



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS AFLUENTES DEL CANAL DE RIEGO
TABACUNDO DE LOS CANTONES CAYAMBE Y PEDRO MONCAYO CON FINES DE
OPTIMIZACIÓN**

Realizado por:

GONZALO ESPINOSA CUZCO, ING.

Directora del Proyecto:

KATTY CORAL, MSc.

Como requisito para la obtención del título de
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 19 febrero de 2020

DECLARACION JURAMENTADA:

Yo, GONZALO ESPINOSA CUZCO, con cédula de identidad # 1714949037, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



171494903

FIRMA Y CÉDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS AFLUENTES DEL CANAL DE
RIEGO TABACUNDO DE LOS CANTONES CAYAMBE Y PEDRO MONCAYO CON
FINES DE OPTIMIZACIÓN”**

Realizado por:

GONZALO ESPINOSA CUZCO

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

KATTY CORAL

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gonzalo Espinosa Cuzco', with a horizontal line underneath.

FIRMA

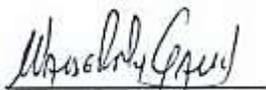
LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

WALBERTO GALLEGOS

ALBERTO AGUIRRE

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 19 febrero 2020

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre María Cuzco, a mi padre Gonzalo Espinosa, quienes han inculcado en mí la perseverancia, la constancia, la dedicación y sobre todo los valores haciendo de mí la persona que soy.

A mis hermanas Janeth y Jaqueline por el ejemplo por ser mi apoyo incondicional. A mis amigos Roberth, Joffre, Andrés y compañeros de maestría por los conocimientos y experiencias compartidas.

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia por apoyarme en el transcurso de la maestría y siempre estar pendientes de mi persona, a mi director de tesis Katty Coral y lectores Walberto Gallegos y Alberto Aguirre por el apoyo brindado en el desarrollo del trabajo de fin de carrera.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS AFLUENTES DEL CANAL DE RIEGO TABACUNDO DE LOS CANTONES CAYAMBE Y PEDRO MONCAYO CON FINES DE OPTIMIZACIÓN”

Gonzalo Espinosa Cuzco¹ & Katty Coral²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de ciencias naturales y ambientales, Quito, Ecuador.
Email: goesp_ark123@hotmail.com

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.
Email: Katty.coral@uisek.edu.ec

AUTOR DE RESPONSABILIDAD PRINCIPAL: Gonzalo Espinosa Cuzco

AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Katty Coral M.Sc.

AUTOR APORTANTE DE RESPONSABILIDAD UNO: Walberto Gallegos M.Sc.,
Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito, Ecuador.

AUTOR APORTANTE DE RESPONSABILIDAD DOS: Alberto Aguirre Ph.D, Universidad
Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito, Ecuador.

Título corto o Running title: Sistema de gestión de los afluentes del canal de riego.

RESUMEN

El canal de riego Tabacundo ubicado en la provincia de Pichincha, inicia en el río La Chimba del sector de Calvario hasta Tomalón de la parroquia de la Esperanza, entre los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo, la bocatoma se encuentra a 3210 m.s.n.m., con 65 km de longitud conectando a canales secundarios y terciarios de tres organizaciones y dos juntas de riego. Este trabajo tuvo como objetivo diseñar un sistema de gestión de los afluentes del canal de riego Tabacundo con fines de optimización. Para el estudio se determinó la calidad de agua de riego en seis puntos de muestreo durante cinco meses. En las muestra de agua obtenidas se realizaron análisis físico químicos y microbiológicos en los siguientes parámetros: Caudal, Temperatura, Turbiedad, Color, pH, Conductividad, Sólidos Totales, Nitratos, Fosfatos, Sulfatos, Dureza Total, Calcio, Magnesio, Sodio, Hierro, Zinc, SAR, Coliformes Totales y Coliformes Fecales. Para establecer la calidad de agua de riego los resultados fueron comparados con normativas referenciales de criterios de calidad de agua de uso agrícola o riego del Acuerdo Ministerial 097 A, tablas de límites máximos permisibles del agua de uso agrícola (calcio, magnesio, sodio, dureza, nitratos y fosfatos), la metodología Riverside para la determinación del grado de salinidad del agua de riego y los Índices de Calidad de Agua “ICA - NSF”. Los resultados obtenidos para la concentración iónica del agua que distribuye a los diferentes canales de riego en las parcelas agrícolas tuvieron una baja concentración salina y de sodio, por lo que no representó limitantes en su uso, considerándose de buena calidad, mientras que a nivel microbiológico (coliformes totales y fecales) no se cumple con la normativa ambiental.

Con la información se generó una propuesta que ayudará al impulso de la gestión de los afluentes en el canal, promoviendo la prevención, control y mitigación de los riesgos de la calidad del agua, generando un impulso a las buenas prácticas ambientales y cumplimiento de normativas ambientales.

Palabras clave: Contaminación del agua, Afluente, Parámetro máximo permisible, Indicadores de la Calidad del Agua, Riego.

ABSTRACT

The Tabacundo irrigation canal located in the province of Pichincha, starts in the La Chimba river from the Calvario sector to Tomalón de la Esperanza parish, between the cantons of Cayambe and Pedro Moncayo, the bocatoma is 3210 meters above sea level, with 65 km in length connecting to secondary and tertiary canