla N° 17.

**Tabla Nº 17.** Métodos para el análisis físico químico y bacteriológico.

Parámetro	Método	Limite de detección
pH	Potenciométrico	1-14
Conductividad	Coductimetria	1,0
Nitratos	Cromatografía de Iones	0,30
Fosfatos	Cromatografía de Iones	0,040
Sulfatos	Cromatografía de Iones	1,0
Cloruros	Cromatografía de Iones	0,020
Na, K, Mg, Ca	Absorción Atómica	-
Metales pesados	ICP	-
Boro	ICP	-
Carbonatos	Volumetría	3,0
Bicarbonatos	Volumetría	6,0
Coliformes fecales	Número más probable	2,0
Escherichia coli	Número más probable	2,0

**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis del laboratorio LCA, IGMA y QUIMICA

Finalmente se calcularon los valores de la dureza, salinidad efectivo (S.E.), salinidad potencial (S.P.), relación de adsorción de sodio (S.A.R.), carbonato sodio residual (C.S.R.), porcentaje de sodio soluble (P.S.S.), porcentaje de sodio intercambiable, el índice de Scott y el índice de Kelly.

#### 4.2.2. Análisis químico.

##### 4.2.2.1. Potencial de hidrógeno.

Se realizó, en laboratorio con un pH-metro marca ACCUMET AR50, para la calibración del equipo se utilizó tres soluciones tampón: una de pH 4, la segunda de pH 7 y finalmente de pH 9,1; luego se procedió a determinar el pH de las muestras.

#### **4.2.2.2. Conductividad eléctrica.**

Se utilizó un medidor de conductividad marca ACCUMET AR50, equipada con sensor de temperatura y celdas de conductividad, el procedimiento de medición consistió en medir la conductividad de la solución estándar de Cloruro de Potasio a 25°C. Esta conductividad fue de 1412  $\mu\text{mhos/cm}$ , que fue la esperada. Se enjuagó la celda con tres porciones de la muestra a analizar, se ajustó la temperatura de la porción de muestra a  $15 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . y finalmente se midió la conductividad de las muestras.

#### **4.2.2.3. Alcalinidad.**

Mediante la titulación con fenolftaleína como indicador y ácido clorhídrico como titulante se midió el pH de la muestra y a continuación se tomó una alícuota de muestra en un matraz erlenmeyer. La titulación fue hasta pH 8,3 con solución estandarizada de ácido clorhídrico 0,01N y se registró el volumen del titulante agregado; se continuó la titulación hasta pH 4,5 y nuevamente se registró el volumen total del titulante agregado como esta descrito en el método 2320

#### **4.2.2.4. Cloruros.**

Se tomo 100 mL, de muestra o una porción de ella diluida a 100 mL, en un matraz erlenmeyer de 250 mL. Luego se ajusto el pH de la muestra a un rango de 7 a 10, utilizando solución de ácido sulfúrico 1N, o solución de hidróxido de sodio 1N. , se adicionó 1 mL aproximadamente de solución indicador de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  y se procedió a titular con solución de Nitrato de plata estandarizada, hasta el punto final indicado por el viraje del indicador a leve coloración rojo ladrillo. Se registre el gasto. Ver método 4500-CI B.

#### 4.2.2.5. Fosfatos

Se tomo 40 mL de la muestra filtrada y sin conservante en un matraz aforado de 50 mL. Se adiciono consecutivamente en forma estricta las soluciones siguientes: 1 mL de solución de ácido ascórbico y luego 2 mL de la solución de molibdato, se agito y se aforo a 50 mL. Se dejo en reposo por 30 minutos y a continuación se determino la concentración de ortofosfato a 880.0 nm, usando las condiciones del equipo. Ver método 4500-P

#### 4.2.2.6. Sulfatos

Se tomo 100 mL de la muestra filtrada y ajustada a pH 7 en un matr az de aforo de 250 mL, se adiciono 20 mL de solución buffer y se agito con agitador magnético. Se Agrego cristales de cloruro de bario, hasta que la turbidez no aumente más. Finalizada la agitación se espero 10 +/- 0.5 minutos y se tomaron datos de las absorbancias de las muestras en el espectrofotómetro UV-visible a una longitud de onda de 420 nm. Ver método 4500-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>.

#### 4.2.2.7. Concentración de Sales

Se analizaron Ca, K, Mg y Na, por espectroscopia de absorción atómica, utilizando para ello el método 3111 y el equipo Hitachi modelo 180-30. La técnica consiste en:

- La preparación de la muestra para su lectura por Absorción atómica (AA).
- Filtración de la muestra por 0,45 µm para determinar metales disueltos.
- Se ajustaron las condiciones optimas de operación del equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- Se ajustaron las condiciones instrumentales específicas de cada elemento.
- Se realizaron las lecturas de las muestras estándares y muestra de referencia.



#### **4.2.2.8. Caracterización de elementos metálicos**

Para cada una de las muestras de aguas, se determinó los contenidos de aluminio (Al), antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni), Selenio (Se), plomo (Pb), zinc (Zn) y los contenidos de estos elementos se determinaron a través de un espectrómetro de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y absorción atómica (AA).

#### **4.2.2.9. Preparación de la Muestra para su Lectura en ICP**

Los blancos fueron tratados de la misma manera que las muestras de agua y se utilizaron dos blancos. Además, se utilizó un duplicado en cada medición y como material de referencia se utilizó una muestra de agua superficial y otra subterránea.

El equipo ICP-OES, presenta como ventajas la rapidez de análisis, excelente sensibilidad y precisión.

Para realizar la curva de calibración del equipo se utilizó un estándar ICP multielementos solución IV marca MERCK que contiene 1000 mg/mL.

Las concentraciones utilizadas para construir la curva estándar fueron desde 0.001 hasta 100 ppm.

#### **4.2.2.10. Preparación de la muestras para el análisis microbiológico.**

Se tomaron las muestras en los tres puntos de muestreo en frascos esterilizados en un volumen de 150 mL, luego se las llevo al laboratorio para su análisis. Inicialmente se

preparo el material para el análisis como son las cajas petri y tubos de ensayo que fueron previamente esterilizadas en una estufa a 120°C.

El método que se utilizó fue el de membrana filtrante que consiste en filtrar un determinado volumen de agua a través de la superficie de una membrana, reteniendo a las bacterias, aplicando un sistema de filtración por presión negativa o succión, luego se colocó la membrana sobre un medio de cultivo específico (Plate Count Agar para Coliformes totales y E. Coli Selectivo para coliformes fecales), posteriormente, se realizó la incubación a la temperatura y tiempo requerido.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.**

### **5.1. Características Fisicoquímicas**

#### **5.1.1. Parámetros de primer grado**

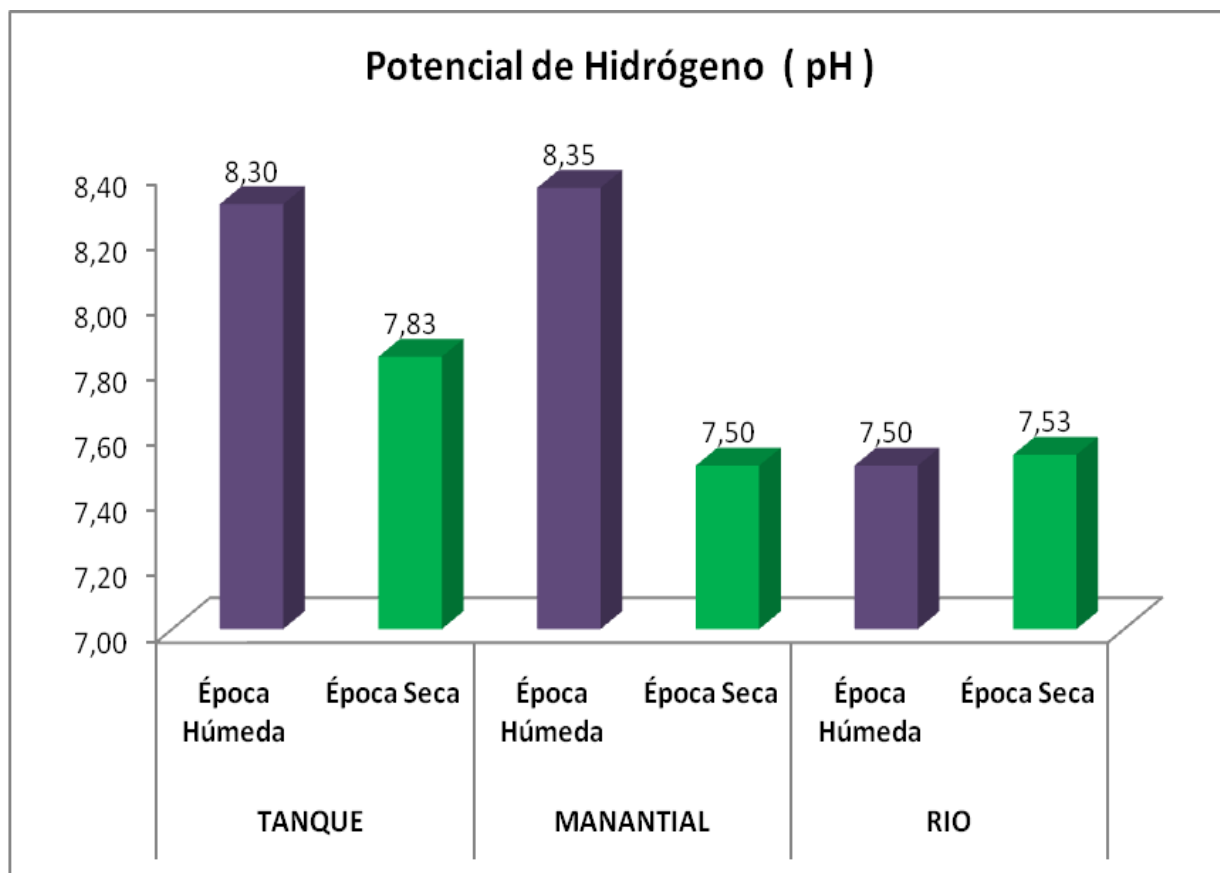
##### **5.1.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)**

La medición del pH del agua de riego tiene gran importancia y realmente puede determinar el éxito o el fracaso de la cosecha. En el anexo N° 2.1 y gráfico N° 1, se observan los resultados de la medición de pH determinados en los tres puntos de muestreo y las diferentes épocas del año. Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles que establece la Norma Boliviana, NB 512. Ver (anexo N° 3.1), los valores presentaron poca variación en época húmeda y seca especialmente las aguas del río donde la variación es nada significativa. Sin embargo las aguas tanto del manantial como del tanque estas presentaron variaciones para tomarse en cuenta ya que en época seca las aguas son prácticamente neutras, mientras que en época húmeda muestran una tendencia a la alcalinidad que puede deberse a la concentración de sales disueltas las cuales fueron analizadas en el presente trabajo.

Terrón. (2002) menciona que para el caso de aguas de riego, el pH normal está comprendido entre 6 y 8,5 unidades, un pH fuera de este intervalo de normalidad, es un buen indicador de una calidad anormal del agua o la presencia de algún ión tóxico.

Todos los valores de pH obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que se observan en la Norma Boliviana, NB 512, anexo N° 3.1 que oscila entre 6,5 y 9.

**Gráfico N° 1.** Comportamiento del potencial de hidrógeno en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



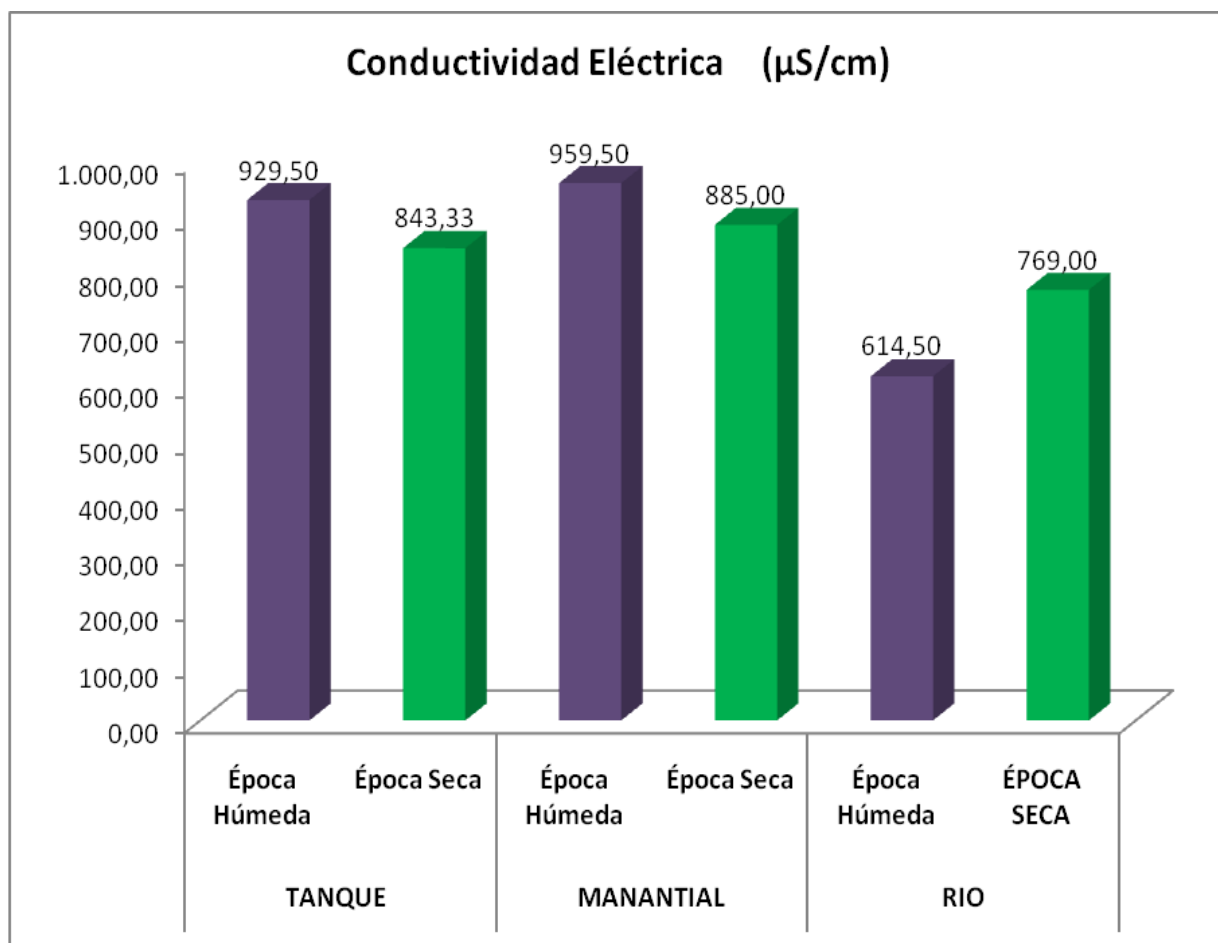
Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.1.2. Conductividad Eléctrica (C.E.)

La conductividad eléctrica es también uno de los parámetros de mayor importancia para la determinación de la calidad del agua para riego debido a que nos proporciona información sobre la concentración de las sales solubles. En el anexo N° 2.2 y gráfico N° 2, se observa que el valor mínimo obtenido fue de 614,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que corresponde al agua del río durante la época húmeda; mientras que el valor más alto registrado es de 959,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 929,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que corresponde a las aguas del manantial y del tanque de almacenamiento respectivamente.

Promediando los valores del manantial y del tanque la conductividad eléctrica (C.E.) alcanzo un valor de 904,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que, de acuerdo con la Norma Chilena NCh 1333 ver (anexo N° 3.2), se clasificó como agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles ( $750 < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Mientras que la conductividad eléctrica (C.E.) del Rio alcanzo un valor de 691,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  clasificándose como agua apta para riego ya que esta misma norma menciona que en general las aguas para riego son satisfactorias cuando su conductividad eléctrica C.E. es menor o igual a 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Gráfico N° 2.** Comportamiento de la Conductividad Eléctrica (C.E.) en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



Fuente. Elaboración propia

### **5.1.1.3. Sólidos Disueltos Totales (S.D.T.).**

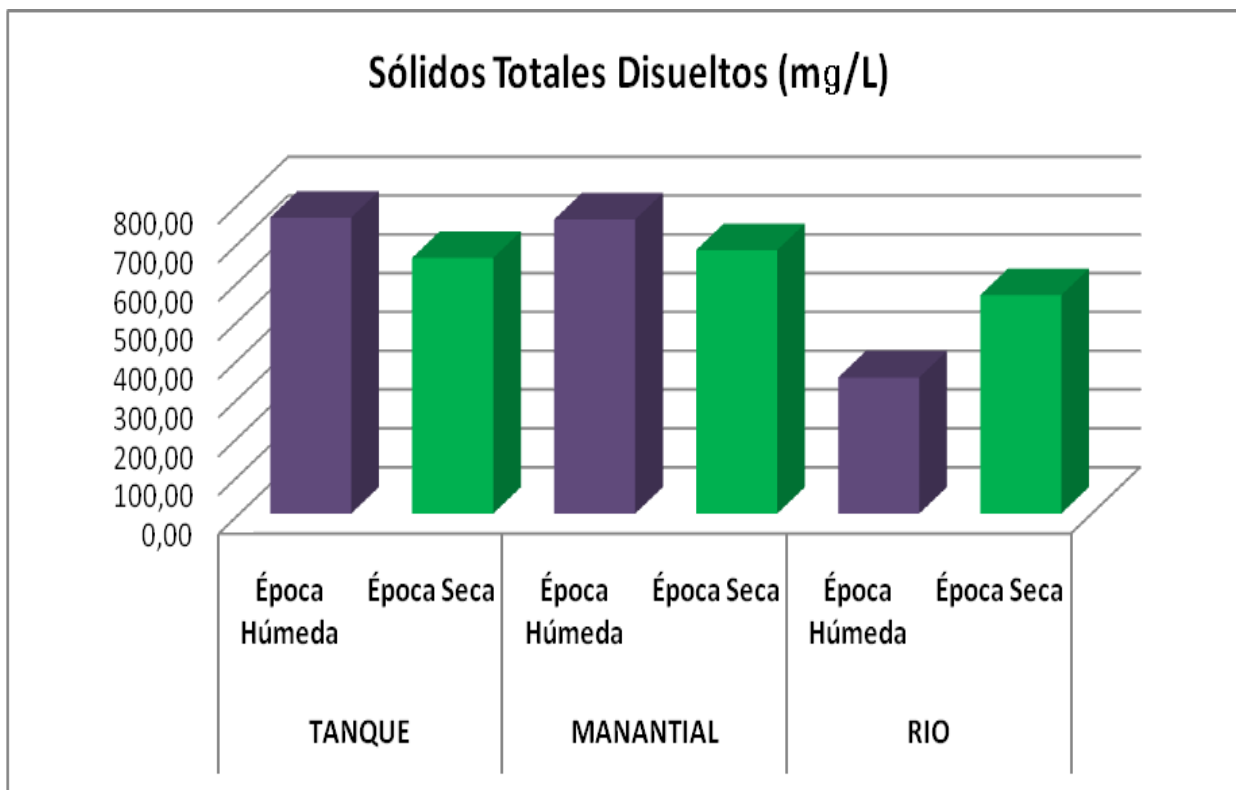
La importancia de la determinación de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) radica fundamentalmente a que un exceso de sales solubles en las aguas puede dificultar el funcionamiento normal de las raíces, esto por la limitación en la absorción de agua y las consecuentes deficiencias de toma de nutrientes.

En nuestro estudio las concentraciones de los sólidos disueltos totales calculados a partir de la conductividad eléctrica, se muestran en el anexo N° 2.3 y el gráfico N° 3, se puede observar que las mayores concentraciones de SDT están en las aguas de manantial, mientras que las aguas del rio muestran concentraciones más bajas.

Comparando las concentraciones encontradas con los valores de concentraciones permitidos por la Norma Chilena 1333, ver anexo N° 3.2 podemos afirmar que las aguas estudiadas son comúnmente utilizadas para fines agrícolas sin mayores riesgos, sin embargo las condiciones de salinidad se podrían presentar si el lavado y el drenaje no son los adecuados. Aparentemente estas condiciones son las que prevalecen en el lugar estudiado.

La FAO establece una concentración de < 450 mg/L de Total de Sólidos en Solución para aguas destinadas la riego sin ninguna restricción, 450 a 2000 para restricción moderada y > 2000 para un grado de restricción severo del agua de riego. Según esta clasificación se puede afirmar que estas aguas corresponden a aguas utilizables con restricción moderada

**Gráfico N° 3.** Comportamiento de sólidos disueltos totales (S.D.T.) en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



**Fuente.** Elaboración propia

#### 5.1.1.4. Contenido de Cationes

##### 5.1.1.4.1. Sodio

El peligro de tener agua con elevada concentración de sodio se debe a que este elemento considerado tóxico es responsable de la impermeabilización de los suelos, especialmente en zonas donde el drenaje es deficiente. Sólo sus efectos quedan contrarrestados cuando las concentraciones de calcio y magnesio son importantes. La OPS/OMS establece que el límite de sodio para aguas superficiales es de 300mg/L, a partir de dicha concentración se generan problemas en los cultivos, ver anexo N° 3.3, mientras que el reglamento de la ley 1333 de MDSMA (1995). Indica que los valores

máximos para cuerpos receptores clase A y B es de 200 mg/l Los valores mostrados en anexo N° 2.4 y gráfico N° 4 indican que las concentraciones de sodio en todas las aguas analizadas están por debajo del límite de peligro.

#### **5.1.1.4.2. Potasio**

La concentración anual de potasio que presenta el agua del rio Jillusaya en época seca es de 14,85 ppm y en época húmeda es de 12,13 ppm. Mientras que la máxima concentración de potasio del manantial es de 5,95 ppm que corresponde a la época seca, en época húmeda se comprobó que era 2,13 ppm. Los valores de concentraciones de potasio del tanque de almacenamiento son muy similares a los del manantial. Los resultados de potasio en el agua de los sitios seleccionados se presentan en el anexo N° 2.4 y gráfico N°4.

Como se sabe las concentraciones de potasio frente al sodio son muy bajas, esto debido a que el sodio es uno de los elementos más abundantes de la tierra, mientras que el potasio es bajo, esto explica la poca presencia de potasio en las aguas estudiadas. La alta concentración de potasio en las aguas del rio frente a las aguas del manantial se debe fundamentalmente a la contaminación por residuos de detergentes, fertilizantes, jabones y sales de potasio y algunos residuos médicos.

#### **5.1.1.4.3. Calcio**

El ión calcio juega un papel muy importante en regular la estructura y las propiedades físicas del suelo. Además aumenta su capacidad biológica y su permeabilidad al aire y al agua, es el catión más abundante en el agua salvo raras excepciones. En el anexo N° 2.4 y gráfico N°4 se observa que la mayoría de los puntos de muestreo poseen bajas concentraciones de calcio, sólo en el manantial se presentan las más altas concentraciones del catión, esto puede ser debido a la formación geológica que la zona presenta. Asimismo podemos observar que aumenta su concentración en época seca



es decir, de mayo a septiembre; mientras disminuye su concentración en época lluviosa de diciembre a marzo esto probablemente a costa del ión sodio. El 100% de las muestras están dentro de la norma establecida ver reglamento de la ley 1333 y Norma Chilena, ver anexos 3.4 y 3.2 respectivamente.

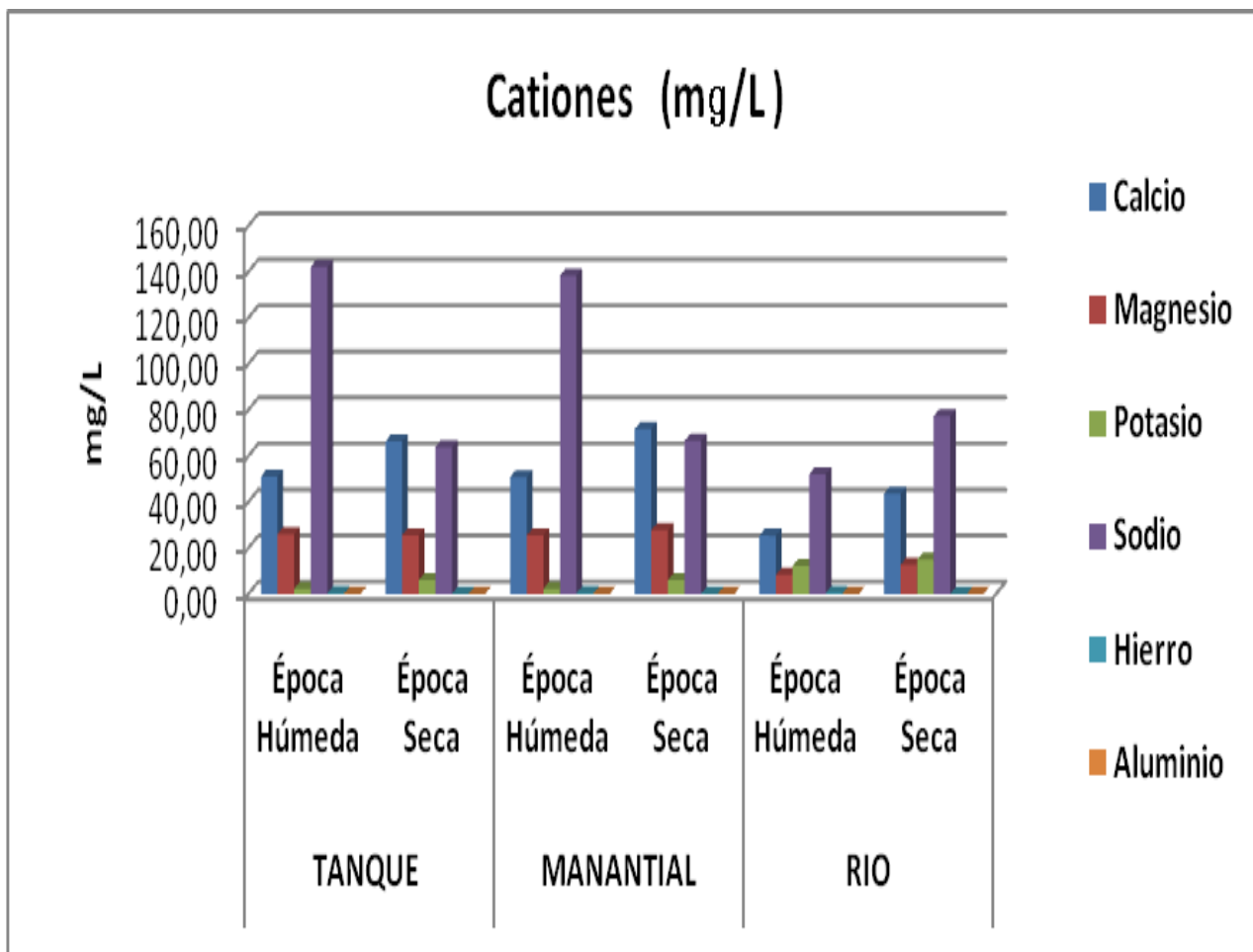
#### **5.1.1.4.4. Magnesio**

El magnesio es un nutriente esencial y la relación Ca/Mg debe ser superior a 1. El anexo N° 2.4 y gráfico N°4 muestra los valores obtenidos para el magnesio, cuyas concentraciones al igual que el calcio son bajas. Se observa además que las concentraciones del manantial son el doble que las del río y esto se debe a la presencia de rocas carbonatadas, dolomitas y calizas magnesianas. El reglamento de la ley 1333 establecen un valor máximo permitido de 100 ppm y como se observa el 100% de muestras están dentro de dicho margen.

#### **5.1.1.4.5. Aluminio**

Las concentraciones de aluminio presentan valores muy por debajo de las concentraciones establecidas como máximos en las normas de aguas de riego, por lo que no amerita mayor explicación.

**Gráfico N° 4.** Comportamiento de los cationes (Ca, Mg, K, Na, Fe y Al) presentes en el agua de los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.1.5. Contenido de Aniones

##### 5.1.1.5.1. Cloruros

En el anexo N° 2.5 y gráfico N°5 se observan distintas concentraciones de cloruro, sin embargo 100% de las aguas estudiadas están por debajo de los valores permisivos en la Norma Boliviana ver anexo N° 3.1 y de la OPS/OMS (anexo N° 3.3), esto es bueno debido a que el Cloruro es un indicador de la salinidad ya que está asociado al sodio.

En aguas de regadío valores por encima de 400 ppm son altamente peligrosos para la agricultura

#### **5.1.1.5.2. Nitratos**

Las concentraciones de nitratos en todos los casos están por debajo de los valores de las normas establecidas, el hecho de que las aguas del manantial muestren valores más elevados que del río como se muestra en el anexo N° 2.5 y gráfico N°5, se puede deber a la disolución de rocas que los contengan o la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana.

#### **5.1.1.5.3. Sulfatos**

Los sulfatos son perjudiciales a los cultivos debido a que ayuda a la salinidad de los suelos, su origen se debe a la disolución de yesos y se encuentra en el agua debido a su estabilidad y su resistencia a la reducción. El anexo N° 2.5 y gráfico N°5. muestra que los valores encontrados en promedio son menos del valor permitido por la norma Chilena 250 mg/L y el reglamento de la ley del medio ambiente 1333 300 a 400 mg/L. Ver anexo 3.2 y 3.4 respectivamente

#### **5.1.1.5.4. Fosfato**

Como se sabe el fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos, los valores de fosfatos determinados en el presente trabajo y que se observan en el anexo N° 2.5 y gráfico N°5, muestran valores por debajo de 0,4 mg/L que indica la normativa de la ley 1333, salvo el valor de 2,16 mg/L que corresponde al agua del río y en época seca. Mientras que la OPS/OMS indica que el valor permitido de fosfatos en aguas de riego corresponde a 65 mg/L.

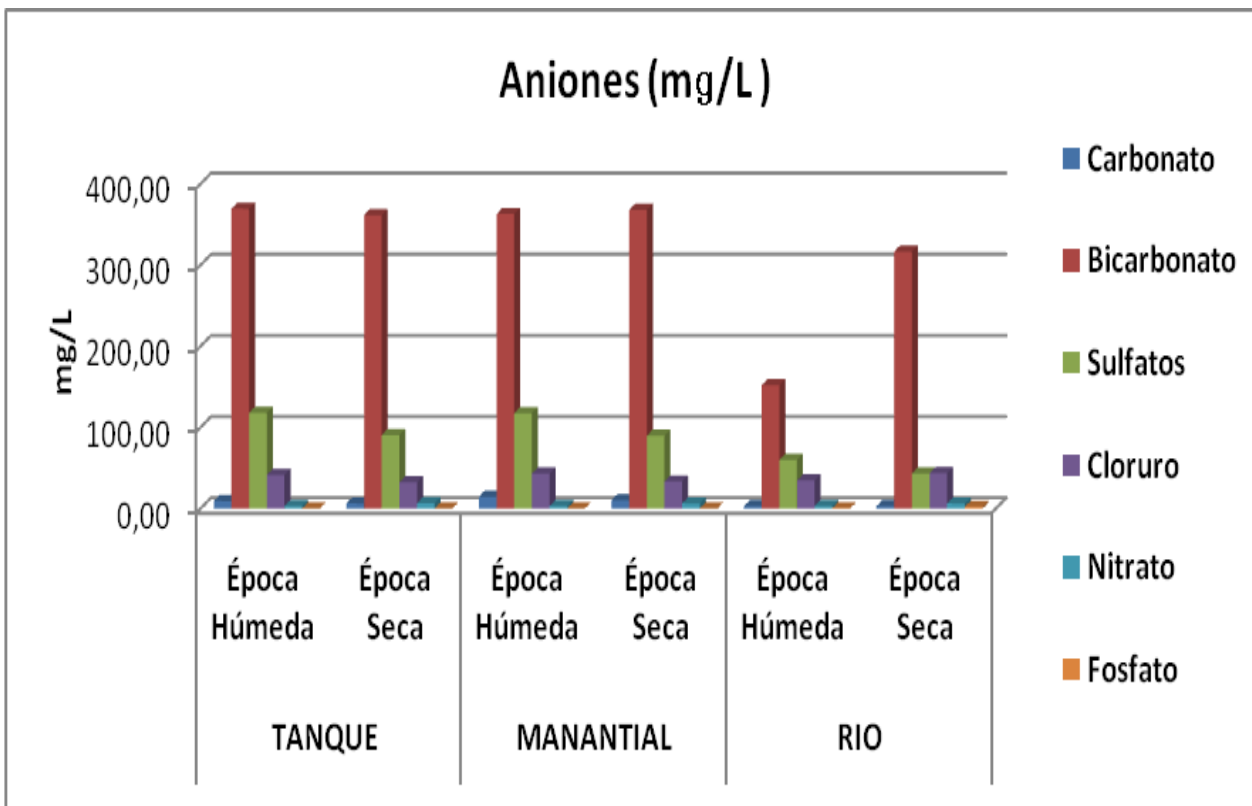
#### **5.1.1.5.5. Carbonatos y Bicarbonatos**

Estos iones comunican alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al producir una solución tampón. Se pueden precipitar con mucha facilidad como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

Las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno y creación de un medio alcalino, ya que hay peligro que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en que los nutrientes no puedan aprovecharse, este peligro se presenta con pH mayores que 8.0.

Como se puede observar en el anexo N° 2,5 y gráfico N° 5 el agua del manantial y el tanque presentan un elevado contenido de carbonatos, mientras que en el rio el carbonato se encuentra dentro del límite permitido; en cuanto a los bicarbonatos se puede observa que los valores tienen una leve elevación en cuanto al límite permitido tanto en el manantial como en el tanque no son muy elevados; mientras que en el rio se encuentra por debajo del límite permitido que indica la FAO que establece una concentración de 5 mg/L de carbonatos y 340 mg/L de bicarbonatos para aguas destinadas al riego de vegetales

**Gráfico N° 5.** Comportamiento de los aniones sulfato, cloruros, nitratos, fosfatos, carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



Fuente. Elaboración propia

### 5.1.1.6. Análisis de la veracidad de los resultados de laboratorio

#### 5.1.1.6.1. Sumatoria de Cationes

Se entiende como sumatoria de cationes a la suma de todos los iones con carga positiva Aluminio [Al<sup>+3</sup>], Calcio [Ca<sup>+2</sup>], Hierro [Fe<sup>+3</sup>], Potasio [K<sup>+1</sup>], Magnesio [Mg<sup>+2</sup>] y Sodio [Na<sup>+1</sup>] que se determinaron para el análisis de las aguas. Los resultados se muestran a continuación en el cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1.** Sumatoria de cationes en función de la época de muestreo (2013-2014).

Ion	Manantial				Tanque				Rio			
	Época húmeda		Época Seca		Época húmeda		Época seca		Época húmeda		Época seca	
	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L
<b>Ca</b>	50,81	2,53	71,58	3,57	51,06	2,55	66,34	3,31	25,31	1,26	43,48	2,17
<b>Mg</b>	25,45	2,09	27,63	2,27	26,03	2,14	25,54	2,10	8,22	0,68	12,71	1,05
<b>Na</b>	138,35	6,02	66,51	2,89	142,15	6,18	63,74	2,77	52	2,26	77,29	3,36
<b>K</b>	2,13	0,05	5,95	0,15	2,18	0,06	5,94	0,15	12,13	0,31	14,85	0,38
<b>Fe</b>	0,27	0,01	0,02	0,00	0,27	0,01	0,01	0,00	0,31	0,01	0,01	0,00
<b>Al</b>	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
<b>Σ</b>	<b>10,71</b>		<b>8,89</b>		<b>10,94</b>		<b>8,34</b>		<b>4,52</b>		<b>6,96</b>	

Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.1.6.2. Sumatoria de Aniones.

De igual forma como se procedió para los cationes, se establece para los iones con carga negativa. Siendo éstos: Bicarbonato [ $\text{CO}_3\text{H}^{-1}$ ], Carbonato [ $\text{CO}_3^{-2}$ ], Cloruro [ $\text{Cl}^{-1}$ ], Sulfato [ $\text{SO}_4^{-2}$ ], Nitrato [ $\text{NO}_3^{-1}$ ], y Fosfato [ $\text{PO}_4^{-3}$ ]. Los resultados se muestran en el cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2.** Sumatoria de aniones en función de la época de muestreo (2013-2014).

Ion	Manantial				Tanque				Rio			
	Época Húmeda		Época Seca		Época húmeda		Época seca		Época Húmeda		Época seca	
	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L
<b>CO<sub>3</sub><sup>-2</sup></b>	14,5	0,48	10,27	0,34	9,25	0,31	6,27	0,21	2,9	0,10	2,9	0,10
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup></b>	363	5,95	368	6,03	369,5	6,06	361,67	5,93	152	2,49	316,67	5,19
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	117,5	2,45	89,59	1,87	118	2,46	90,59	1,89	60	1,25	43,13	0,90
<b>Cl<sup>-1</sup></b>	43,00	1,21	33,28	0,94	41,50	1,17	32,28	0,91	34,50	0,97	43,50	1,23
<b>NO<sub>3</sub><sup>-1</sup></b>	2,95	0,05	6,25	0,10	3,05	0,05	6,65	0,11	3,05	0,05	6,25	0,10
<b>PO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	0,03	0,00	0,22	0,01	0,03	0,00	0,19	0,01	0,32	0,01	2,16	0,08
<b>Σ</b>	<b>10,14</b>		<b>9,29</b>		<b>10,04</b>		<b>9,05</b>		<b>4,87</b>		<b>7,59</b>	

Fuente. Elaboración propia

### 5.1.1.6.3. Balance de iones.

Para el balance de iones (Cationes y Aniones), la suma de aniones debe coincidir con la suma de cationes expresados en meq/L con esta metodología solo se permite un error hasta el 5% por exceso o por defecto.

Los resultados del análisis de agua del manantial, tanque y rio aseveran que los análisis se han realizado de manera correcta; alcanzando una variación de la suma de cationes y aniones en un rango comprendido entre 2,19% y 4,39% como se puede observar en el cuadro N° 3.

**Cuadro N° 3.** Cálculo del % de variación en función de la época de muestreo (2013-2014).

% de la variación	Manantial		Tanque		Rio	
	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca
<b>Σ de cationes</b>	10,71	8,89	10,94	8,34	4,52	6,96
<b>Σ de aniones</b>	10,14	9,29	10,04	9,05	4,87	7,59
<b>Diferencia de la Σ</b>	0,57	0,40	0,89	0,71	0,35	0,64
<b>% de diferencia</b>	<b>2,73</b>	<b>2,19</b>	<b>4,26</b>	<b>4,10</b>	<b>3,71</b>	<b>4,39</b>

Fuente. Elaboración propia

### 5.1.2. Parámetros de segundo grado.

#### 5.1.2.1. Dureza.

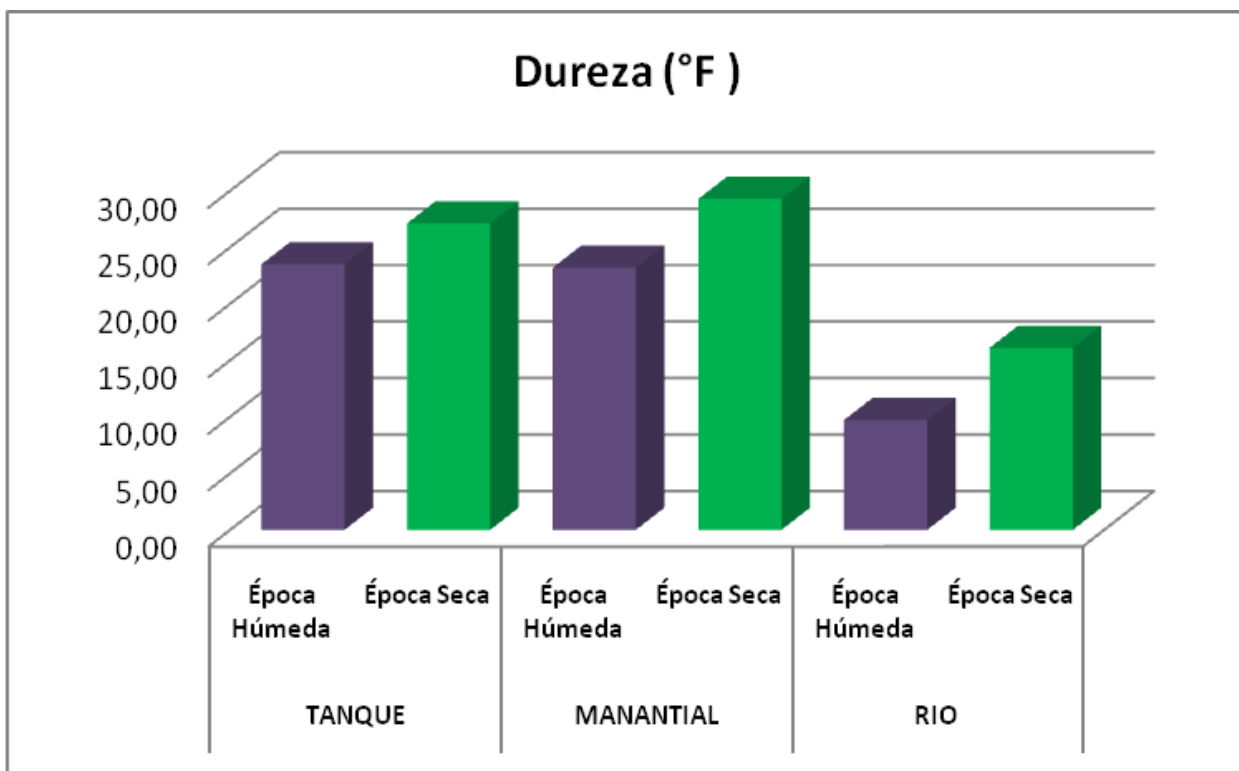
La dureza de un agua de riego se define como: “la concentración de carbonato de calcio que es químicamente equivalente a la concentración de cationes multivalentes principalmente Ca y Mg del agua, expresada en mg/L”; la concentración de estos cationes varía significativamente en función del origen del agua de riego, de esta manera la concentración de calcio puede variar de los 100 ppm en acuíferos de piedras calizas a los 10 ppm en acuíferos de granito o arenisca (Wolff, 1988).

En este estudio la dureza en los tres puntos de muestreo varió entre 29,28 mg/L y 9,71 mg/L, correspondiendo los rangos mayores a las aguas del manantial en época seca y húmeda. Esto se puede deber al paso del agua subterránea a través de caliza y otras sales disolviendo los compuestos de calcio y magnesio. Mientras que el valor más bajo corresponde a las aguas del río en época de lluvia.



Se observa en el anexo N° 2.6 y gráfico N° 6 los valores encontrados que corresponden en general a aguas medianamente dura en el tanque y manantial durante las dos épocas, mientras que en el río corresponde a aguas dulce en época húmeda y semidulce en época seca.

**Gráfico N° 6.** Comportamiento de la Dureza en las aguas de los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



**Fuente.** Elaboración propia

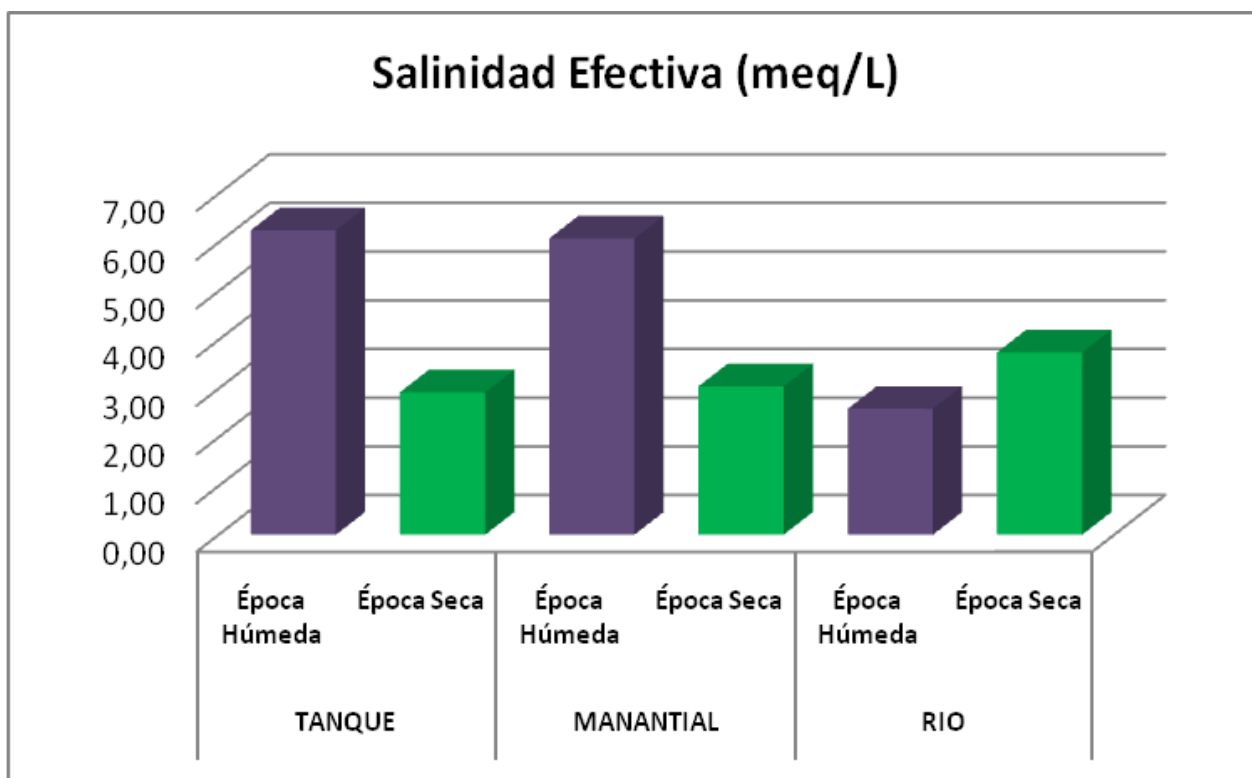
### 5.1.2.2. Salinidad Efectiva (S.E.).

Los valores de la Salinidad efectiva que se observan en el anexo N° 2.7 y gráfico N° 7, muestran que el agua del Río en época húmeda es de 2,58 meq/L, que se encuentra clasificado como buena mientras que en época seca contiene 3,74 meq/L, lo que la clasifica como un agua condicionada. Las aguas disponibles del manantial y tanque en

época húmeda presentan una salinidad efectiva de 6,08 meq/L y 6,25 meq/L respectivamente y por lo tanto se encuentran clasificadas como aguas condicionadas; mientras que ambas aguas en época seca tienen una SE de 3,05 meq/L y 2,92 meq/L respectivamente, lo que las clasifica como agua buena, ver tabla N°3.

Por otro lado para la clasificación en función al tipo de suelo que se va aplicar según Doneen todas las aguas estudiadas tienen un valor < 7 meq/L que corresponde a aguas buenas para el riego de suelos livianos sin ninguna restricción de la percolación, como se observa en la tabla N°4.

**Gráfico N° 7.** Comportamiento de la Salinidad Efectiva en los puntos de muestreo (2013-2014).

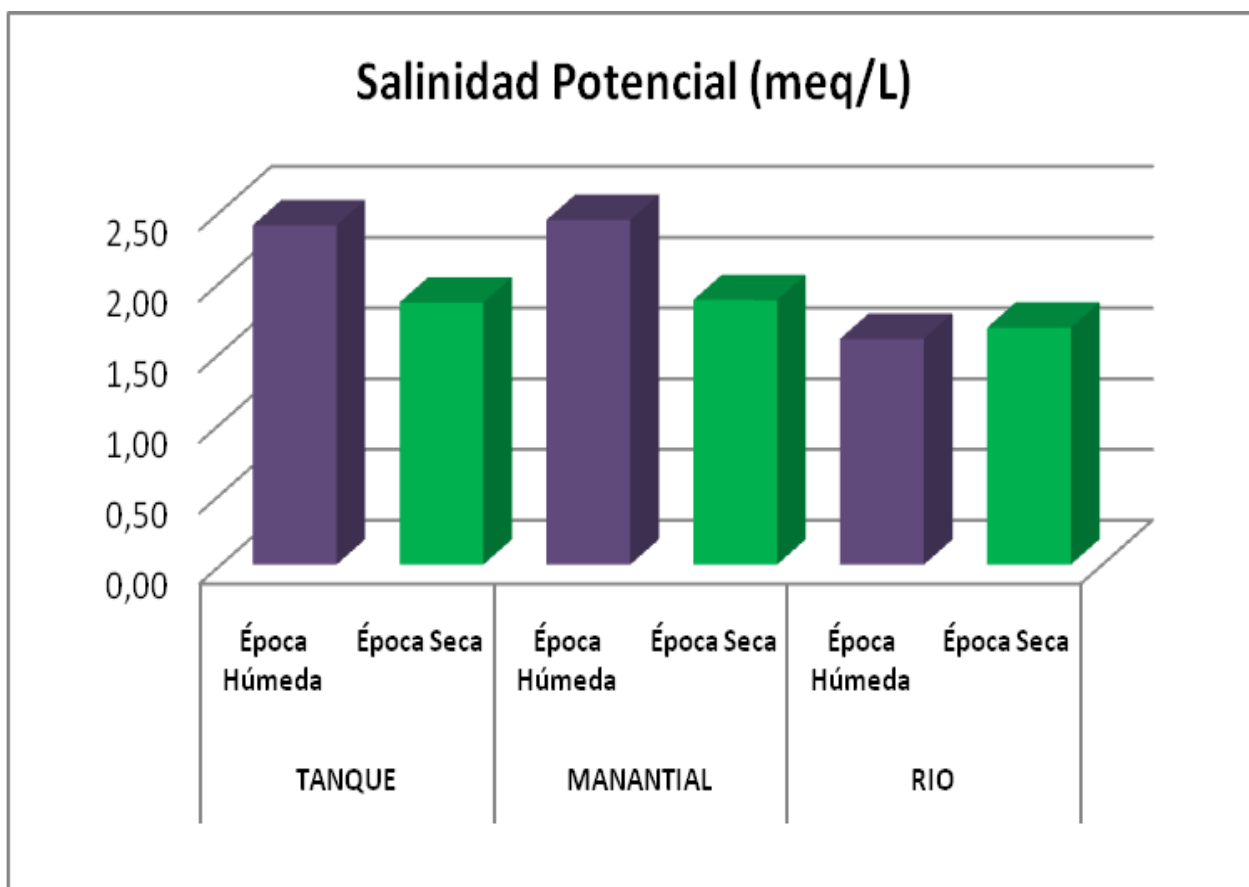


Fuente. Elaboración propia

### 5.1.2.3. Salinidad Potencial (S.P.).

Según el cálculo de salinidad potencial y utilizando la misma escala de calificación para el cálculo de salinidad efectiva para las aguas de riego, mostro los siguientes resultados ver anexo N° 2.8 y gráfico N° 8, como se aprecia todas las aguas tiene una calificación de buena, lo que libra del peligro de elevadas concentraciones de iones cloruro y sulfatos, principalmente y su uso no presenta restricciones, ver tabla N°5.

**Gráfico N°8.** Comportamiento de la Salinidad Potencial en los puntos de muestreo (2013-2014).



**Fuente.** Elaboración propia

#### **5.1.2.4. Relación de Absorción de Sodio (S.A.R.).**

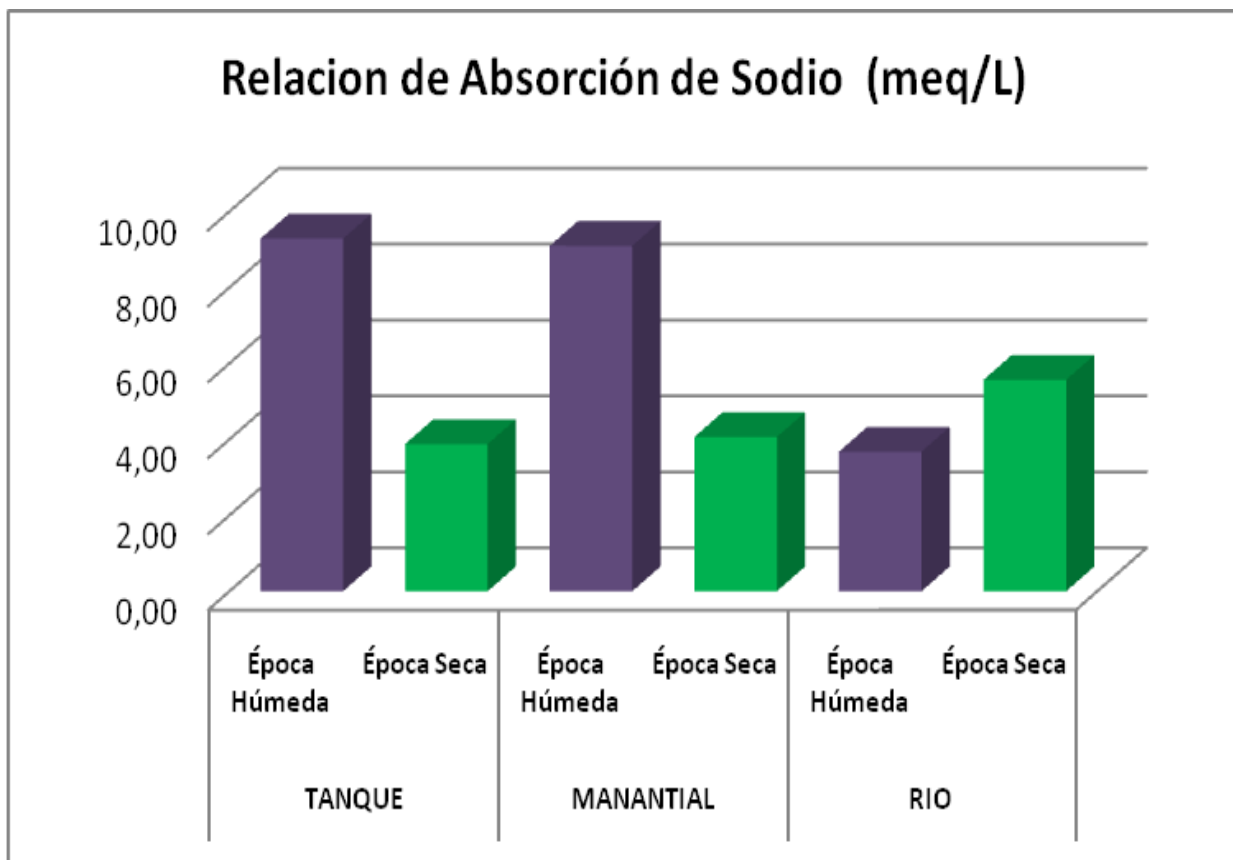
La relación de absorción de sodio SAR representa: “ la absorción de sodio en el agua de riego y refleja la posible influencia del ión sodio sobre las propiedades del suelo”, este tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta la permeabilidad del suelo.

Sus efectos no sólo dependen de la concentración del sodio sino también del resto de los cationes.

El anexo N° 2.9 y la figura N° 9, muestran los resultados donde el agua del rio en todas las épocas del año presentaron valores de RAS que se clasifican como: “agua baja en sodio”, mientras que el agua del manantial y del tanque en época seca se clasifican como: baja en sodio y en época húmeda se clasifican como agua media en sodio”, (ver tabla N° 6).

La FAO sostiene, que la concentración del la Relación de Absorción de Sodio R.A.S. < 3 no presenta problemas a los cultivos y al suelo.

**Gráfico N° 9.** Comportamiento de la Relación de Absorción de Sodio en los puntos de muestreo (2013-2014).

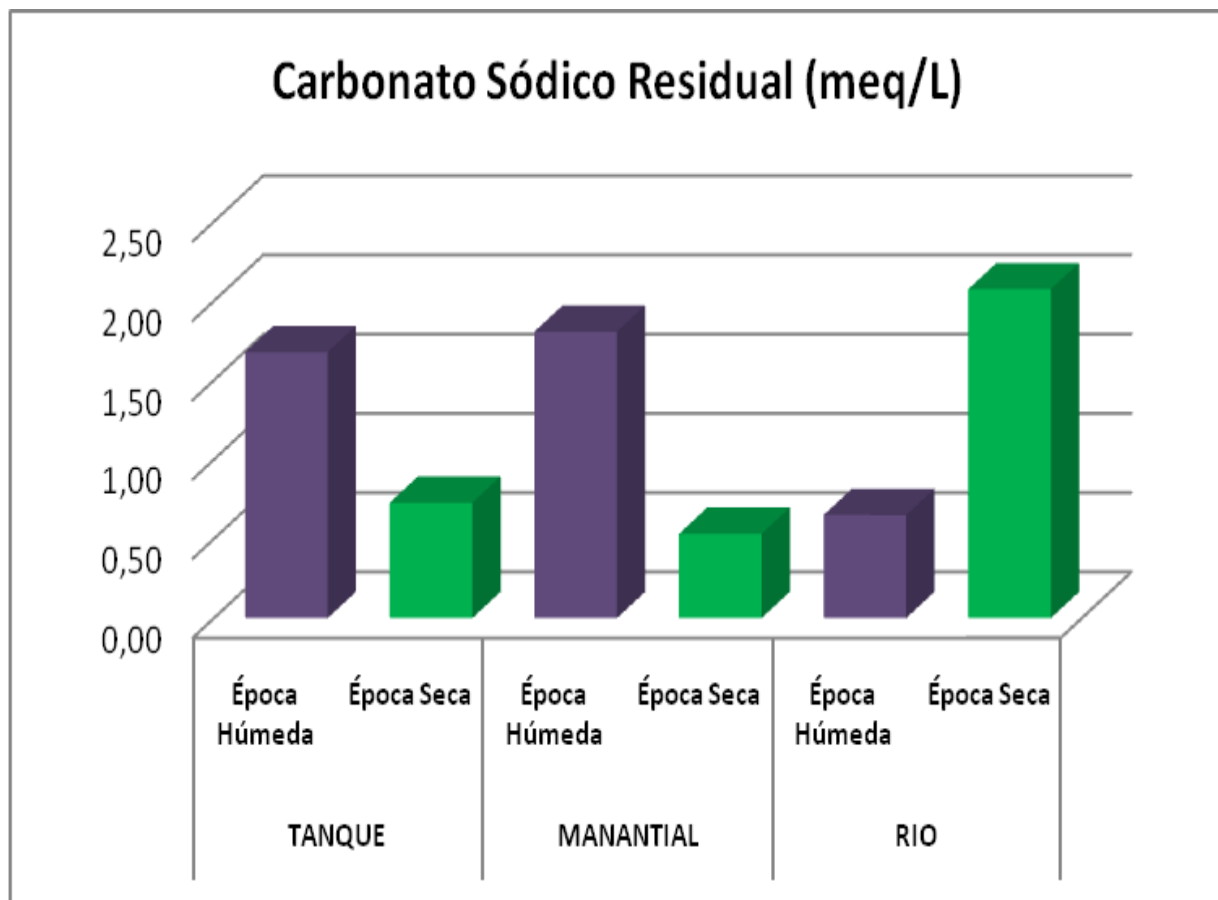


Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.5. Carbonato Sódico Residual (C.S.R.).

El anexo N° 2.10 y figura N° 10 muestran los valores de carbonato sódico residual CSR en el agua del manantial y del tanque en época seca se encuentran entre 0,53 meq/L y 0,73 meq/L siendo agua buena para el regadío, mientras que en época húmeda oscilan entre 1,68 meq/L y 0,53 meq/L correspondiendo a un agua condicionada. Por otro lado los valores de CSR en el agua del rio en época seca es de 2,07 meq/L, calificada como agua codicionada; en época lluviosa el valor del CSR es de de 0,65 meq/L, lo que la define como agua buena, ver tabla N°7.

**Gráfico N° 10.** Comportamiento del Carbonato Sódico Residual en los puntos de muestreo (2013-2014).



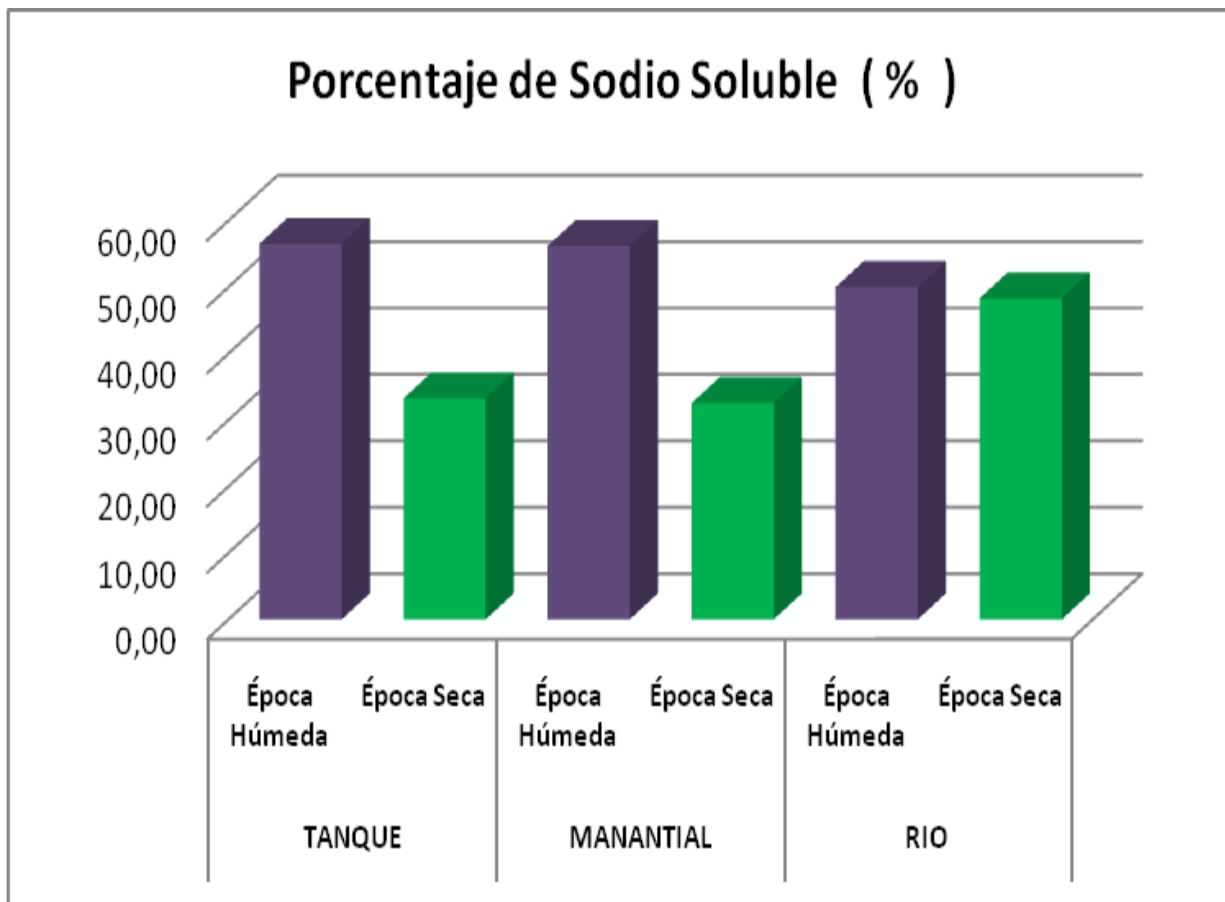
Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.6. Porcentaje de Sodio Soluble (P.S.S.).

Como se observa en el anexo N° 2.11 y figura N° 11 los valores del porcentaje de sodio soluble del manantial y el tanque en época seca varían entre 32,53 % y 33,25 % respectivamente correspondiendo a una clasificación de agua buena y en época húmeda varía entre 56,16 % y 56,51 % correspondiendo a una agua dudosa.

Mientras que el agua del río durante las dos épocas se clasifica como agua buena para el riego, ver tabla N°8.

**Gráfico N° 11.** Comportamiento del Porcentaje de Sodio Soluble en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).

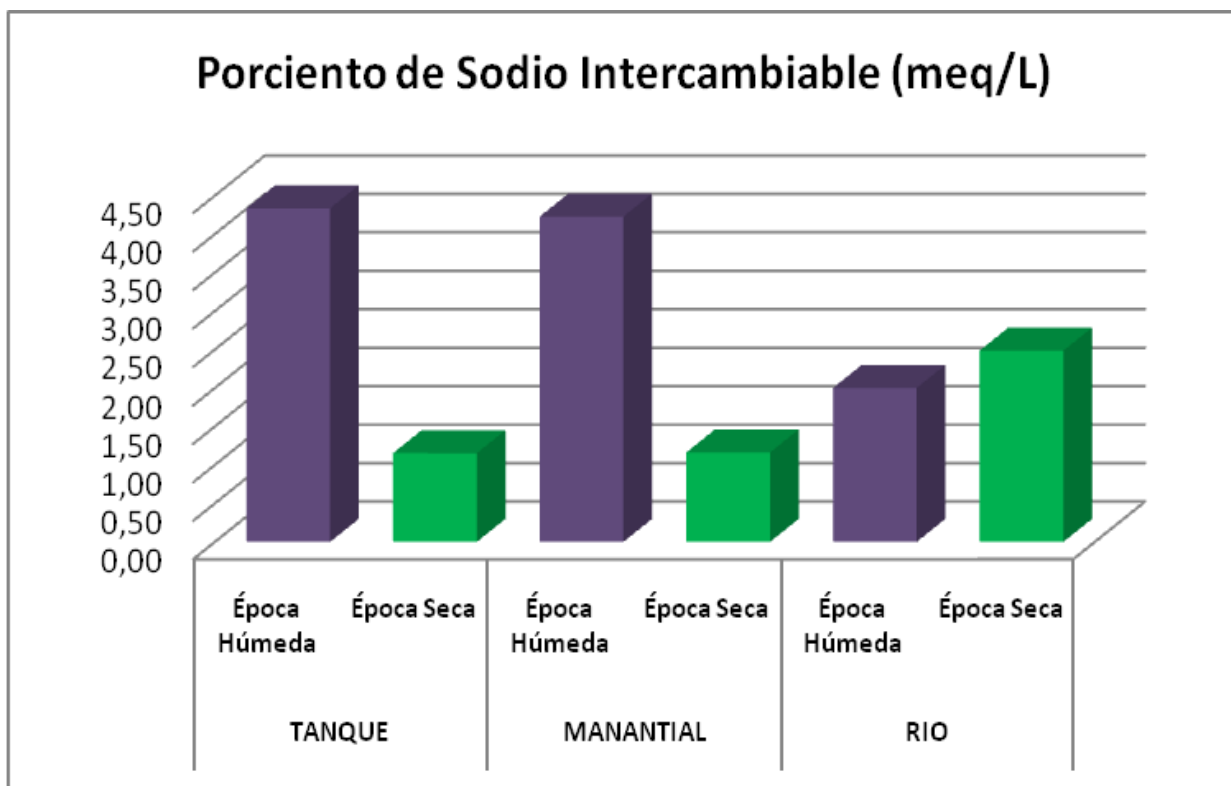


Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.7. Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.).

El anexo N° 2.12 y gráfico N° 12 muestran que en general las aguas del río, manantial y del tanque presentan un porcentaje de sodio intercambiable bajo, es decir no presentan problemas de inestabilidad, permeabilidad y pobre aireamiento al suelo, ver tabla N° 9.

**Gráfico N° 12.** Comportamiento del Porciento de Sodio Intercambiable en los puntos de muestreo (2013-2014).



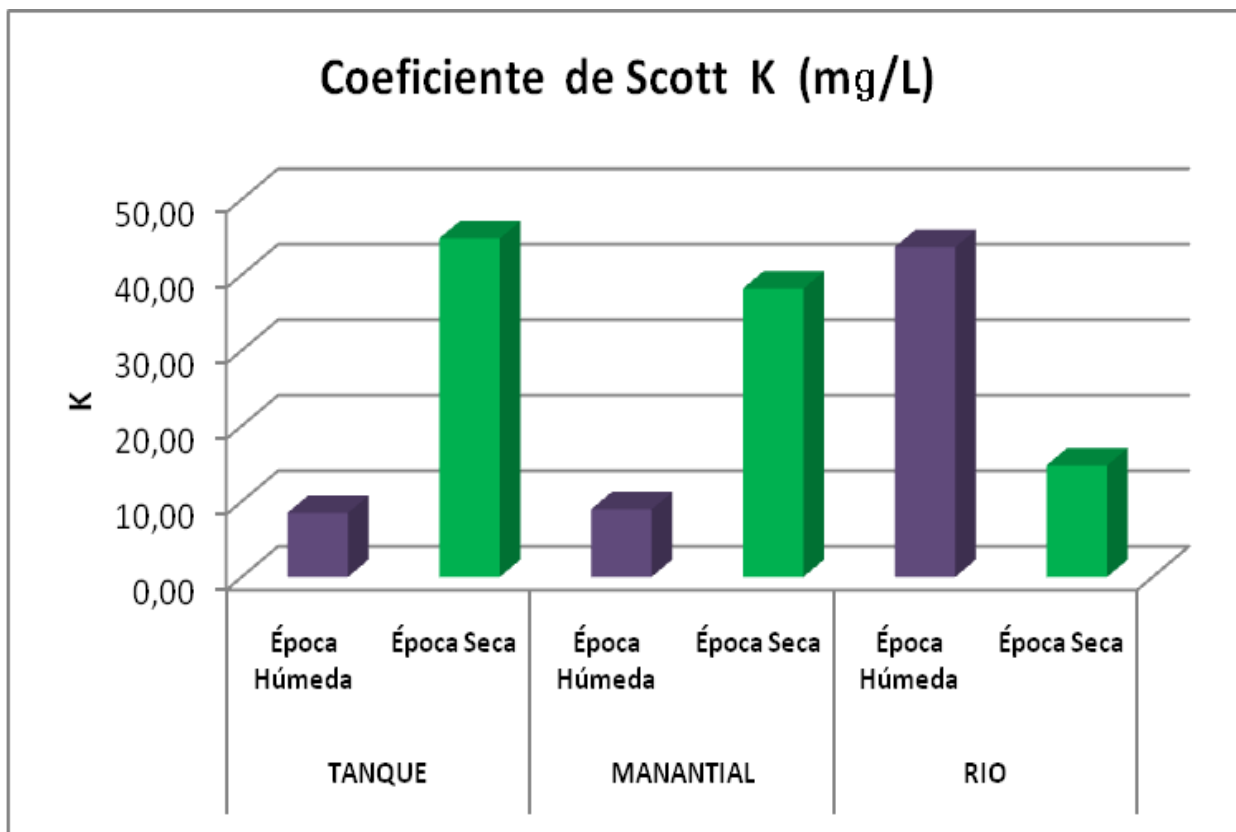
Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.8. Índice de Scott o Coeficiente Alcalimétrico (K).

En el anexo N° 2.13 y gráfico N° 13 se muestra que las aguas del manantial y del tanque en época seca presentan un valor del índice de Scott que varía entre 38,18 meq/L y 44,83 meq/L respectivamente lo que las clasifica como agua buena por lo cual no es necesario tomar precauciones mientras que en época húmeda este valor es de 8,94 meq/L en el manantial y 8,47 meq/L en el tanque que corresponde a una clasificación de agua tolerable para su uso. Por otro lado el río en época húmeda presenta un valor de 43,67 meq/L que corresponde a un agua buena, mientras que en época seca adquiere un valor de 14,77 meq/L correspondiendo a un agua tolerable, ver tabla N°11.



**Gráfico N° 13.** Comportamiento del Índice de Scott en los puntos de muestreo (2013-2014).

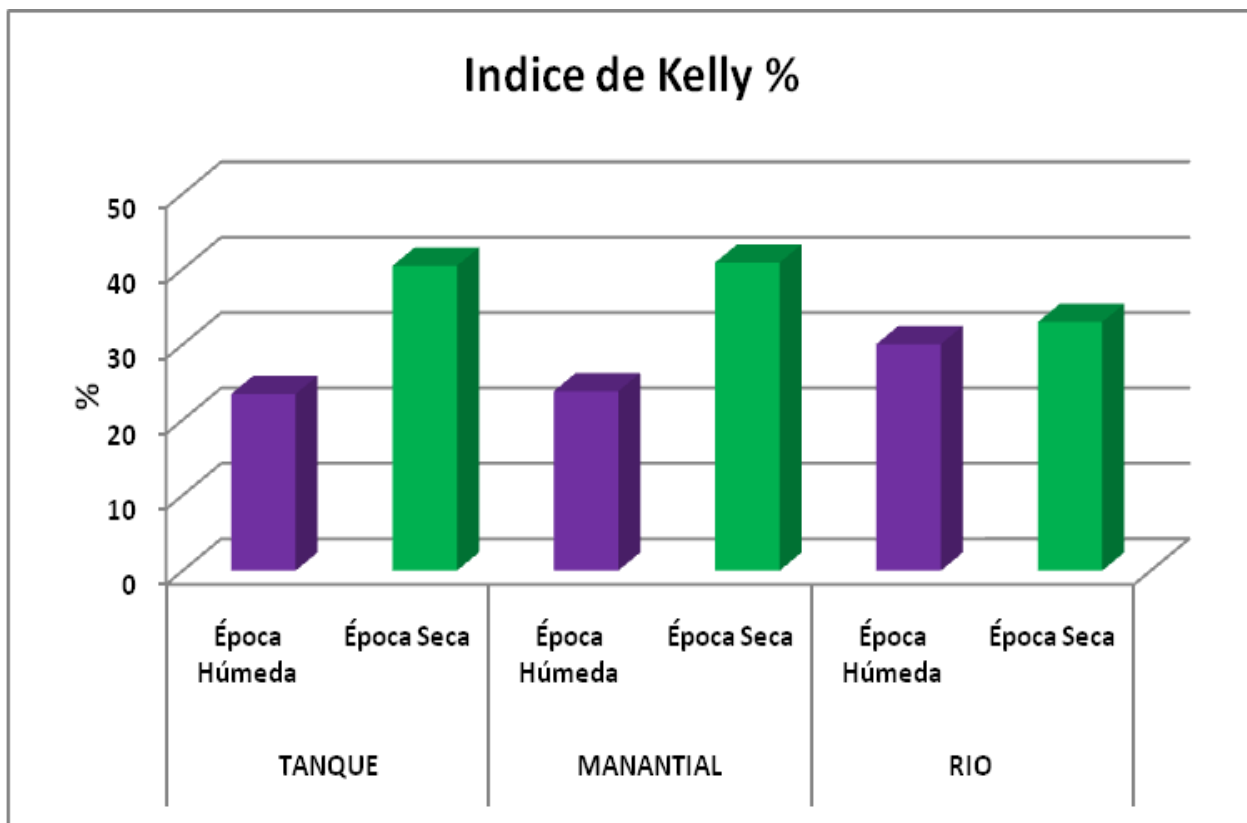


Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.9. Índice de Kelly.

En el anexo N° 2.14 y gráfico N° 14 se observa que las muestra de las aguas del manantial y del tanque en época seca tienen un valor de 40,87% y 44,04 % respectivamente lo que hace que se clasifique como agua buena, mientras que en época húmeda este valor varía entre 23,81 % y 23,43 % del manantial y del tanque que corresponde a una clasificación de agua mala para su uso. Por otro lado el rio durante las dos épocas presenta valores que clasifican esta agua como malas para su uso.

**Gráfico N° 14.** Comportamiento del Índice de Kelly en los puntos de muestreo (2013-2014).



Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.10. Elementos tóxicos.

Todos los resultados de elementos tóxicos (Boro, Cloruro y Sodio) determinados en las muestras se pueden apreciar en el anexo N° 2.15 y figura N° 15

##### 5.1.2.10.1. Cloruros.

Las concentraciones del ion  $Cl^-$  (cloruro), es considerado como tóxico cuando se encuentra presente en los suelos en concentraciones muy elevadas es muy toxico para las plantas; la muestras de las aguas del tanque, manantial y rio mostraron valores entre 1,17 meq/L y 0,91 meq/L que corresponde a todos los puntos de muestreo.

El criterio de clasificación para la calidad del agua menciona que a concentraciones menores de 3.0 meq/L el agua se considera como buena, sin ningún riesgo de toxicidad (ver tabla N°14), según el reglamento de la ley 1333 del MDSMA. (1995), se indica que el valor máximo es de 250 mg/L clase A y 300 mg/L clase B. Por lo tanto estas aguas se clasifican como aguas buenas para su uso.

#### **5.1.2.10.2. Sodio.**

El metal Na (Sodio) presente en las aguas estudiadas, se clasifican con criterio “sin problemas” hasta “ligero” a “moderado”, por lo cual podemos afirmar que no muestra riesgo elevado de toxicidad, debido a que sus concentraciones están comprendidos entre 6,18 meq/L y 2,45 meq/L.

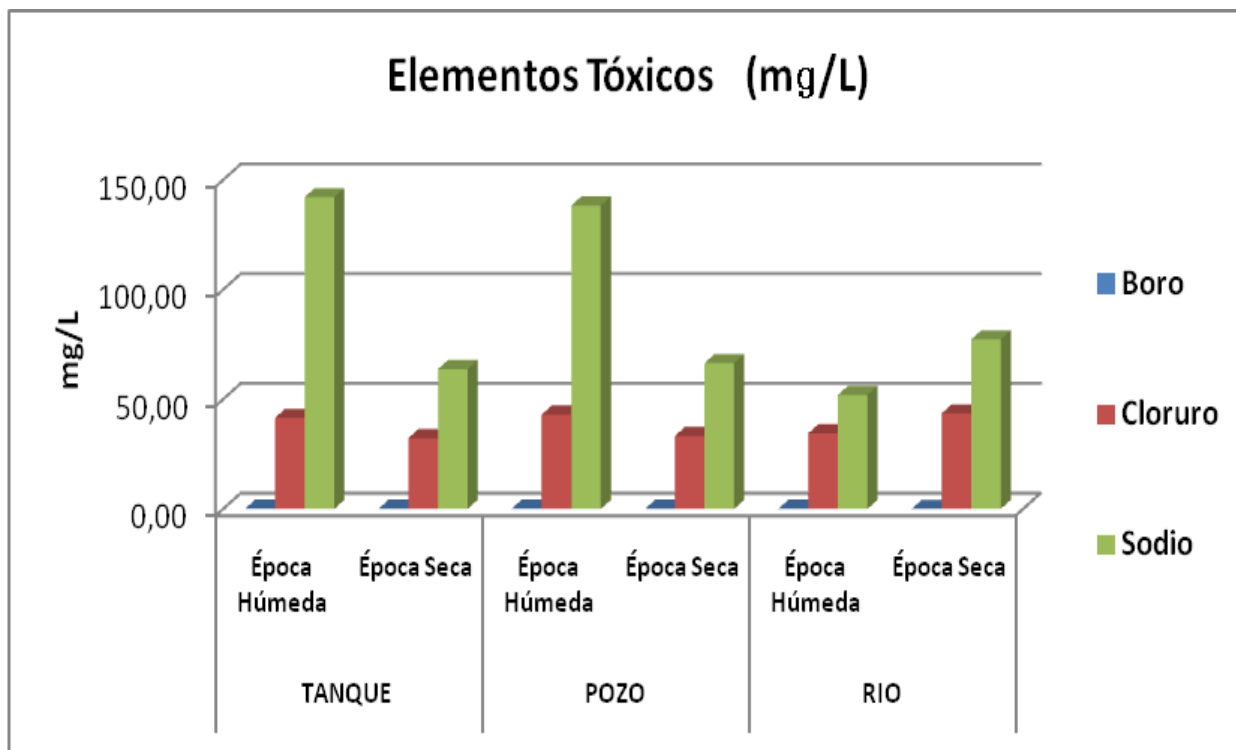
Los niveles tóxicos para el Na se muestran en la tabla N°14. Mientras que el reglamento de la ley 1333 del MDSMA. (1995), indica que el valor máximo es de 200 mg/L por lo cual no presentaría riesgo alguno.

#### **5.1.2.10.3. Boro.**

Cuando las concentraciones de boro muestran valores menores de 1 meq/L son esenciales para el desarrollo de la planta, la mayoría de las plantas pueden tener problemas de toxicidad cuando la concentración de boro excede a 2 mg/L, (ver tabla N°14).

En nuestro caso la concentración de Boro está comprendido en los rangos de 0,08 meq/L y 0,03 meq/L. por lo que no representa problema alguno; también la ley 1333 del MDSMA.(1995), menciona que el valor máximo de boro en el agua es de 1 mg/L por lo que las muestras de agua se encuentran dentro de los límites permitidos

**Gráfico N° 15.** Contenido de elementos tóxicos en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



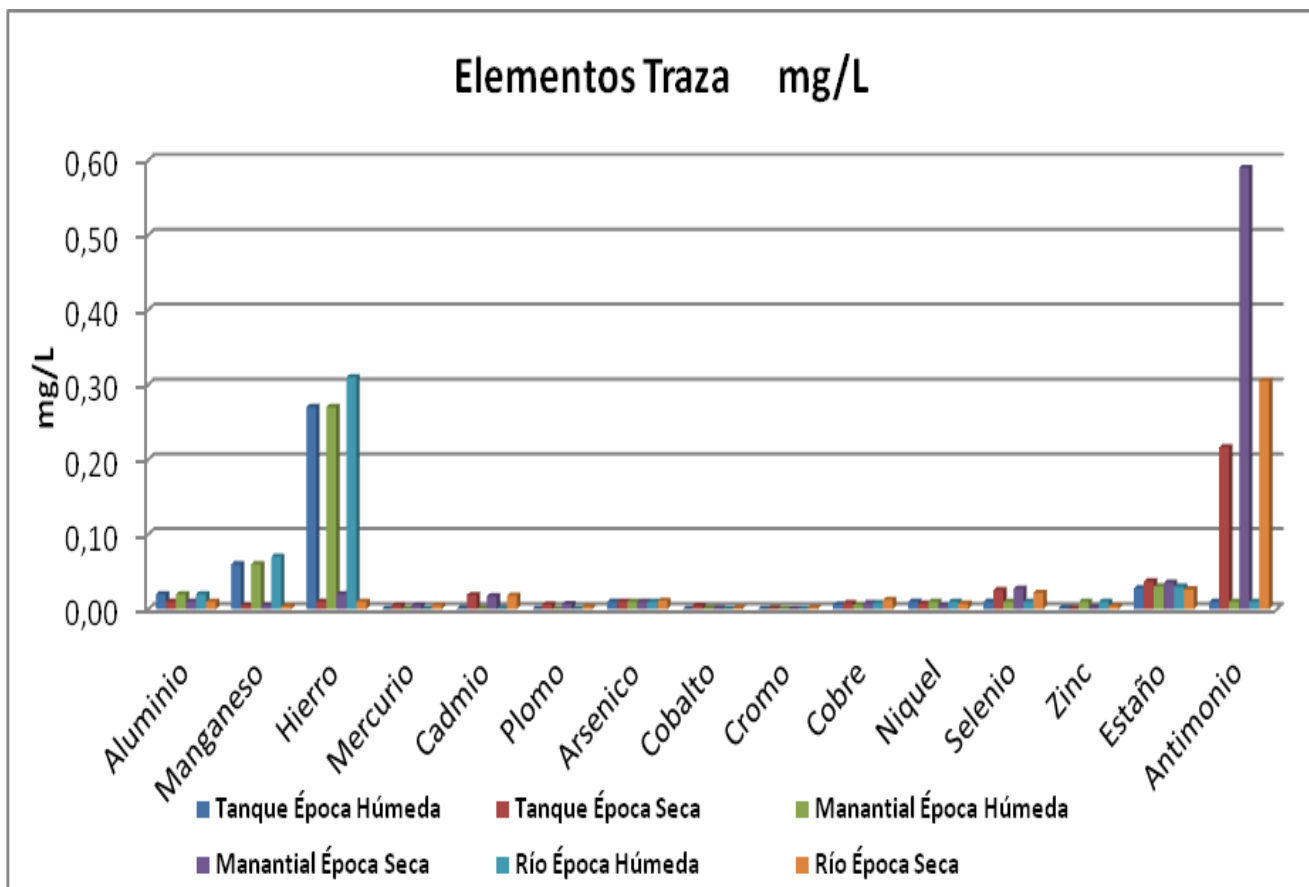
Fuente. Elaboración propia

#### 5.1.2.11. Elementos Traza.

Los elementos traça son compuestos químicos necesarios normalmente en cantidades muy reducidas, para el crecimiento, desarrollo y fisiología de plantas y animales.

El anexo N° 2.16 y gráfico N° 16 muestra que las aguas estudiadas del tanque, manantial y rio contiene cantidades pequeñas de los elementos traça con lo cual no supone ningún riesgo para su uso.

**Gráfico N° 16.** Contenido de elementos traza en los diferentes puntos de muestreo (2013-2014).



Fuente. Elaboración propia

### 5.1.2.12. Microbiología.

En el anexo N°2.17 y figura N° 17 se presenta los valores NMPx100ml para el recuento de coliformes totales y fecales.

#### 5.1.2.12.1. Coliformes totales.

Para los coliformes totales, los resultados obtenidos se refieren a la simple denominación del grupo. El recuento efectuado posibilita su comparación con patrones fijados, además de indicar el tenor de contaminación y alteración del agua en estudio,

determinándose que existe una mayor contaminación en el río, esto se debe a la contaminación del área urbana en crecimiento; mientras que en las aguas del manantial en época húmeda, existe una contaminación de 14.900 NMP/100mL, mientras que en época seca esta contaminación disminuye a 8.300 NMP/100mL.

El tanque presenta valores de 1.375 NMP/100mL época húmeda y 1.367 NMP/100mL en época seca por lo que se puede considerar como buena para su uso.

Según la norma técnica nacional para agua de uso agrícola y pecuario de Honduras, establece el valor máximo de 5000 NMP/100mL de Coliformes Totales destinados al riego de vegetales de tallo bajo asimismo una concentración 10000 NMP/100mL de Coliformes Totales para aguas destinadas al riego de vegetales de tallo alto.

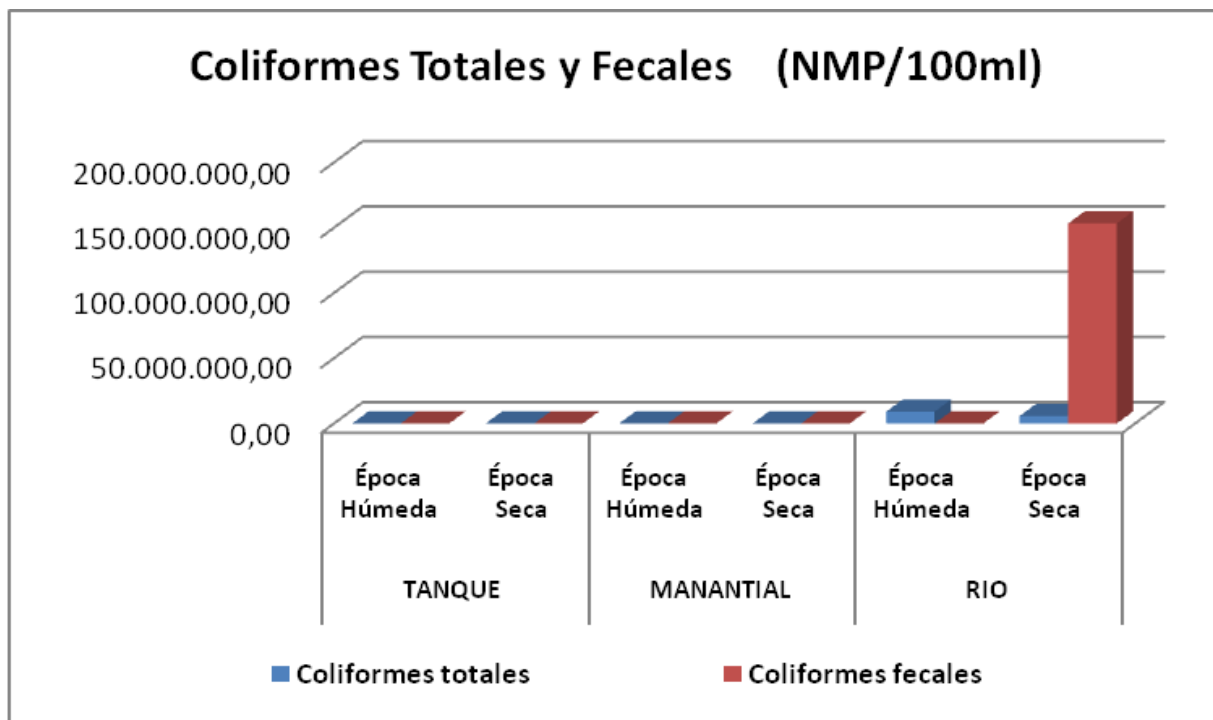
#### **5.1.2.12.2. Coliformes fecales.**

La contaminación fecal del agua puede incorporar una variedad de diversos organismos patógenos intestinales-bacterianos, virales y parasitarios, cuya presencia está relacionada con enfermedades y portadores de tipo bacteriano, que puede existir en el lugar. Estos organismos, cuya presencia en el ambiente es natural y a los que no se considera patógenos, también pueden producir en ocasiones enfermedades.

Las muestras de agua del tanque y del manantial se encuentran dentro del límite permitido por el reglamento de ley de medio ambiente (1996), que indica que el valor máximo es de 5 a 50 NMP/100ml clase A y 200 a 1000NMP/100ml clase B. Por otro lado el río durante la época húmeda presenta un valor de 20 NMP/100ml que indica

que se encuentra dentro del límite permitido, mientras que en época seca presenta una severa contaminación.

**Gráfico N° 17.** Contenido de Coliformes totales y fecales en los puntos de muestreo (2013-2014).



Fuente. Elaboración propia

## 5.2. Clasificación del agua de riego.

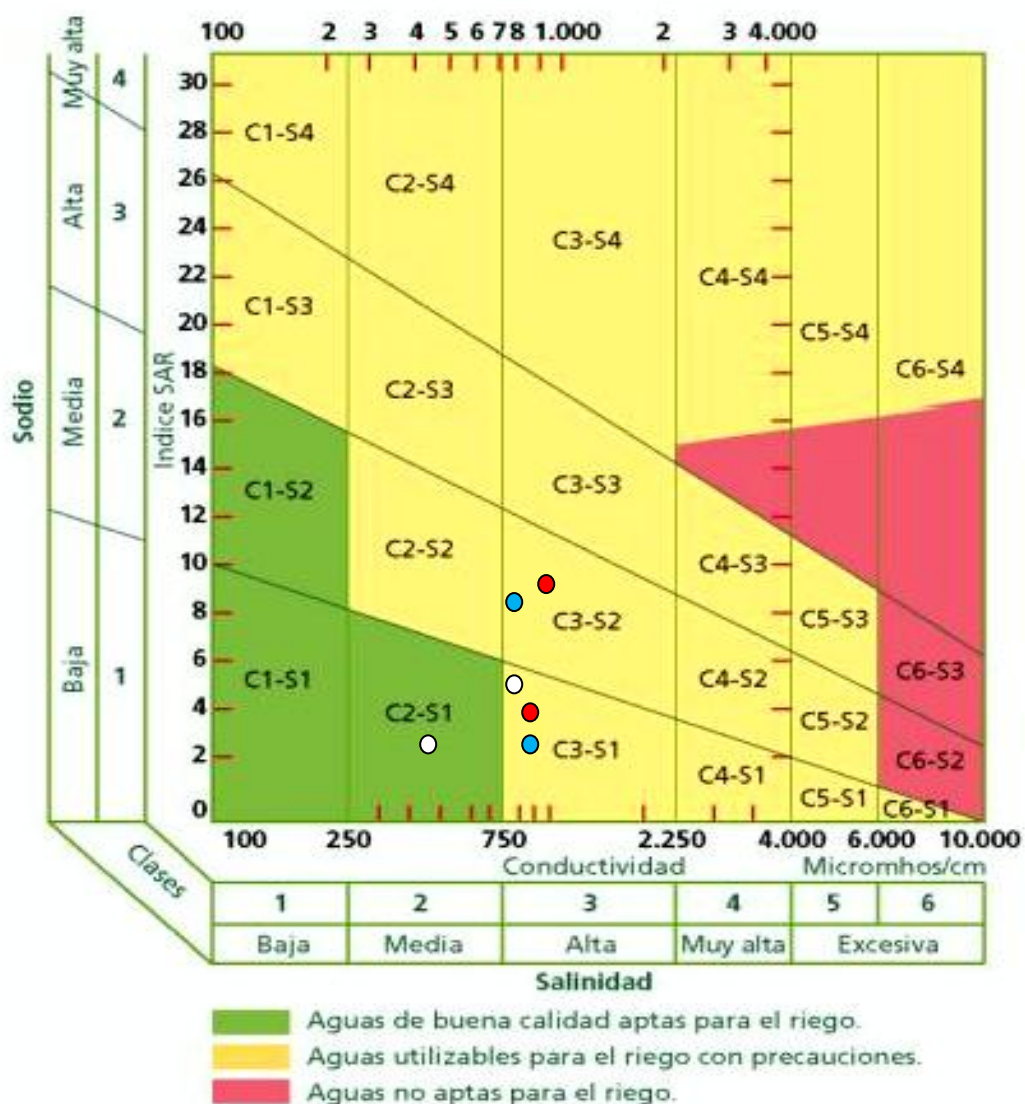
### 5.2.1. Norma Riverside.

Según la norma Riverside se establece que el agua del manantial y del tanque durante la época húmeda corresponde a una clase de agua **C3S2** y en época seca corresponde a agua **C3S1** aguas utilizables para riego con precauciones.

Mientras que el agua del río en época húmeda clasifica como **C2S1** que corresponde a una agua buena aptas para el riego y en época seca el agua corresponde a una agua utilizable con precaución es decir **C3S1**.

### NORMA RIVERSIDE

Clasificación de las aguas del manantial, tanque y río



● Manantial época Húmeda C3S2	● Tanque época Húmeda C3S2	○ Río época Húmeda C2S1
● Manantial época Seca C3S1	● Tanque época Seca C3S1	○ Río época Seca C3S1

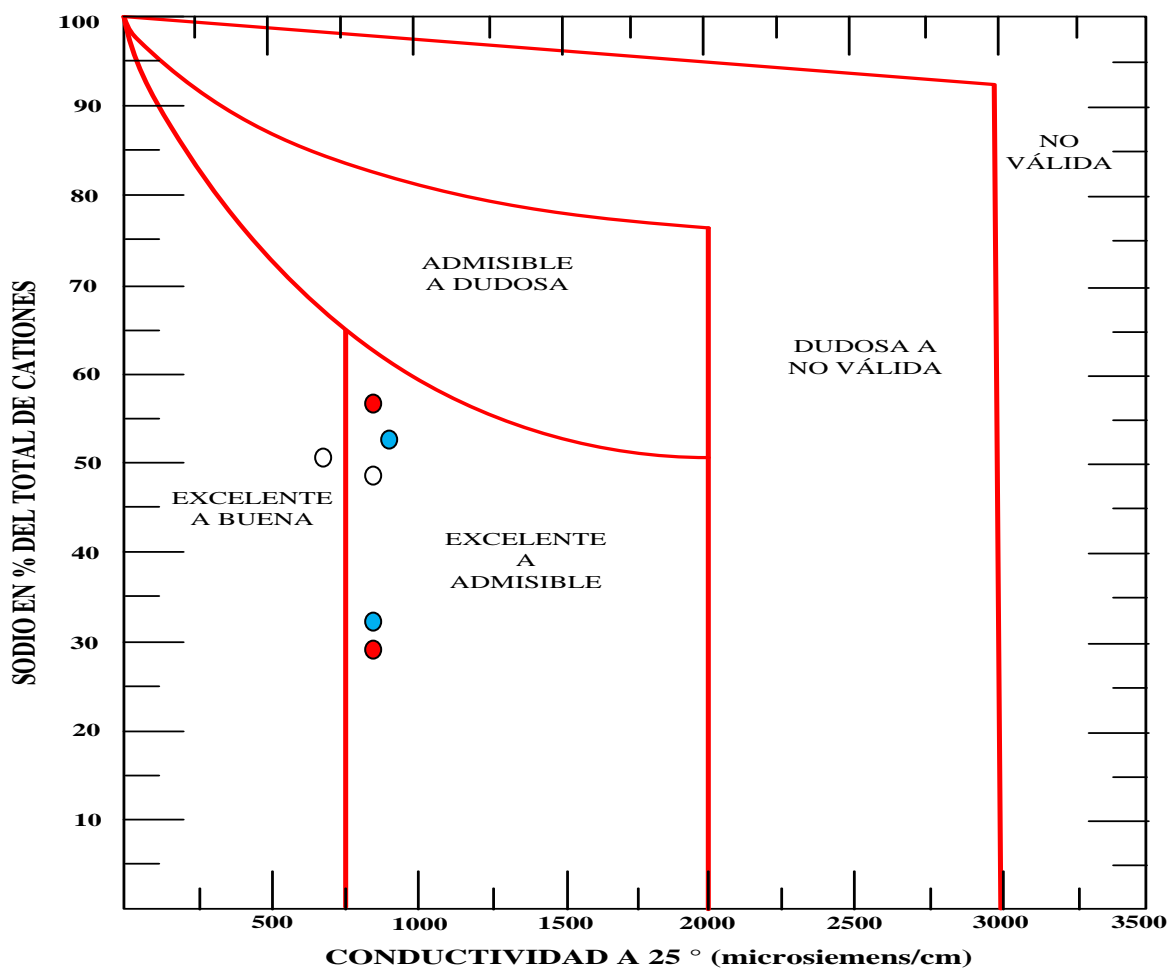


### 5.2.2 Norma L.V. Wilcox

Según de norma Wilcox clasifica a las aguas de manantial y del tanque como **excelente a admisible** para el riego tanto en la época húmeda y época seca. Mientras que el agua del rio se clasifica como **Excelente a Buena** en época húmeda y de **Excelente a Admisible** durante la época seca. Por lo que ambos se pueden utilizar sin ningún problema.

#### NORMA WILCOX

Clasificación de las aguas del manantial, tanque y rio



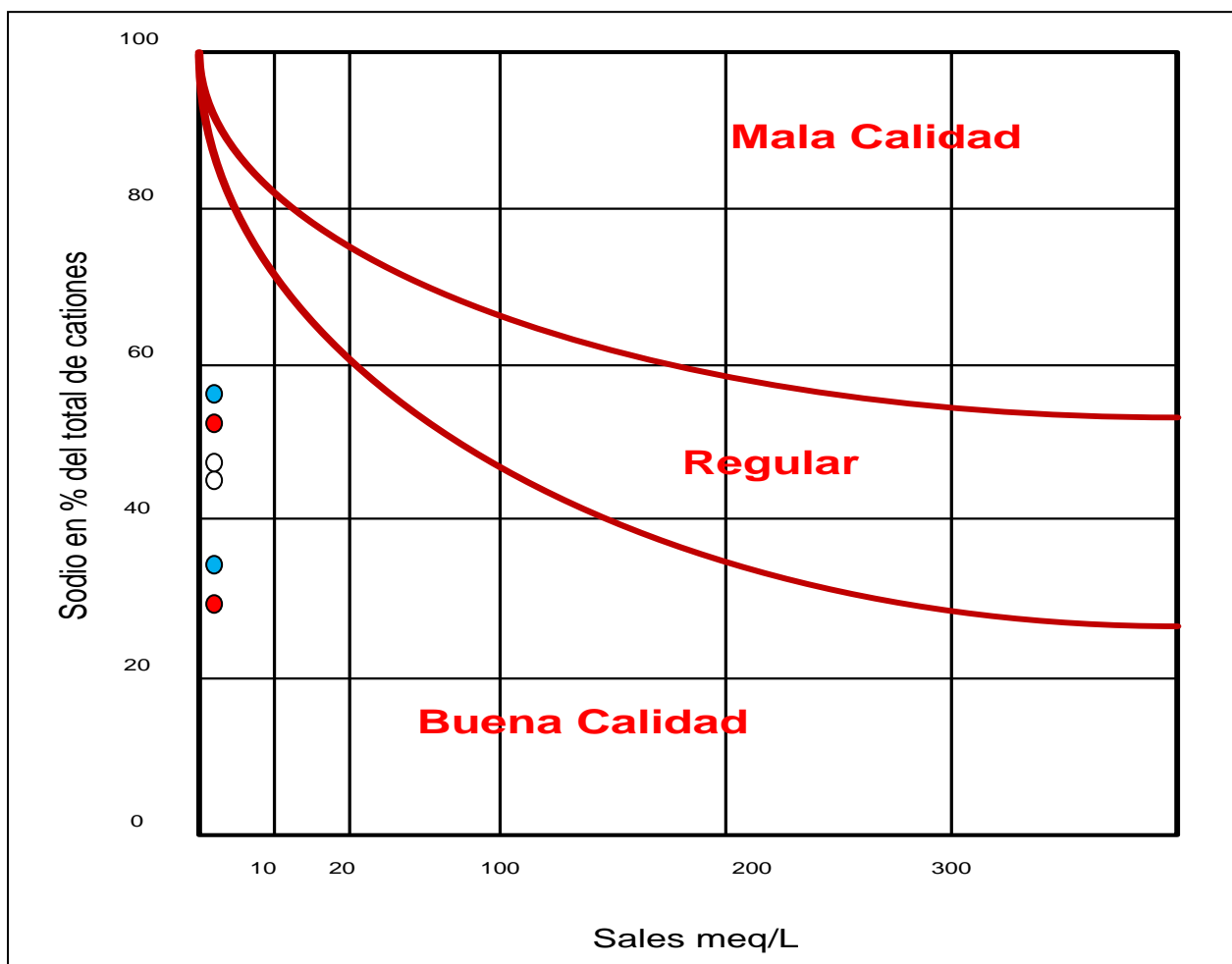
●	Manantial época Húmeda <b>Excelente a admisible</b>	●	Tanque época Húmeda <b>Excelente a admisible</b>	○	Río época Húmeda <b>Excelente a buena</b>
●	Manantial época Seca <b>Excelente a admisible</b>	●	Tanque época Seca <b>Excelente a admisible</b>	○	Río época Seca <b>Excelente a admisible</b>

### 5.2.3. Norma H. Greene (F.A.O.).

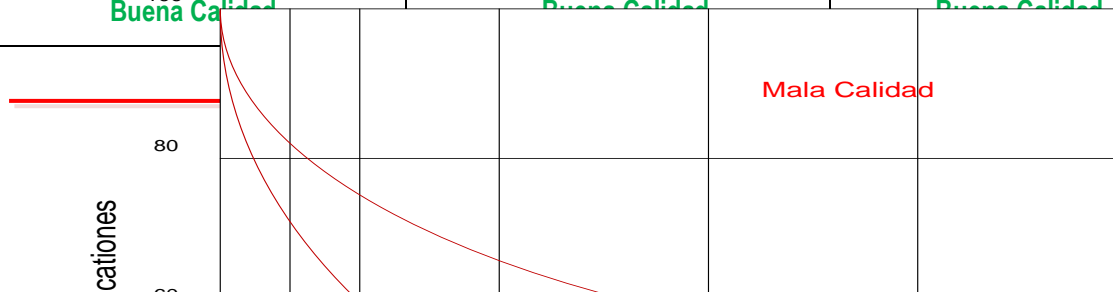
Según la norma H. Greene (F.A.O.) clasifica las aguas del manantial, del tanque y del río como **Agua de Buena Calidad para riego**. Esto asegura su uso sin ningún problema durante la época húmeda y época seca.

#### NORMA H. GREENE (F.A.O.)

Clasificación de las aguas del manantial, tanque y río



● Manantial época Húmeda <b>Buena Calidad</b>	● Tanque época Húmeda <b>Buena Calidad</b>	○ Río época Húmeda <b>Buena Calidad</b>
● Manantial época Seca <b>Buena Calidad</b>	● Tanque época Seca <b>Buena Calidad</b>	○ Río época Seca <b>Buena Calidad</b>



## 6. CONCLUSIONES.

Se cumplió con el objetivo general del trabajo, se realizaron los estudios propuestos; utilizando para ello toda la información necesaria y sobre todo identificando las necesidades, tanto de los estudiantes como de los docentes investigadores de la Estación Experimental de Cota Cota.

### **Parámetros fisicoquímicos (primer grado).**

Se realizaron los análisis físicos químicos de primer grado de las muestras y tomando como base las tablas de resultados, podemos concluir que:

El potencial de hidrógeno, pH de todas las muestras tanto en época húmeda como seca presentan valores dentro de la Norma Boliviana y el Reglamento de la Ley del Medio Ambiental. El valor medio para los diferentes puntos de muestreo está dentro del rango de 7,50 y 8,3.

La conductividad eléctrica del manantial y del tanque alcanzo un valor de 904,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que, de acuerdo con la Norma NCh 1333, se clasificó como agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles ( $750 < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Mientras que la conductividad eléctrica (C.E.) del Río alcanzo un valor de 691,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  clasificándose como agua apta para riego.

Comparando las concentraciones encontradas de los Sólidos Disueltos Totales, TDS, con los valores permitidos por la Norma Ch1333, podemos afirmar que las aguas estudiadas son comúnmente utilizadas para fines agrícolas sin mayores riesgos.

Los valores de los cationes encontrados indican que las concentraciones de sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro y Aluminio en todas las aguas analizadas están por debajo del límite de peligro.

Los parámetros de los aniones como los Cloruros, Nitratos, Fosfatos y Sulfatos presentan un comportamiento variado, sin embargo todas sus concentraciones están por debajo de los límites permisibles en cuerpos de aguas, lo que garantiza que no generará problemas de toxicidad ni trastornos en la salud de las plantas.

### **Parámetros fisicoquímicos (segundo grado).**

La dureza de las aguas estudiadas están clasificadas: “como aguas medianamente duras”, por lo que no presenta mayor peligro el uso de estas aguas para riego, así se tenga un valor de pH superior a 7.

La Salinidad Efectiva (S.E.), para las aguas del río, en época húmeda es clasificada como “buenas”; mientras que en época seca se clasifica como agua “condicionada”. Las aguas del manantial y tanque en época húmeda se encuentran clasificadas como “aguas no recomendables”; sin embargo ambas aguas en época seca clasifican como “aguas buenas”.

Según la Salinidad Potencial (S.P.), todas las aguas tiene una calificación de buena, lo que se descarta el peligro de elevadas concentraciones de iones cloruro y sulfatos, su uso no presenta restricciones.

La Relación de Absorción de Sodio (R.A.S.), en las aguas del río en época seca clasifica como baja en sodio y en época húmeda clasifica como agua “media en sodio” al igual que el agua del manantial y del tanque durante las dos épocas del año en general no presentan riesgo alguno a los sembradíos si se la usa con precaución.

Los valores de concentración de Carbonato Sódico Residual (C.S.R.) en las aguas del manantial y pozo en época seca se clasifican como buenas lo mismo que las aguas del río en época húmeda. En época lluviosa las aguas del manantial y pozo corresponden a un agua condicionada y la misma clasificación presenta el agua del río en época seca.

Todas las muestras de aguas estudiadas, tienen un Por ciento de Sodio Intercambiable (P.S.I.) bajo, lo que libra de peligros de inestabilidad, permeabilidad y pobre aireamiento al suelo.

El Índice de Scott en las aguas del manantial y del tanque en época seca clasifica como: “gua buena” por lo cual no es necesario tomar precauciones. Mientras que en época húmeda se las consideran como aguas tolerables; por otro lado el rio durante la época húmeda es calificado como agua buena y en época seca califica como “agua tolerable” esto implica tomar algunas precauciones al emplearlas.

Ninguno de los elementos considerados tóxicos (B, Cl y Na) presentan concentraciones que podrían afectar a las plantas o al suelo.

### **Parámetros microbiológicos.**

Los coliformes totales en el rio presenta una severa contaminación por lo que deberán recibir tratamiento, mientras que el agua del tanque durante las dos épocas presenta valores que se encuentran dentro de los límites permitidos y por último el manantial en época húmeda no cumple los límites de la Norma Técnica Nacional para agua de uso agrícola y pecuario de Honduras.

En cuanto a los coliformes fecales las aguas del manantial y del tanque durante las dos épocas se encuentran dentro del límite permitido, mientras que el agua del rio en época seca presenta una severa contaminación.

Los resultados obtenidos en los diferentes muestreos varían indistintamente debido a las descargas que el canal recibe en forma irregular.

### **Metales pesados.**

El contenido de elementos pesados (aquellos tóxicos cuando no son metabolizados por el organismo) definidos como elementos dañinos para la salud, como el Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se, Fe, Co, Ni, Mg, Zn y Sn indican niveles bajos respecto a los valores máximos permitidos de acuerdo a las normas ambientales nacionales e internacionales existentes.

### **Clasificación de las aguas para riego**

Las aguas estudiadas en su totalidad clasifican según la Norma Riverside como aguas que deben utilizarse con alguna precaución.

Según la aplicación de la Norma Wilcox, todas las aguas están clasificadas como aguas de excelente a buena para el uso como aguas de riego.

Según la aplicación de la Norma H. Greene (FAO), todas las aguas están clasificadas como aguas de buena calidad para el uso como aguas de riego.

El trabajo muestra parámetros no incluidos en las Normas Oficiales Bolivianas, y se tuvo que utilizar normas de otros países que sí los contempla, por lo tanto es necesario incluirlas para aminorar los problemas existentes en los campos de cultivos de nuestro país.

En general, podemos afirmar que las aguas estudiadas no presentan problemas de calidad en relación a su composición física y química, los parámetros evaluados están dentro de los rangos o límites establecidos por las Normas estudiadas para el efecto.

## 7. RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos realizar las siguientes recomendaciones:

Ya que la Estación Experimental de Cota cota se encuentra ubicada en pleno centro urbano, cuyo mayor inconveniente es el crecimiento de la población en toda el área de la cuenca del río Jillusaya, se recomienda realizar un monitoreo constante del agua del río y del manantial.

Se debe tomar en cuenta que el agua del río, por su elevado contenido de Colifomes totales y fecales puede afectar a la salud de los estudiantes que realizan sus prácticas en las diferentes asignaturas; se recomienda que durante el riego los estudiantes deban usar botas de agua, guantes de goma, para no exponerse a contraer enfermedades de tipo bacteriana, además estas aguas no deberán usarse para regar cultivos de hortalizas de hoja (para consumo en estado crudo)

De manera general se sugiere que a partir de esto resultados se puedan realizar otros trabajos de tesis con el fin de disminuir los niveles elevados de sodio del manantial, así como también realizar investigaciones probando métodos para reducir la contaminación microbiológica del río de manera que se encuentre un método que sea que sea económico y sostenible en el tiempo.

Por último la Facultad de Agronomía debería implementar un laboratorio equipado que cuente con todos los materiales necesarios para realizar análisis, principalmente de agua para riego y análisis suelos; ya que nuestro principal objetivo es la generación de tecnologías para la producción alimentos sanos.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- ACEVES, N. y PALACIOS, V., 1994. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. p. 5-15.
- APAZA, V., 2011. Mejoramiento del sistema de riego en el Centro Experimental de Cota Cota. Trabajo dirigido. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz Bolivia. 97p.
- APHA, 1995. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, Díaz de Santos, S.A. 2-1 a 2-105, 3-1 a 3-186, 4-1 a 4-235, 9-1 a 9-179 p.
- AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W., 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudios FAO. Serie Riego y Drenaje. N°29 Edición FAO Roma. p. 89 – 95 del departamento de La Paz. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y naturales. Carrera de Ciencias Químicas. UMSA La Paz Bolivia. 124 p.
- DEL VALLE F, H., 1992. Practicas de relaciones agua-suelo-atmosfera. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- FAO., 1985. Water quality for agriculture. Irrig. and Drain. Paper N° 29. Roma.
- FLORES, M., 2009 Evaluación de la contaminación de las aguas del rio Jillusaya del departamento de la paz. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y naturales. Carrera de Ciencias Químicas. UMSA La Paz Bolivia.124 p.



HELMER, R. e INVALIDO, H., 1999. Control de la Contaminación del agua. CEEPIS. OPS/OMS. Lima Perú. 546 p.

HENRY J. y HEINKE G., 1999. Ingeniería Ambiental. Mexica, Preince Hall 283-284 p.

LEY N°1333, 1995. Ley y Reglamento del Medio Ambiente. U.P.S Editorial s.r.l. La Paz Bolivia. 398 p.

MADIGAN, M.T., MORTINKO, J. M.; PARKER J. 2004. Biología de los microorganismos. Ed. I Capella. Trad. M.G. FERNÁNDEZ, T. GONZALES; C. RODRIGUEZ; R. GENERO; M. SANCHEZ; J. JIMENEZ 10 ed. España. 943-953 p.

MASTERTON, W., y SLOWINSKI, E., 1974. Química General Superior. México. 702 p.

OMS., 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Informe Técnico 778. Ginebra.

OMS., 1995. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. Segunda edición. Ginebra 778. Ginebra. OMS. Vol 1, 195 p.

PEREZ, J., 011. Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola. Trabajo de experiencia recepcional. Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa de Enriquez, Veracruz. 41 p.

PORTA, J., 2010. Introducción a la edafología: Uso y protección de suelos. Segunda Edición. Editorial Mundi – prensa. Madrid. España.

PORTA, J., 2010. Introducción a la edafología: uso y protección de suelos. 2ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

- QUINO, I., 2006. Determinación de la calidad fisicoquímica de agua subterránea en la región norte y este del Lago Poopó. Tesis de Grado para optar el título de Licenciado en Ciencias Químicas. La Paz Bolivia.
- ROMERO, J., 2005. Calidad del agua. Colombia. 468 p.
- SANCHEZ, C., 2005. Sistema de riego: Uso, Manejo e Instalación. Ediciones RIPALME E. I. R. L. Lima Perú. 134 p.
- SEOANEZ, M., 1999. Aguas residuales tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos, Tecnologías, Diseño. España. 320 p.
- SERRANO, G., \_\_\_\_\_. Manual de Salinidad y Drenaje. Apuntes. La Paz Bolivia. 93 p.
- SILES, A., HITSUDA, K. y KOBAYASHI, S., 1999. Evaluación de la calidad de aguas de ríos y pozos en las colonias Japonesas en Bolivia. CETABOL .JICA. Santa Cruz Bolivia. 38 p.
- URBANO, P., 1992. Tratado de Fitotecnia General. Edición Mundi Prensa.
- USON M., BOIXADERA L., BOSCH S., y MARTÍN E., 2010. Tecnología de suelos: estudio de casos. Editorial Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.
- VALENZUELA. L., 1995. Evaluación microbiológica en sistemas de tratamiento biológico para aguas residuales. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. UMSA. La Paz Bolivia. 142 p.

- VARGAS, E., 1992. Estudio de la flora y vegetación de la cuenca del rio Jillusaya (Prov. Murillo, La Paz) como base para un futuro manejo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. 97 p.
- VASQUEZ, A., 2000. Manejo de cuencas altoandinas. Tomo II. Escuela Superior de administración “Charles Sutton”. Impreso en el Perú. 516 p.
- ZEBALLOS, M., 2000. Estudio de los cambios en la composición florística, cobertura vegetal y fenología a lo largo de un ciclo anual en el área permanente de Cota Cota – La Paz. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. 133 p

## **ANEXO N° 1**



**Foto N° 1.** Cultivo de especies hortícolas (lechuga, acelga) y frutilla en ambientes protegidos bajo riego por goteo Estación Experimental de Cota Cota Facultad de Agronomía.



**Foto N° 2.** Cultivo de especies hortícolas (cebolla) y tubérculos (papa) a campo abierto bajo riego por surcos Estación Experimental de Cota Cota Facultad de Agronomía.





**Foto N° 3.** Toma de muestra de agua del manantial Estación Experimental de Cota Cota Facultad de Agronomía.



**Foto N° 4.** Toma de muestra de agua del tanque de almacenamiento del agua del manantial Estación Experimental de Cota Cota Facultad de Agronomía.





**Foto Nº 5.** Rio Jillusaya Estación Experimental de Cota Cota Facultad de Agronomía.

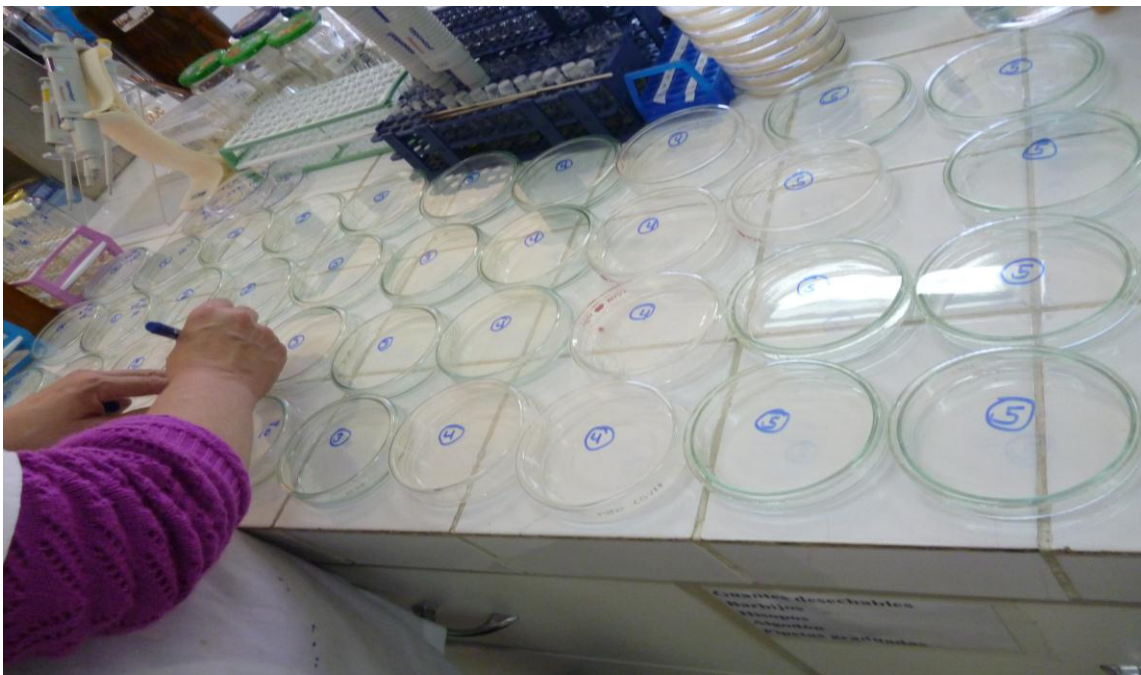


**Foto Nº 6.** Toma de muestra de agua del rio Jillusaya (canal de riego) Estación Experimental de Cota Cota Facultad de Agronomía.





**Foto N° 7.** Etiquetado de los frascos para el análisis microbiológico y esterilización de las cajas petri para el análisis microbiológico laboratorio de Química Campus Universitario de Cota Cota.



**Foto N° 8.** Preparación de las Cajas petri para el análisis microbiológico laboratorio de Química Campus Universitario de Cota Cota.





**Foto N° 9.** pHchímetro conductímetro laboratorio de Químico del IGMA Campus Universitario de Cota Cota.



**Foto N° 10.** Filtrado de las muestras para su análisis físico-químico laboratorio de Químico del IGMA Campus Universitario de Cota Cota



**Foto N° 11.** Absorción atómica Hitachi, para el análisis de las muestras para su análisis físico-químico laboratorio de Químico del IGMA Campus Universitario de Cota Cota.



**Foto N° 12.** Equipo ICP-OES, para el análisis de las muestras para su análisis físico-químico laboratorio de Químico del IGMA Campus Universitario de Cota Cota.

## **ANEXO N° 2**

**Anexo N° 2.1 Potencial de hidrógeno (pH) de los puntos de muestreo de la Estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Tanque		Manantial		Rio	
	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
pH	8,30	7,83	8,35	7,50	7,50	7,53

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.2. Conductividad Eléctrica (C.E.) en los puntos de muestreo de la Estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
CE	μS/cm	929,50	843,33	959,50	885,00	614,50	769,00
<b>Clasificación</b>		Alta C3	Alta C3	Alta C3	Alta C3	Media C2	Media C3

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.3. Concentración de sólidos disueltos totales (S.D.T.) en los sitios de muestreo de la Estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca	Época húmeda	Época seca
Sólidos totales disueltos	mg/L	763,04	659,23	758,01	679,31	350,76	562,96
<b>Clasificación</b>		Restricción Moderada	Restricción Moderada	Restricción Moderada	Restricción Moderada	Sin ninguna Restricción	Restricción Moderada

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.4. Concentración de iones (Ca, Mg, K, Na, Fe y Al) presentes en el agua de los puntos de muestreo de la Estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Cationes					
		Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Calcio	mg/L	51,06	66,34	50,81	71,58	25,31	43,48
Magnesio	mg/L	26,03	25,54	25,45	27,63	8,22	12,71
Potasio	mg/L	2,18	5,94	2,13	5,95	12,13	14,85
Sodio	mg/L	142,15	63,74	138,35	66,51	52,00	77,29
Hierro	mg/L	0,27	0,01	0,27	0,02	0,31	0,01
Aluminio	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01

**Fuente.** Elaboración propia

**Anexo N° 2.5. Concentración de iones sulfato, cloruro, nitrato, fosfato, Carbonato y Bicarbonato presentes en el agua de los puntos de muestreo de la Estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Aniones					
		Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Sulfatos	mg/L	118,00	90,59	117,50	89,59	60,00	43,13
Cloruro	mg/L	41,50	32,28	43,00	33,28	34,50	43,50
Nitrato	mg/L	3,05	6,65	2,95	6,25	3,05	6,25
Fosfato	mg/L	0,03	0,19	0,03	0,22	0,32	2,16
Carbonato	mg/L	9,25	6,27	14,50	10,27	2,90	2,90
Bicarbonato	mg/L	369,50	361,67	363,00	368,00	152,00	316,67

**Fuente.** Elaboración propia

**Anexo N°2.6 Resultados de Dureza expresados en °F para la calificación de las aguas de riego de la estación Experimental de Cota Cota en función de de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Dureza	°F	23,49	27,11	23,19	29,28	9,71	16,11
<b>Clasificación</b>		<b>Medianamente dura</b>	<b>Medianamente dura</b>	<b>Medianamente dura</b>	<b>Medianamente dura</b>	<b>Dulce</b>	<b>Medianamente dulce</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Anexo N° 2.7 Resultados de SE para la calificación de las aguas de riego de la estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Salinidad Efectiva	meq/L	6,25	2,92	6,08	3,05	2,58	3,74
<b>Clasificación</b>		<b>Condicionada</b>	<b>Buena</b>	<b>Condicionada</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Condicionada</b>

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.8 Resultados de Salinidad Potencial para la calificación de las aguas de riego de la estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Salinidad Potencial	meq/L	2,40	1,85	2,44	1,87	1,60	1,67
<b>Clasificación</b>		<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>

Fuente. Elaboración propia

**Anexo Nº 2.9 Resultados de la variación de la Relación de adsorción de sodio para la calificación de las aguas de riego de la estación Experimental de Cota Cota en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Relación de Adsorción de Sodio	meq/L	9,28	3,88	9,09	4,06	3,67	5,57
<b>Clasificación</b>		Media en Na S2	Baja en Na S1	Media en Na S2	Baja en Na S1	Baja en Na S1	Baja en Na S1

**Fuente.** Elaboración propia

**Anexo Nº 2.10 Resultados de la variación del carbonato sódico residual para la calificación de las aguas de riego de la estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Carbonato Sódico residual	meq/L	1,68	0,73	1,81	0,53	0,65	2,07
<b>Clasificación</b>		Condicionada	Buena	Condicionada	Buena	Buena	Condicionada

**Fuente.** Elaboración propia

**Anexo N° 2.11 Resultados de la variación del porcentaje de sodio soluble para la calificación de las aguas de riego de la estación Experimental de Cota Cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
<b>Porcentaje de Sodio soluble</b>	%	56,51	33,25	56,16	32,53	49,98	48,31
<b>Clasificación</b>		Dudosa	Buena	Dudosa	Buena	Buena	Buena

**Fuente.** Elaboración propia

**Anexo N° 2.12 Resultados del porcentaje de sodio intercambiable para la calificación de las aguas de riego de la estación experimental de Cota cota en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
<b>Porcentaje de Sodio Intercambiable</b>	meq/L	4,33	1,15	4,23	1,16	2,00	2,48
<b>Clasificación</b>		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

**Fuente.** Elaboración propia



**Anexo N° 2.13 Resultados del índice de Scott para la calificación de las muestras del agua de riego de la estación experimental de Cota cota, en función de las épocas de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Coefficiente de Scott	meq/L	8,47	44,83	8,94	38,18	43,67	14,77
<b>Clasificación</b>		<b>Tolerable</b>	<b>Buena</b>	<b>Tolerable</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Tolerable</b>

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.14 Resultados del índice de Kelly para la calificación de las muestras del agua de riego de la estación experimental de Cota cota, en función de las épocas de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Índice de Kelly	%	23,43	44,04	23,81	40,87	30,06	32,98
<b>Clasificación</b>		<b>Mala</b>	<b>Buena</b>	<b>Mala</b>	<b>Buena</b>	<b>Mala</b>	<b>Mala</b>

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.15 Resultados de elementos tóxicos para la calificación del agua de riego de la estación experimental de Cota cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Unidad	Elementos Tóxicos					
		Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Boro	mg/L	0,20	0,14	0,30	0,13	0,16	0,10
Cloruro	mg/L	41,50	32,28	43,00	33,28	34,50	43,50
Sodio	mg/L	142,15	63,74	138,35	66,51	52,00	77,29

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.16 Resultados de elementos traza presentes en el agua de riego de la estación experimental de cota cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetros	Unidad	Elementos Traza					
		Tanque		Manantial		Rio	
		Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Aluminio	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Manganeso	mg/L	0,06	0,01	0,06	0,01	0,07	0,00
Hierro	mg/L	0,27	0,01	0,27	0,02	0,31	0,01
Mercurio	mg/L	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Cadmio	mg/L	0,00085	0,01881	0,00045	0,01726	0,0005	0,01789
Plomo	mg/L	0,00	0,00626	0,00	0,00681	0,00	0,0034
Arsénico	mg/L	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01108
Cobalto	mg/L	0,00016	0,0046	0,00072	0,00086	0,00022	0,00172
Cromo	mg/L	0,00000	0,00064	0,00000	0,00002	0,00000	0,00184
Cobre	mg/L	0,00621	0,00805	0,00548	0,00802	0,00840	0,01237
Níquel	mg/L	0,01000	0,00739	0,01000	0,00525	0,01000	0,00733
Selenio	mg/L	0,01000	0,02542	0,01000	0,02724	0,01000	0,02199
Zinc	mg/L	0,00151	0,00080	0,01000	0,00246	0,01000	0,00429
Estaño	mg/L	0,02784	0,03746	0,03050	0,03552	0,03015	0,02640
Antimonio	mg/L	0,01000	0,21630	0,01000	0,58980	0,01000	0,30540

Fuente. Elaboración propia

**Anexo N° 2.17 Resultados microbiológicos del agua de riego de la estación experimental de cota cota, en función de la época de muestreo (2013-2014).**

Parámetro	Microbiología					
	Tanque		Manantial		Rio	
	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
Coliformes totales NMP	1.375,00	1.367,33	14.900,00	8.300,67	9.070.000,00	5.767.466,67
Coliformes fecales NMP	2,00	2,53	2,00	2,53	20,00	153.333.388,67

Fuente. Elaboración propia

## **ANEXO N° 3**

**Anexo N° 3.1. Requisitos químicos de agua potable**

<b>Características</b>	<b>Símbolo</b>	<b>valor máximo aceptable</b>	<b>Unidad</b>
Aluminio	Al	0,2	mg/L
Arsénico	As	0,01	mg/L
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	0,5	mg/L
Antimonio	Sb	0,005	mg/L
Bario	Ba	0,7	mg/L
Boro	B	0,3	mg/L
Cadmio	Cd	0,005	mg/L
Calcio	Ca	200,00	mg/L
Cianuro	CN <sup>-</sup>	0,07	mg/L
Cloro residual	Cl	1,0	mg/L
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250,0	mg/L
Cobre	Cu	1,0	mg/L
Cromo total	Cr	0,05	mg/L
Fluoruro	F <sup>-</sup>	1,5	mg/L
Hierro total	Fe	0,3	mg/L
Magnesio	Mg	150,0	mg/L
Manganeso	Mn	0,1	mg/L
Mercurio	Hg	0,001	mg/L
Níquel	Ni	0,05	mg/L
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1	mg/L
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45,0	mg/L
Plomo	Pb	0,01	mg/L
Selenio	Se	0,01	mg/L
Sodio	Na	200,0	mg/L
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	400,0	mg/L
Zinc	Zn	5,0	mg/L

**Fuente:** Norma Boliviana NB 512 (2004)

**Anexo N° 3. 2. Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego**

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo</b>
Aluminio	Al	mg/L	5,00
Arsénico	As	mg/L	0,10
Bario	Ba	mg/L	4,00
Berilio	Be	mg/L	0,10
Boro	B	mg/L	0,75
Cadmio	Cd	mg/L	0,010
Cianuro	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,20
Cloruro	Cl <sup>-</sup>	mg/L	200,00
Cobalto	Co	mg/L	0,050
Cobre	Cu	mg/L	0,20
Cromo	Cr	mg/L	0,10
Fluoruro	F <sup>-</sup>	mg/L	1,00
Hierro	Fe	mg/L	5,00
Litio	Li	mg/L	2,50
Litio (cítricos)	Li	mg/L	0,075
Manganeso	Mg	mg/L	0,20
Mercurio	Hg	mg/L	0,001
Molibdeno	Mo	mg/L	0,010
Níquel	Ni	mg/L	0,20
Plata	Ag	mg/L	0,20
Plomo	Pb	mg/L	5,00
Selenio	Se	mg/L	0,02
Sodio porcentual	Na	mg/L	35,00
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/L	250,00
Vanadio	V	mg/L	0,10
Zinc	Zn	mg/L	2,00

**Fuente:** Norma Chilena NCh 1333 (1987).

### Anexo Nº 3.3. Límites permisibles en cuerpos de agua superficiales

Parámetro	Unidad	Consumo Humano	Consumo animal	Riego
Temperatura	°C	9 -15	SI	SI
C.E.	mS/cm	0,1 - 1,0	1,50	1,50
pH		6,5 - 8,5	6,5 - 9,0	5,5 - 9,0
T.D.S	mg/L	500 - 1500	5.000	500 - 3500
OD	mg/L	>4	>4	3 - 9
Tasa de saturación	%	SI	SI	SI
Alcalinidad total	mg/L	610	SI	SI
Bicarbonatos	mg/L	SI	SI	280
Carbonatos	mg/L	Solo aparece a partir de pH 8,3	SI	75
Fosfatos	mg/L	3,5	7,0	65
Nitratos	mg/L	40	50	40
Cloruros	mg/L	250	400	400
Sulfatos	mg/L	400	800	400
Calcio	mg/L	200	SI	SI
Magnesio	mg/L	100	SI	200
Sodio	mg/L	120	200	300
Potasio	mg/L	1000	SI	SI
Hierro	mg/L	0,30	!,0	5,0
Manganeso	mg/L	0,30	!,0	0,5 - 5,0
Arsénico	mg/L	0,05	0,2	0,1 - 2,0
Cobre	mg/L	1,0	0,5	0,2
Plomo	mg/L	0,05	0,10	5,0 - 10,0
Zinc	mg/L	5,0	5,0	5,0

Fuente: OPS/OMS, Bremond y Perdón (1987)

**Anexo Nº 3.4. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores (Reglamento de Ley del Medio Ambiente (1995)).**

Nº	Parámetros	Unidad	Clase "A"	Clase "B"	Clase "C"	Clase "D"
1	Ph		6,0 a 8,5	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
2	Conductividad	mS/cm	0,1 a 1 *	0,2 a 1,5 **	0,2 a 2 **	4 **
3	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	1500
4	Aluminio	mg/L	0,2	0,5	1,0	1,0
5	Antimonio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
6	Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
7	Boro	mg/L	1,01	1,0	1,0	1,0
8	MNP Colifecales	NMP/100ml	< 50 y < 5 en 80% muestras	<1000 y < 200 en 80% muestras	< 50 00 y <1000 en 80% muestras	< 50000 y < 5000 en 80% muestras
9	Sodio	mg/L	200	200	200	200
10	Potasio	mg/L	1000 *	SI	SI	SI
11	Calcio	mg/L	200	300	300	400
12	Magnesio	mg/L	100	100	150	150
13	Alcalinidad	Mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	280 *	> 280 *	> 280 *	> 280 *
14	Cloruros	mg/L	250	300	400	500
15	Nitrato	mg/L	20,0	50,0	50,0	50,0
16	Fosfato	mg/L	0,4	0,5	1,0	1,0
17	Hierro	mg/L	0,3	0,3	1,0	1,0
18	Zinc	mg/L	0,2	0,2	5,0	5,0
19	Sulfato	mg/L	300	400	400	400
20	Cobre	mg/L	0,05 c Cu	1,0 c Cu	1,0 c Cu	1,0 c Cu
21	Plomo	mg/L	0,05 c Pb	0,05 c Pb	0,05 c Pb	0,1 c Pb

**Fuente:** Ley 1333 y reglamento del medio ambiente (1995).

### Anexo Nº 3.5. Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso

Orden	Usos	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
1	Para abastecimiento de agua potable después de :				
	a) Solo una desinfección y ningún tratamiento	Si	No	No	No
	b) Tratamiento solo físico y desinfección	No necesario	Si	No	No
	c) Tratamiento físico-químico completo coagulación, floculación, filtración y desinfección	No necesario	No necesario	Si	No
	d) Almacenamiento prolongado o presedimentación seguido de tratamiento al igual que el c)	No necesario	No necesario	No necesario	Si
2	Para recreación de contacto primario natación, esquí ,inmersión	Si	Si	Si	No
3	Para protección de los recursos microbiológicos	Si	Si	Si	No
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cascara delgada, que sean ingeridas crudas sin remisión de ella	Si	Si	No	No
5	Para abastecimiento industrial	Si	Si	Si	Si
6	Para la cría natural y/o intensiva de (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana	Si	Si	Si	No
7	Para abrevaderos de animales	No	Si	Si	No
8	Para la navegación	No	No	Si	Si

**Fuente:** Ley 1333 y reglamento del medio ambiente (1995).



## ANEXO N° 4

# METALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA

## OBJETIVO

Este instructivo proporciona la metodología a seguir cuando debe medirse concentraciones metálicas en muestras acuosas por **ABSORCIÓN ATÓMICA** a la llama en el Laboratorio Químico del IGEMA.

## ALCANCE

En solución, los metales pueden determinarse rápidamente por absorción atómica. Sin embargo, cuando la muestra posee material particulado, requiere de una digestión previa.

## REFERENCIAS

Método 3111.

"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Ed 19, 1995

## EQUIPOS Y MATERIALES

Espectrofotómetro de absorción atómica de canal simple o doble, o un instrumento que tenga doble haz y monocromador, detector, abertura ajustable, longitud de onda en el rango de 190 - 800 e interfaces para un graficador.

El quemador (mechero) usado debe ser el que recomienda el fabricante del instrumento. En general se trata del tipo Premix (premezclado), que introduce el spray en una cámara de condensación para eliminar macrogotas.

Lámparas de cátodo hueco de un elemento, multielemento (generalmente con menor sensibilidad), o EDL (requieren un prolongado tiempo de calentamiento y estabilización.)

Pipetas de microlitros con puntas desechables los rangos deben ir entre 10 y 10000  $\mu\text{L}$ . Las puntas de pipeta deben chequearse como posible fuentes de contaminación antes de uso.

Válvulas reductores de presión, los manómetros de combustible y oxidante deben mantener a presiones algo mayores que las de operación del instrumento, mediante valores apropiados.

Campana. Situada sobre el quemador a una altura de 15 a 30 cm, para remover vapores y gases de combustión. Esto protege a analistas de vapores tóxicos, al instrumento de vapores corrosivos y ayuda a estabilizar la llama eliminando otro tipo de corrientes de aire. En lo posible, la ventilación debe estar provista de un regulador del paso de aire para ajustarlo exactamente a los requerimientos del equipo.

Los desechos de análisis deben ser colocados en un recipiente de polietileno denso, situado bajo el instrumento, conectado con una manguera de Tygon con una vuelta, de tal forma que esta actúe como sifón.

Agua destilada – desionizada.

Ácido nítrico concentrado p. a.

Ácido Clorhídrico concentrado, p. a.

Aire.

Estándares de calibración de cada metal de 1000 mg/L, del tipo FIXANAL o TRITISOL.

Acetileno, extra puro.

Oxido nitroso.

## DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

### Interferencias

Muchos metales pueden ser determinados por aspiración directa de la muestra en una llama aire-acetileno, pero la interferencia mas problemática en este caso es de tipo químico, resultado de la falta de absorción de átomos ligados en combinaciones moleculares en la llama. Esto puede ocurrir cuando la llama no esta suficiente caliente como para disociar las moléculas o cuando la disociación de átomos es oxidada inmediatamente a un compuesto que no se disociará a la temperatura de la llama. Tales interferencias pueden ser reducidas o eliminadas adicionando elementos específicos o compuestos a la solución de la muestra. Por ejemplo:

- \* La interferencia de fosfato en la determinación de magnesio, puede ser reducida por la adición de lantano.
- \* La adición de calcio elimina la interferencia del silicio en la determinación de manganeso.
- \* La utilización de una llama nitroso - acetileno puede también minimizar ciertos tipos de interferencias químico, encontrados en la llama aire – acetileno.

El método extracción MIBK con APDC es utilizado cuando interfieren matrices salinas, como por ejemplo, aguas de mar. También permite una concentración de la muestra, lo que implica una extensión en el límite de detección.

La presencia de altas concentraciones de sólidos disueltos interfieren en la formación de unos cristales en el mechero. Esto es eliminado, apagando la llama y limpiando el mechero. En estos casos es preferible filtrar la muestra para eliminar los sólidos.

Interferencias de ionización ocurren cuando la temperatura de la llama es suficientemente alta como para remover un electrón de un átomo neutro, produciendo un ión cargado positivo. Este tipo de interferencias puede ser controlado por adición a estándares y soluciones muestras de gran cantidad (1000 mg/L) de un elemento fácilmente ionizable como lo es K, Na, Li, o Cs.

Interferencias espectrales pueden ocurrir cuando la longitud de onda absorbente de un elemento presente en la muestra que no esta siendo determinado cae en el ancho de la línea de absorción del elemento de interés El resultado de la determinación será entonces erróneamente alto, debido a la contribución del elemento interferente a la señal de absorción atómica.

También puede ocurrir interferencia si energías resonantes de otro elemento en una lámpara multielemento o una impureza metálica en el cátodo de la lámpara cae en la banda de paso del ancho de banda escogido, cuando el otro metal esta presente en la muestra (Ca-Mg, Na-K), esta interferencia puede reducirse algunas veces, estrechando el ancho de banda.

Muestra y estándares deben ser monitoreados por diferencias de viscosidad que pudieran alterar la velocidad de aspiración Cuando se trata de muestras cuya viscosidad es muy diferente, debe o bien prepararse un estándar de viscosidad semejante a la de la muestra, o bien realizar el análisis por adición de estándar.

Si la técnica de aspersion directa y absorción atómica no provee adecuada sensibilidad, puede utilizarse procedimientos más específicos, como lo es la Generación de Hidruros para As Sb y Se, y el vapor frío para mercurio, o bien horno de Grafito.

Existe un importante número de elementos que tienen tendencias a formar óxidos refractarios en una llama aire - acetileno, la presencia de estos óxidos va en desmedro del proceso de formación de

átomos, por tal razón se recomienda el empleo de una llama óxido nítrico - acetileno de carácter reductor, donde se favorece la atomización.

La presencia de un alto contenido de sólidos disueltos puede provocar una variación en la velocidad de transporte de la muestra respecto de los estándares de calibración (efecto de tensión superficial) Esta variación en la velocidad de aspiración puede ser compensada reproduciendo la condición de matriz en los estándares de calibración.

### **Procedimiento**

Preparar la muestra para su lectura por AA.

Esta preparación puede variar de acuerdo a los metales a determinar y a la naturaleza de la muestra y puede ser la siguiente:

- \* Digestión preliminar de las muestras para determinar metales Totales.
- \* Filtración de la muestra por 0,45  $\mu\text{m}$  para determinar metales disueltos.
- \* Extracción con MIBK, para determinar metales en bajas concentraciones o eliminar matrices salinas.

#### **Nota 1:**

Las condiciones finales (acidez) de preparación de la muestra depende de cada metal a determinar (ver anexo C) y debe ser la misma que en los estándares utilizados para su medición.

Ajustar las condiciones óptimas de operación del equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Ajuste las condiciones instrumentales específicas de cada elemento (ver anexo D.)

Mida la absorbancia de la muestra y seleccione 3 estándares que se encuentren alrededor de la absorbancia de la muestra.

Si la absorbancia del elemento de interés se encuentra sobre el intervalo lineal, aplique cualquiera de los siguientes criterios.

- \* Cambiar la longitud del Paso óptico (longitud del mechero).
- \* Usar diferentes concentraciones de los estándares de calibración, si el equipo lo permite.
- \* Seleccionar una longitud de onda secundaria de menor sensibilidad y libre de posibles interferencias espectrales.
- \* Preparar una dilución de la preparación inicial.

Lectura de la muestra: Lavar el nebulizador aspirando agua.

Llevar a cero el instrumento.

Atomizar la muestra y determinar su absorbancia.

Atomizar los estándares al comienzo y al final de cada serie de mediciones, y a intervalos, si las series son de muchas muestras.

Atomizar entre cada muestra o estándar el blanco, para verificar la estabilidad.

### **Cálculos**

Realizar una curva (metal  $\mu\text{g/L}$  versus absorbancia de los estándares) Y determinar la concentración de la muestra.

Si la muestra ha sido diluida, multiplicar por el factor de dilución.

## ANEXOS

Anexo A	:	Principio
Anexo B	:	Preparación de Soluciones
Anexo C	:	Matrices de solución acuosa para lecturas por Absorción Atómica
Anexo D	:	Condiciones instrumentales

## PRINCIPIO

Solo los metales en solución pueden ser analizados por absorción atómica.

Por aspersión directa, la muestra es aspirada y atomizada en la llama. Un rayo de luz proveniente de una lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo, atraviesa la llama en dirección a un monocromador, y al detector que medirá la cantidad de luz absorbida.

La absorción depende de la presencia de átomos libres en estado fundamental en la llama.

Corno la longitud de onda de la luz absorbida en la llama es característica del metal que se mide a su longitud de onda específica, la cantidad de luz absorbida por la llama es una medida directamente proporcional a la concentración del metal en la muestra a lo largo de un rango de concentración limitado. Este principio es la base de la espectroscopia de absorción atómica y esta relativamente libre de interferencias espectrales.

## PREPAR-ICION DE SOLUCIONES

Estándares de 1000 mg/L.

Se afora para cada metal una ampolla de estándar a 1000 mL para obtener una solución de 1000 rmg/L. De esta solución se prepararan las diluciones adecuadas de acuerdo al rango de concentración en el cual se este trabajando.

Preparación de estándares para metales por absorción atómica.

Para cada metal, realizar un set de estándares, partiendo de un estándar de 1000 mg/L de la siguiente manera:

STD 100	ppm :	Tomar 10 mL de Std 1000 ppm y aforar a 100 mL.
STD 20	ppm :	Tomar 20 mL de Std 100 ppm y aforar a 100 mL.
STD 15	ppm :	Tomar 15 mL de Std 100 ppm y aforar a 100 mL.
STD 10	ppm :	Tomar 10 mL de Std 100 ppm y aforar a 100 mL.
STD 4	ppm :	Tomar 4 mL de Std 100 ppm y aforar a 100 mL.
STD 5	ppm :	Tomar 5 mL de Std 100 ppm y aforar a 100 mL.
STD 2	ppm :	Tomar 2 mL de Std 100 ppm y aforar a 100 mL.
STD 1	ppm :	Tomar 10 mL de Std 10 ppm y aforar a 100 mL.
STD 0,5	ppm :	Tomar 10 mL de Std 5 ppm y aforar a 100 mL.
STD 0,2	ppm :	Tomar 10 mL de Std 2 ppm y aforar a 100 mL.
STD 0,1	ppm :	Tomar 10 mL de Std 1 ppm y aforar a 100 mL.
STD 0,05	ppm :	Tomar 10 mL de Std 0,5 ppm y aforar a 100 mL.

**Nota 2:**

A cada estándar se debe adicionar la acidez y las condiciones de lectura correspondiente a cada elemento (Ver anexo C.)

**MATRICES DE SOLUCIONES ACUOSAS PARA LECTURA POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

ELEMENTO	<i>HCl % v/v</i>	HNO <sub>3</sub> v/v	K mg/L	Al mg/L	Na mg/L
Ag	25	-----	-----	-----	-----
Al	6	-----	1000	-----	-----
As	5	-----	-----	-----	-----
Au	30	-----	-----	-----	-----
Ba	5	-----	2000	-----	-----
Be	5	-----	-----	-----	-----
<u>Ca</u>	5	-----	1000	-----	-----
<u>Co</u>	5	-----	-----	-----	-----
<u>Cr</u>	5	-----	-----	-----	-----
Cu	5	-----	-----	-----	-----
Fe	5	-----	1000	-----	-----
Hg	5	-----	-----	-----	-----
K	5	-----	-----	-----	1000
Li	5	-----	-----	-----	-----
Mg	5	-----	1000	-----	-----
Mn	5	-----	-----	-----	-----
Mo	10	-----	-----	1000	-----
<u>Na</u>	5	-----	1000	-----	-----
Ni	5	-----	-----	-----	-----
Pb	-----	5	-----	-----	-----
Se	10	-----	-----	-----	-----
Sb	16	-----	-----	-----	-----
Cd	5	-----	-----	-----	-----
V	5	-----	2000	2000	-----
Zn	5	-----	-----	-----	-----
Si	5	-----	-----	-----	2000

## CONDICIONES INSTRUMENTALES

<b>ELEMENTOS</b>	<b>ENERGIA</b>	<b>L. DE ONDA nm</b>	<b>SLIT nm</b>
As	18	193.7	1.0
AL	10	396.2	0.5
Ag	10	328.1	0.5
Ba	20	553.6	0.5
Be	20	243.9	0.5
Ca	15	422.7	0.5
Cd	3	228.8	0.5
Cr	6	357.9	0.2
Cu	15	324.7	0.5
Co	6	240.7	0.2
Fe	25	248.3	0.2
Hg	3	253.7	0.5
K	8	766.9/769.9	0.5
Li	5	670.8	0.5
Mg	15	285.2	0.5
Mn	5	279.5	0.2
Mo	7	313.3	0.2
Na	8	589.0	0.5
Ni	5	232.0/341.5	0.2
Pb	7	217.0	1.0
Sb	10	217.6/206.8	0.2
Se	18	196.0	1.0
Si	10	251.6	0.2
V	18	318.4	0.2
Zn	10	213.9	0.5

## **SULFUROS (Volumetría)**

### **OBJETIVO**

Este instructivo establece la metodología a seguir, cuando se debe realizar análisis de **SULFUROS TOTAL**, en Laboratorio Químico del IGEMA.

### **ALCANCE**

Este método es aplicable en la determinación de Sulfuros Total mediante precipitación y volumetría en muestras líquidas.

Es aplicable hasta 0,2 mg/L de Sulfuros.

### **REFERENCIAS**

Norma Chilena Nch 2313/ 17

Método 4500-S<sup>2-</sup> F

"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19 Ed, 1995,

### **EQUIPOS Y MATERIALES**

Bureta de 25 mL.

Filtro del tipo W-41.

Solución de Acetato de Cinc, 1 M.

Solución de Hidróxido de Sodio, 6 N.

Solución de Yodo 0,025 N, estandarizada.

Solución estándar de Tiosulfato de sodio 0,025 N.

Solución de Almidón al 2%.

Solución de Ácido Clorhídrico 6 N.

Solución de Yodato de potasio 0,1 N.

Yoduro de Potasio.

### **DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD**

#### **Preservación y manipulación de la muestra**

Tomar la muestra con un mínimo de aeración (envase lleno), preservarla con solución de Acetato de Cinc 2 N, (4 gotas por cada 100 mL de muestra) y ajustar el pH a mayor a 10 con solución de Hidróxido de Sodio.

#### **Interferencias**

Interfieren sustancias reductoras que reaccionan con Yodo, tales como Tiosulfato, Sulfato y algunos compuestos orgánicos tanto sólidos como disueltos.

Las interferencias debidas a Sulfato, Tiosulfato, Yoduro y varias otras sustancias solubles, son eliminadas en el pretratamiento de precipitación de Sulfuro como ZnS.

#### **Procedimiento**

Filtrar 250 mL de muestra preservada con solución de Acetato de Cinc, a través de un filtro.

Transferir el filtro con precipitado en un erlenmeyer con unos 100 mL aproximadamente de agua destilada.



Agregar desde la bureta que contiene la solución de Yodo 0,025 N un volumen, de tal manera que quede un exceso sobre la cantidad de Sulfuro presente (10 mL aprox. ) y agregar 2 mL de solución de Ácido Clorhídrico 6 N.

**Nota:**

Si el color del Yodo desaparece, agregar mas hasta que el color permanezca.

Titular el exceso de solución de Yodo con solución de Tiosulfato 0,025 N estandarizada. Cerca del punto final añadir gotas de solución de Almidón, y titular hasta que el color azul desaparezca.

**Cálculos**

$$\text{Sulfuro, mg/L} = \frac{[(A \times B) - (C \times D)] 16000}{V}$$

- A = Volumen de Solución de Yodo agregada, mL.
- B = Normalidad de Solución de Yodo.
- C = Gasto de Solución de Tiosulfato de Sodio mL.
- D = Normalidad de Tiosulfato de Sodio.
- V = Volumen de muestra mL.

**ANEXOS**

- Anexo : A Principio
- Anexo : B Preparación de Soluciones
- Anexo : C Planilla de Análisis

**A. PRINCIPIO**

Los Sulfuros presentes en la muestra son precipitados en forma de ZnS, el cual es tratado con un exceso de solución de Yodo en medio Ácido para oxidar los Sulfuros de Azufre. El Yodo en exceso es titular con solución de Tiosulfato, usando Almidón como indicador.

**B. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES**

**Acetato de Zinc 1111.**

Disolver 220 g de Zn (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub> \* 2H<sub>2</sub>O en agua destilada y diluir a un litro

**Solución de Hidróxido de sodio 6 N.**

Disolver 24 g de NaOH en pellet, en agua destilada y diluir a 100 mL.

**Solución de Ácido Clorhídrico 6 N.**

Medir 50 mL de HCl concentrado, trasvasijar a un matraz aforado que contenga agua destilada y diluir a 100 mL.

**Solución de Yodo 0,025 N, Estandarizada.**

Disolver 20 a 25 g de KI en una pequeña cantidad de agua, agregar 3,2 g de Yodo. Después que el Yodo se ha disuelto, diluir a 1000 mL y estandarizar con Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025 N usando solución de almidón como indicador.

**Solución de KIO<sub>3</sub> 0,1 N,**

Disolver 0.8917 g de KIO<sub>3</sub>, estándar primario en 250 mL de agua desionizada.

**Solución de Tiosulfato de Sodio 0,025 N, estandarizada.**

Disolver 6,205 g  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5 \text{H}_2\text{O}$  en agua destilada. agregar 1,5 mL de NaOH 6N ó 0,4 g de NaOH sólido y diluir a 1000 mL.

## Estandarización

Tomar una alícuota de 10 mL de solución de  $\text{KIO}_3$  0,1 N en un erlenmeyer de 250 mL, agregar 2 g de KI y 2 mL de solución de Ácido Clorhídrico 6N y titular con la solución de Tiosulfato de Sodio.

$$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{N_{\text{KIO}_3} \times V_{\text{KIO}_3}}{\text{Gasto Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

**Solución do Almidón 2%.**

Disolver 2 g de Almidón en 100 mL de Agua destilada caliente.

**C. PLANILLA DE ANÁLISIS**

## ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS SULFUROS

**LABORATORIO QUÍMICA IGEMA**

N°	Código muestra	Alícuota	Solución Yodo mL	Solución Tiosulfato Gasto mL	Concentración mg/L
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11	Estándar Ref. Secundario				

Estandarización	Solución Tiosulfato	Concentración
g $\text{KIO}_3$ /mL aforo		$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
Concentración Patrón		
Alícuota valorada		
Gasto (mL)		

Estandarización	Solución Yodo	Concentración
mL Solución Yodo		
Solución Tiosulfato gasto mL		

Analizado por : .....

Fecha : .....

# ALCALINIDAD TOTAL, CARBONATOS HIDROXIDO Y/O BICARBONATOS (VOLUMÉTRICO)

## OBJETIVO

Este instructivo proporciona la metodología a seguir cuando se debe realizar análisis de alcalinidad total, Carbonatos, hidróxidos y/o bicarbonatos.

## ALCANCE

Este método es aplicable en muestras de aguas superficiales, potables y salinas, así como también en residuos industriales y domésticos.

Es apropiado para todos los rangos de concentración de alcalinidad.

## REFERENCIAS

Method 2320.

"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19  
Ed. 1995.

## EQUIPOS Y MATERIALES

Peachímetro: Calibrado de acuerdo a las especificaciones del fabricante, y que pueda leer hasta 0.05 unidades de pH.

Agitadores magnéticos, pipetas, matraces.

Bureta de 50, 25 y/o 10 mL

Agua destilada y desionizada a través de Columna de intercambio, para la preparación de todos los reactivos y estándar.

Solución Patrón de carbonato de sodio 0,05N aprox.

Solución de ácido clorhídrico 0,1N. Estandarizada.

Solución de ácido clorhídrico 0,01N. Estandarizada

## DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD

### Preservación y manipulación de la muestra

El análisis de las muestras se debe realizar lo antes posible, dentro de 24 horas, de lo contrario refrigerarla a 4°C.

### Interferencias

El jabón, los aceites y grasas, los sólidos suspendidos o los precipitados pueden cubrir el electrodo y causar una respuesta lenta. Dar un tiempo adicional entre adiciones de titulante para dejar que el electrodo llegue al equilibrio.

La muestra **no** se debe filtrar, diluir, concentrar o alterar para realizar el análisis.

### Procedimiento analítico

Tomar una alícuota de muestra en un matraz erlenmeyer usando una pipeta con su punta ubicada cerca del fondo del matraz.

Medir el pH de la muestra.

Titular hasta pH 8,3 con solución estandarizada de ácido clorhídrico 0,01N y registrar el volumen del titulante agregado.

Continuar la titulación hasta pH 4,5 y registrar el volumen total del titulante agregado.

### Notas:

-Una titulación preliminar es recomendable para determinar el volumen óptimo de muestra y Normalidad del titulante.

-El gasto de titulante recomendado es menor o igual a 20 mL utilizando Normalidad 0,01 y 100 mL de muestra, si esto no ocurriera, disminuya la alícuota de la muestra. Si aún persiste el problema utilizar normalidad 0,1 de HCl.

### Cálculos

Si gasto a pH 8,3 es siempre **MENOR** que la mitad del gasto total a pH 4,5 tenemos:

**OH m/L = despreciables**

$$CO_{3mg/L} = \frac{2 * A * C * 1000 * 60 / 2}{D}$$

$$HCO_{3mg/L} = \frac{\langle (B) - (2 * A) \rangle * C * 1000 * 61}{D}$$

$$Alcalinidad.Total.mg/L.(CO_3) = \frac{B * C * 1000 * 100,08}{2 * D}$$

Donde:

A = gasto de titulante a pH=8,3(mL)

B = gasto total de titulante hasta pH=4,5 (mL)

C = Normalidad de solución de ácido clorhídrico estandarizada

D = alícuota de muestra (mL)

Si gasto a pH 8,3 es siempre **MAYOR** que la mitad del gasto total a pH 4,5 tenemos:

**HCO<sub>3</sub>- mg/L = despreciables**

$$CO_3 = mg/L = 2 * (B - A) * C * 1000 * 60 / 2 / D$$

$$CO_3^- \text{ mg/L} = \frac{2 * (B - A) * 1000 * 60 / 2}{D}$$

$$OH^- \text{ mg/L} = \{(2 * A) - (B)\} * C * 1000 * 17 / D$$

$$\text{Alcalinidad total CaCO}_3 \text{ mg/L} = B * C * 1000 * 100.08 / 2 * D$$

Donde:

A = gasto de titulante a pH=8.3 (mL)

B = gasto total de titulante hasta pH= 4.5(mL)

C = Normalidad de solución de ácido clorhídrico estandarizada

D = alícuota de muestra (mL)

Si gasto a pH 8.3 es siempre **IGUAL** que la mitad del gasto total a pH 4.5 tenemos:

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg/L = despreciables

$$CO_3^{2-} \text{ mg/L} = 2 * A * C * 1000 * 60 / 2 / D$$

OH<sup>-</sup> mg/L = despreciables

$$\text{Alcalinidad total CaCO}_3 \text{ mg/L} = B * C * 1000 * 100.08 / 2 * D$$

Donde:

A = gasto de titulante a pH=8.3 (mL)

B = gasto total de titulante hasta pH= 4.5(mL)

C = Normalidad de solución de ácido clorhídrico estandarizada

D = alícuota de muestra (mL)

## ANEXOS

**Anexo A : Principio**

**Anexo B : Preparación de Soluciones**

**Anexo C : Generalidades**

**Anexo D : Planilla de análisis**

### A PRINCIPIO

Se titula una lícua de muestra, inalterada a un punto final determinado potenciométricamente de pH 8.3 en primer lugar (equivalente a indicador fenoftaleína), para finalizar en pH 4.5 (equivalente a indicador anaranjado de metilo).

### B PREPARACION DE SOLUCIONES

#### **Solución de Carbonato de Sodio 0.05 N.**

Pesar 2.5 g +/- 0.1 (seco a 250°C durante 4 h y enfriado en desecadora) de estándar primario de carbonato de sodio en un vaso precipitado y transferir a matraz de aforo de 1 L con agua desionizada y aforar. Esta solución es estable por una semana.

#### **Solución de Ácido Clorhídrico 0.1 N estandarizada.**

Diluir 8.3 mL aprox. de ácido clorhídrico concentrado y aforar con agua desionizada a 1 L.

Estandarizar con 40 mL de solución de Carbonato de Sodio 0.05N, con unos 20 mL de agua desionizada y titular potenciométricamente hasta pH 4.5.

$$N \text{ HCl} = A * B / 53 * C$$

Donde:

A : g de carbonato de sodio pesados en aforo de 1 L

B : mL de solución de carbonato de sodio utilizado en la estandarización

C : mL de ácido clorhídrico gastados

**Solución de Ácido Clorhídrico 0.01N, estandarizada.**

Diluir 100 mL de solución de ácido Clorhídrico 0.1 N a 100 mL con agua des ionizada.

Estandarizar con 5 mL de solución de carbonato de sodio 0.05 N, con unos 20 mL de agua desionizada y titular potenciométricamente hasta pH 4.5 .

$$N \text{ HCl} = A * B / 53 * C$$

Donde:

A : g de carbonato de sodio pesados en aforo de 1 L

B : mL de solución de carbonato de sodio utilizado en la estandarización

C : mL de ácido clorhídrico gastados

**C GENERALIDADES**

Para determinar Alcalinidad Total, Carbonatos, Hidróxidos y/o Bicarbonatos en suelo. Se debe realizar previamente una relación Suelo-Agua (1:2.5), y continuar con esta metodología.

**D PLANILLA DE ANÁLISIS**

**ANÁLISIS DE ALCALINIDAD**

<b>Bicarbonatos :</b>	<b>Cliente :</b>
<b>Carbonatos :</b>	<b>N°1 :</b>
<b>Alcalinidad :</b>	<b>Producto :</b>
<b>PH :</b>	<b>Fecha .</b>

<b>Codigo Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>Alícuota mL</b>	<b>Gasto mL pH =8,3</b>	<b>Gasto Total mL pH=4,5</b>	<b>Alcalinidad Total mg/L</b>	<b>HCO<sub>3</sub> mg/L</b>	<b>CO<sub>3</sub> mg/L</b>
<b>Estandar Ref. Secundario</b>							

Estandarización G $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /L		Concentración NaOH
Conc. Patrón (N)		
Alícuota Valorada		
Gasto (mL)		

Analizado por : .....

Equipo Utilizado : .....

Fecha: .....

# CLORUROS

(Volumetría)

## OBJETIVO

Este instructivo proporciona la metodología a seguir para medir concentraciones de CLORUROS en muestras acuosas por volumetría argentométrica (con  $\text{AgNO}_3$ ), en el Laboratorio de Química del IGEMA.

## ALCANCE

Es aplicable para el análisis de aguas superficiales, potables y salinas, así como también en residuos industriales y domésticos. Límite detección 1 mg/L

## REFERENCIAS

Método 4500 – Cl B

“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, Ed. 19, 1995.

## EQUIPOS Y MATERIALES

Matraz erlenmeyer de 250 ml  
Bureta de 50 ml  
Agua destilada desionizada  
Solución Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), 0,01 y/o 0,1 N Estandarizada  
Solución indicadora de Cromato de Potasio al 5%  
Solución estándar de Cloruro de Sodio p.a. (0,1N)  
Suspensión de Hidróxido de Aluminio  
Solución de Hidróxido de sodio, 1N  
Solución de Ácido Sulfúrico, 1N  
Peróxido de Hidrógeno,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 30%

## DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

### Manipulación y preservación de la muestra

La muestra debe ser preservada a 4°C hasta el momento de su análisis

### Interferencias

No hay interferencias de aquellas sustancias que se encuentran regularmente en el agua en concentraciones normales

Interfieren iones **Sulfuros, Tiosulfatos y Sulfitos**, pero pueden ser eliminados por oxidación con peróxido de hidrógeno

**Ortofosfatos** en excesos de 25 mg/L interfieren por precipitación de Fosfatos de Plata

Hierro en excesos de 10 mg/L interfieren por enmascaramiento de punto final.

Bromuros, Yoduros y Cianuros se consideran como equivalentes de cloruros



## Procedimiento

Tome 100 ml, de muestra o una porción de ella diluida a 100 ml, en un matraz erlenmeyer de 250 ml

**Nota 1:** Si la muestra es altamente coloreada, agregar 3 ml de suspensión de Hidróxido de Aluminio Al (OH)<sub>3</sub>, mezcle, deje decantar y filtre.

Ajuste el pH de la muestra a un rango de 7 a 10, utilizando solución de ácido sulfúrico 1N, o solución de hidróxido de sodio 1N

Adicionar 1 ml aproximadamente de solución indicador de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

Titular con solución de Nitrato de plata estandarizada, hasta el punto final indicado por el viraje del indicador a leve coloración rojo ladrillo. Registre el gasto.

Titular además un blanco reactivo.

## Nota 2:

El gasto del blanco usualmente es de 0,2 a 0,3 mL

## Cálculos

$$\text{Cl}^{-1} \text{ mg/L} = \frac{(A - B) * N * 35,45 * 100}{\text{mLMuestra}}$$

A: mL de solución de AgNO<sub>3</sub> gastados en la muestra.

B: mL de solución de AgNO<sub>3</sub> gastados en el blanco.

N: Normalidad de solución de AgNO<sub>3</sub>

## ANEXOS

**Anexo A: Principio**

**Anexo B: Preparación de Soluciones**

**Anexo C: Planilla de Análisis**

### A. PRINCIPIO

Los cloruros presentes en una muestra acuosa se determinan utilizando Nitrato de Plata como titulante en presencia de cromato de Potasio como indicador.

El cloruro de plata precipita cuantitativamente, antes de formarse el cromato de plata de color rojo ladrillo

### B. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

#### Solución indicadora de Cromato de Potasio

Disolver 5 g de cromato de potasio (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) en agua desionizada y diluir a 100 ml

### **Solución estándar de Cloruros de Sodio (0,1N).**

Disolver 5.8450 g de Cloruro de Sodio ( seco a 103oC y enfriado en desecadora en agua desionizada y aforar a 1L.

### **Solución de Nitrato de Plata 0,1N, estandarizada.**

Disolver 17 g de Nitrato de Plata en agua desionizada y diluir 1L. Guardar en botella ambar.

Estandarización:

Tome 5 ml de solución estándar de cloruro de sodio, adicionar 1 ml de solución indicadora y titular con la solución de Nitrato de Plata

$$\text{NAgNO}_3 = \frac{A * 1000}{58,45 * B}$$

Donde:

A: mg de NaCl

B: gasto de solución de Ag NO<sub>3</sub>

### **Solución de Nitrato de Plata, 0,01 N.**

Se prepara por dilución de la solución de Nitrato de Plata 0,1 N estandarizada (Realizar dilución 10)

### **Suspensión de Hidróxido de Aluminio.**

Disolver 125 g de sulfato de aluminio y potasio (AlK (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) o sulfato de aluminio y amonio (AlNH<sub>4</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> \* 12 H<sub>2</sub>O) en 1 L de agua desionizada.

Reposar por 1 h y transferir a una botella más grande.

Lavar el precipitado con sucesivas adiciones de agua, mediante mezclado y decantación, hasta que se encuentre libre de cloruro.

### **Solución de Hidróxido de Sodio, 1 N**

Disolver 40 g de Hidróxido de Sodio en agua desionizada y diluir a 1L.

### **Solución de Acido Sulfúrico concentrado a 1 L.**

Diluir 23 mL de Acido Sulfúrico concentrado a 1 L.

**C PLANILLA DE ANÁLISIS**

**ANÁLISIS VOLUMETRICOS**

	<b>Cliente:</b> <b>N I:</b> <b>Producto:</b> <b>Fecha:</b>
--	---

<b>N</b>	<b>Código Muestra</b>	<b>Dilución</b>	<b>Alícuota mL</b>	<b>Gasto mL</b>	<b>Concentración Mg/L</b>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14	Estándar Ref. Secundario				

<b>Estandarización</b>		<b>Concentración Titulante</b>
g. Patrón/ mL aforo		
Conc. Patrón		
Alícuota Valorada		
Gasto (mL)		

Analizado por:.....Fecha :.....

## **BORO** **(Colorimétrico)**

### **OBJETIVOS**

Este instructivo proporciona la metodología a seguir cuando se debe realizar análisis de **BORO** en el Laboratorio Ambiental de SGS EcoCare

### **ALCANCE**

Este método es aplicable para medir Boro en muestras de aguas superficiales, potables y salinas así como también en residuos industriales y domésticos.

Cantidad mínima detectable: 5 mg/L B.

### **REFERENCIAS**

Método 4500-B C

“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 19 Ed, 1995.

### **EQUIPOS Y MATERIALES**

Espectrofotómetro, para usar a 585 nm con un paso de luz mínimo de 1 cm.

Ácido Clorhídrico concentrado p.a.

Solución de ácido clorhídrico 1 + 1

Ácido Sulfúrico concentrado p.a.

Reactivo Carmine

Solución estándar de Boro

Vasos plásticos de 100 ml.

### **DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD**

#### **Preservación y manipulación de la muestra**

Almacenar las muestras en envases de Polietileno, o en envases de vidrio exento de Boro

#### **Interferencias**

Los iones más comúnmente encontrados en el agua y aguas residuales no interfieren

#### **Procedimiento**

Preparar una serie de estándares en matraces de aforo de 100 ml, como se indica a continuación:

<b>ml de solución estándar (100 mg/L)</b>	<b>Aforo (ml)</b>	<b>Estándar preparado (B mg/L)</b>
0,5	100	0.5
1.0	100	1.0
2.0	100	2.0
3.0	100	3.0
4.0	100	4.0

**Nota :** Diluir con agua desionizada

Pipetear 2 ml de cada solución de estándar, en vasos de plástico.

Agregar 0,1 ml (2 gotas) de HCl concentrado, entonces cuidadosamente introducir 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, mezclar y dejar enfriar a temperatura Ambiente.

Agregar 10 ml de Reactivo Carmine, mezclar bien y después de 45 a 60 minutos leer la absorbancia a 585 nm en una celda de 1 cm, contra un blanco reactivo

Tratar cada una de las muestras y el blanco reactivo exactamente como el procedimiento seguido para los estándares.

#### **Nota 1:**

Para evitar errores, cerciorarse que no existan burbujas en la celda óptica cuando se esté haciendo la lectura fotométrica.

#### **Cálculos**

Preparar una curva de calibración (B mg/L vs Absorbancia de los estándares)

Leer la concentración de las muestras directamente de la curva. (Considerar dilución, si se realizó antes de tomar la alícuota de la muestra)

#### **ANEXOS**

**Anexo A : Principio**

**Anexo B : Preparación de Soluciones**

**Anexo C : Pretratamiento para Boro en suelo**

**Anexo D : plantilla de Análisis**

#### **A PRINCIPIO**

En la presencia de boro, una solución de carmine o ácido carmineo en ácido sulfúrico concentrado, cambia de un rojo claro a rojo azulado o azul dependiendo de la concentración de boro presente

#### **B PREPARACIÓN DE SOLUCIONES**

Reactivo Carmine:

Disolver 920 mg de ácido carmínico en 1L de ácido sulfúrico concentrado (Preparar Diariamente)

Solución estándar de Boro (100mg/L)

Disolver 571,6 mg de Ácido Bórico anhidro, en agua destilada y diluir a 1L

#### **C PRETRATAMIENTO PARA BORO EN SUELOS**

Pesar 10 g de Suelo (Exactitud 0,01 g) en un matraz

Agregar 20 ml de Agua o un volumen de manera que al filtrar exista filtrado y conectar el matraz al condensador del reflujo.

Calentar hasta iniciación de la ebullición y hervir por unos 5 minutos. Enfriar y filtrar.

Indicar en informe relación Suelo – Agua aplicada

**D PLANILLA DE ANÁLISIS**

**ANÁLISIS POR ABSORCIÓN MOLECULAR**

Nitróg. Nitritos (N-NO <sub>2</sub> ): ..... DQO: ..... Boro : ..... Fósforo Total : ..... Fósforo (P-PO <sub>4</sub> ) : ..... Detergentes : ..... Sulfatos : .....	Cliente : NI : Fecha :
--	------------------------------

	Código Muestra	Dilución Inicial	Alícuota Muestra en aforo (mL)	Aforo (mL)	Absorbancia Neta	Concentración mg/L
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12	Estándar Ref. Secundario					

Observaciones:		Abs.	Conc.
	Std 1		
	Std 2		
Analizado por:	Std 3		
Fecha:	Std		

Equipo: Espectrofotómetro UV-VIS Milton Roy 3000

# GUÍA OPERATIVA PARA LA RECOGIDA, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE AGUAS DESTINADAS AL ANÁLISIS QUÍMICO

## 1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es establecer el procedimiento y requisitos técnicos del personal, material e instrumentos relacionados con la toma de muestras, transporte y conservación de aguas destinadas al análisis químico. No se entra en el diseño de campañas, selección de puntos y frecuencia de muestreo. Estos aspectos serían objeto de un documento independiente.

La finalidad perseguida al establecer estas recomendaciones es la de proporcionar una metodología de toma de muestras que garantice su representatividad, así como su conservación en las condiciones más adecuadas durante el tiempo transcurrido entre la toma y el análisis por el laboratorio.

Para la redacción de este protocolo se han seguido, siempre que ha sido posible, las recomendaciones recogidas en los métodos oficiales; cuando éstas no existen se han considerado las propuestas por organismos de reconocido prestigio (BRGM, EPA, etc.)

## 2.- OPERACIONES PREVIAS A LA RECOGIDA DE MUESTRAS

El primer paso previo a una campaña de muestreo de aguas consiste en realizar una serie de operaciones de puesta a punto de los materiales y equipos para la toma de muestras.

- 2.1. Preparación de la documentación de campo: cartografía, manuales de uso y calibración de aparatos, libretas de campo, etiquetas. En la medida de lo posible se obtendrán las fichas de los sitios o información equivalente (longitud, profundidad, croquis de ubicación, etc.).
- 2.2. Revisión del estado de los equipos de muestreo, comprobación de funcionamiento, estado de baterías, y material de repuesto (pilas, patrones de calibración, conservantes, agua desmineralizada, filtros, etc.).
- 2.3. Limpieza de todos los equipos a utilizar. Se lavará el material con detergente (fosfato trisódico o Alconox) y se aclarará tres veces con agua corriente y dos veces con agua desionizada.

El material de plástico, excepto las botellas de recogida de muestras que deben ser nuevas, se limpia con HCl o HNO<sub>3</sub> y se enjuaga abundantemente con agua corriente y agua desionizada.

Los electrodos se lavan con agua desionizada, se secan y guardan en sus soluciones correspondientes en su caso.

- 2.4. Etiquetado y referenciado de las botellas. Se realizará preferentemente con etiquetas adhesivas y rotulador indeleble (resistente al agua), antes de la toma de muestras.  
En caso de utilizar etiquetas adhesivas es conveniente cubrir la etiqueta con una banda adhesiva plástica transparente que evite desperfectos por la humedad. Se recomienda rotular también el tapón de la botella. Evitar nombrar las muestras con referencia largas. Es mejor un número, o letra y número, y anotar en el cuaderno de campo la correspondencia con su referencia oficial.
- 2.5. En caso de muestreo para análisis de elementos traza y de contaminantes (inorgánicos y orgánicos), las tomamuestras manuales y equipos se lavarán tras cada muestreo para evitar

contaminaciones cruzadas entre pozos. Su limpieza se adecuará a las instrucciones de los fabricantes, según los materiales constructivos de estos aparatos. No obstante, se pueden utilizar los siguientes métodos:

**A.-**

1. Lavado con ácido nítrico diluido al 30%
2. Aclarado 3-4 veces con agua destilada.

**B.-**

1. Lavado con agua potable (dos volúmenes)
2. Lavado con Alconox (dos volúmenes)
3. Aclarado con agua potable (tres volúmenes) y agua desionizada (dos volúmenes)
4. Aclarado con metanol (un volumen)
5. Aclarado con agua desionizada (tres volúmenes)

### **3.- ENVASES**

La capacidad de los envases se adaptará a las necesidades e indicaciones del laboratorio. No obstante, se recomienda tomar 1 litro para determinación de iones mayoritarios y 250 mL para metales y otros elementos traza.

Los envases serán nuevos (no reutilizar nunca botellas), de polipropileno o de PVC y de cierre hermético, a ser posible con doble tapón (interno y externo).

Para el análisis de compuestos orgánicos (PCB, plaguicidas, etc), se emplearán envases de vidrio oscuro.

En casos especiales, como la determinación muy precisa de metales traza, se empleará envases de teflón.

Los tapones de los envases deben asegurar un cierre hermético y no reaccionar con los componentes del agua.

Se empleará tapones de material similar al de las botellas, teniendo en cuenta que los de vidrio no deben ser empleados con materiales muy alcalinos pues se adhieren con facilidad.

Evitar tocar el interior de los tapones durante la manipulación de los envases al coger las muestras. Es recomendable lavarlos con la misma agua a muestrear.

### **4.- METODOLOGÍA DE MUESTREO**

Los procedimientos para la toma de muestras y análisis químicos deben ser uniformes a fin de garantizar la posibilidad de comparar los resultados de análisis procedentes de puntos de control muy distantes, que habrán sido muestreados por diferentes personas y mediante diversos sistemas de toma de muestra, además de analizados en laboratorios distintos.

#### **4.1. Medida de nivel**

Las medidas del nivel se realizarán antes de comenzar cualquier punto de muestreo. Se utilizará una sonda adecuada, con precisión centimétrica.



#### **4.2.- Método de toma**

Las muestras se tomarán preferentemente de acuerdo al método y técnica que responda al estudio.

#### **4.3.- Llenado de los envases**

Antes de recoger la muestra se lavarán las botellas 2-3 veces con el agua de la captación. Los envases se llenarán hasta el borde, previa adición de los conservadores necesarios (Tabla 1), procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y el tapón de cierre.

El orden de llenado cuando se trate de análisis múltiples deberá ser el siguiente:

1. Compuestos orgánicos volátiles
2. Compuestos orgánicos no volátiles
3. Metales
4. Compuestos mayoritarios

Una vez finalizado el muestreo, el material debe ser limpiado según lo mencionado anteriormente en los puntos 2.3.y 2.5.

#### **4.4.- Medidas físico-químicas in situ**

Simultáneamente a la toma de muestras, se realizarán in situ las medidas de:

pH  
Oxígeno disuelto  
Conductividad eléctrica  
Temperatura del agua y del aire  
Alcalinidad

Preferentemente se emplearán siempre los mismos aparatos de medida en todas las campañas para evitar modificaciones que puedan conducir a error a la hora de interpretar resultados.

Los parámetros químicos arriba indicados deben medirse in situ con flujo continuo de agua siempre que sea posible. para ello se introducirá la conducción de salida del agua en un recipiente, acoplado un tubo flexible en caso necesario, al objeto de minimizar el contacto del agua con el aire. Los sensores (electrodos, termómetro, etc.) se introducirán directamente en el recipiente y todos juntos, a ser posible.

El agua debe rebosar el recipiente de forma continua, pero evitando burbujeo en el interior. para minimizar cambios en la temperatura del agua es conveniente que el recipiente sea isoterma o esté sumergido, a su vez, en el agua a muestrear. Lo ideal es usar una célula de flujo continuo, pero si no se dispone de ella es muy útil usar como recipiente el cuerpo de un termo doméstico, portátil (ej. un termo portátil). Éste se utilizará especialmente cuando las medidas no se puedan realizar con flujo continuo de agua.

Los equipos medidores (pHmetro, conductímetro, oxímetro y medidor redox) serán calibrados al comienzo de cada jornada según sus instrucciones y con las correspondientes soluciones patrón.

También es necesaria su recalibración cuando se produzcan bruscas variaciones entre dos muestras, o medidas extremas.

Tras cada medida se lavarán los electrodos con agua desionizada, guardándolos convenientemente cerrados y apagados hasta nueva medida.

## **5.- CONSERVACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO**

En la tabla 1 se indican los conservadores, volumen de muestra y tiempos máximos de almacenamiento recomendados para cada determinación. Estos datos podrán adaptarse a cada caso particular. Estas indicaciones se hacen sin perjuicio de que el laboratorio que realice los análisis las modifique en función de la técnica analítica empleada.

Los agentes conservadores (ácido sulfúrico, nítrico, tiosulfato sódico, etc.) serán de calidad PA (para análisis). Cuando se precisen en calidad ultrapura serán SP.

Las muestras destinadas al análisis de metales pesados deben ser tratadas de forma diferente según se quiera determinar los metales totales o sólo los disueltos. Si se van a analizar los metales disueltos han de ser filtradas in situ para prevenir la adsorción o desorción y acidificadas con ácido nítrico hasta un pH inferior a 2.

Si se quiere determinar el contenido total de metales, la muestra no deberá ser filtrada. Con carácter orientativo, es suficiente la adición de 5 mL de  $\text{HNO}_3$  por cada litro de muestra, y comprobar el pH con papel indicador.

La filtración se realizará con membrana filtrante de tamaño de poro de 0,45  $\mu\text{m}$ , preferentemente de di-fluoruro de polivinilideno (DVDF), sobre portafiltros de policarbonato, conectado en línea con la bomba de extracción de agua.

El transporte de las muestras debe realizarse en envases cerrados herméticamente resguardados de la luz y evitando que la muestra se caliente.

La entrega en el laboratorio se realizará, como norma general, dentro de las 24 horas posteriores a la toma; no obstante, este período puede variar en función de las condiciones de conservación del agua y del tipo de determinaciones que se vayan a realizar.

La estabilización de los componentes de las muestras de agua mediante la adición de conservantes químicos debe ser realizada con gran cuidado, los conservantes no deben interferir con la determinación analítica, en caso de duda debe llevarse a cabo una prueba para comprobar la compatibilidad. Durante el análisis debe tenerse en cuenta, al realizar el cálculo de los resultados, las posibles diluciones introducidas al añadir los conservantes.

**Tabla 1.- Técnicas de conservación de muestras de agua para análisis químicos o físico-químicos.**

Parámetro	Recipiente (*)	Conservante	Tiempo máximo (**)	Observaciones
Alcalinidad Acidez	P o V	Refrigeración (4-5 °C)	24 horas	Preferible determinación in situ
Amonio	P o V	Refrigeración (4-5 °C)	6 horas	
Arsénico	P o V	pH < 2	1 mes	
DBO	P o V El vidrio es preferible en caso de baja DBO	Refrigeración (4-5 °C)	24 horas Almacenar en oscuridad	Almacenar en oscuridad
Calcio	P o V	pH < 2	24 horas  1 mes	Hasta 48 horas pero debe tenerse cuidado con muestras que presenten una CE > 70 mS/cm  La acidificación (no con SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> ) permite determinar el calcio en la misma muestra que otros metales
Cianuros	P	Refrigeración. NaOH a pH >12; 0,6 g ácido ascórbico	14 días	El método de conservación dependerá del método de análisis utilizado
Cloruros	P o V		1 mes	
Color	P o V	Refrigeración (4-5 °C)	24 horas	Almacenar en la oscuridad
Conductividad	P o V	Refrigeración (4-5 °C)	24 horas	Almacenar en la oscuridad
Dureza	HNO <sub>3</sub> a pH < 2		1 mes	
DQO	P o V. El vidrio es preferible en caso de baja DQO	pH < 2 con SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> Refrigeración (4-5 °C)		Refrigeración (4-5 °C) Almacenar en oscuridad
Fluoruros	P		1 mes	No emplear PTFE
Metales	P o V	Filtrar (0,45 µm) ,	1 mes	Excepto mercurio

disueltos		acidificar a pH < 2 y refrigerar (4-5 °C)		
Metales totales	P o V	Acidificar a pH < 2 y refrigerar (4-5 °C)	1 mes	Excepto mercurio
Mercurio total	P o V	pH < 2 con HNO <sub>3</sub> y adición de K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> hasta una concentración final del 0,05%	1 mes	Debe tenerse un especial cuidado en que los recipientes para la toma de muestra no estén contaminados
Nitrato	P o V	pH < 2 o refrigeración Filtrado a 0,45µ m y refrigeración (4-5 °C)	24 horas 48 horas	
Nitrito	P o V	refrigeración (4-5 °C)	24 horas	
pH <	P o V	Guardar a menor temperatura que inicial	6 horas	El pH debe determinarse el momento de la toma de la muestra
Residuo seco	P o V	Refrigeración (4-5 °C)	24 horas	
R alfa	P o V	HNO <sub>3</sub> a pH < 2	1 mes	
R beta	P o V	HNO <sub>3</sub> a pH < 2	1 mes	
Fósforo Disuelto	VB o V	Refrigeración tras filtrado inmediato in situ	24 horas	Se recomienda el uso de botellas yodadas
Fósforo total	VB o V	pH < 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes	Se recomienda el uso de botellas yodadas
Potasio	P		1 mes	
Sodio	P		1 mes	
Sulfatos	P o V	Refrigeración	1 semana	En aguas residuales añadir peróxido de hidrógeno para evitar la formación de sulfuro de hidrógeno
Sulfuros	P o V	Alcalinizar con carbonato de sodio y fijar con acetato de cinc Analizar lo antes posible.	.	Alcalinizar con carbonato de sodio y fijar con acetato de cinc Analizar lo antes posible.
Turbidez	P o V		24 horas	La determinación debe hacerse preferentemente in situ

(\*) P = Plástico. V = Vidrio. VB = Vidrio borosilicatado.

(\*\*) = La indicación 1 más significa que la conservación no presenta una dificultad particular.

Fuente: AENOR (1997) y USEPA (1986) modificados.

## **6.- ETIQUETADO DE MUESTRAS Y CUADERNO DE CAMPO**

### **6.1.- Etiquetado de las muestras**

Etiquetar o rotular las botellas preferentemente antes de la toma de la muestra.

Se deberá emplear etiqueta adhesiva y rotuladores indelebles, e indicar como mínimo los siguientes datos:

- Referencia de la muestra
- Fecha y hora de toma
- Tratamiento (acidificación, conservantes, etc.).

Resulta muy útil cubrir las etiquetas con cinta adhesiva transparente para evitar que la humedad y el roce de unas botellas con otras durante el transporte alteren la inscripción. No se llevará nunca doble numeración, ya que puede conducir a graves errores posteriores.

### **6.2.- Cuaderno de campo**

Toda toma de muestra llevará consigo la cumplimentación de una ficha en la que se relacionan los datos y circunstancias necesarios para su identificación inequívoca y que permita una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Dicha ficha se rellenará en el momento de la toma de muestra, formará parte de un cuaderno y contendrá obligatoriamente los siguientes datos:

- Referencia de la muestra.
- Nombre de quien ha hecho la toma.
- Fecha y hora de toma.
- Identificación del punto de muestreo.
- Adiciones (acidificación, conservantes, etc.).
- Situación del punto de muestreo.
- Método de toma.
- Tiempo de bombeo. (si aplica)
- Profundidad de muestreo.
- Volumen de muestra recogido.
- Parámetros determinados en campo.

Además incluirá un apartado de observaciones en el que se anotará cualquier incidencia que pueda influir sobre el análisis o su interpretación, como por ejemplo:

- Presencia de turbidez o desprendimiento de gases.
- Olores o colores anormales o extraños.
- Presencia de actividades potencialmente contaminantes en los alrededores del punto de control.
- Uso que se hace del agua.

## **7.- ENVÍO Y TRANSPORTE AL LABORATORIO**

Las muestras se harán llegar al laboratorio con la mayor celeridad. El envío adjuntará una relación de muestras cumplimentado registro con los datos: identificación del punto, fecha, determinaciones a realizar en cada muestra, así como otros requisitos del laboratorio, por ejemplo, conductividad medida en campo.

Asimismo se solicitará al laboratorio la verificación de la recepción y el estado de las muestras respecto de: integridad de los envases, etiquetado en buen estado, condiciones de almacenamiento, etc.

## **8. SEGURIDAD Y SALUD**

Como norma general, se recomienda el uso de guantes de látex desechables para la toma de muestras, para prevenir la contaminación de recipientes y equipos, así como para evitar quemaduras accidentales al manipular ácidos.

En los lugares de muestreo donde se pueda generar polvo que suponga un riesgo de contacto por vía respiratorio o cutánea, se tomarán precauciones durante el muestreo, mediante uso de mascarillas y ropa especial (manga larga, gafas, calzado adecuado).

Todo desecho producido durante las labores de muestreo (cartones, papeles, plásticos, etc.) Se recogerán en bolsas para luego depositarlas en los contenedores de residuos adecuados.

## **9.- RESPONSABILIDADES**

El técnico que realiza el muestreo estará debidamente capacitado, cualificado y entrenado en la teoría y práctica del muestreo específico, siendo por tanto responsable de aplicar el contenido de este protocolo.

Hay que tener en cuenta que circunstancias específicas, imprevisibles en cada caso, pueden requerir que el técnico decida modificar, con un criterio profesional, alguno de los pasos. Estas desviaciones deberán comunicarse al responsable de proyecto y documentarse por escrito en el registro de campo.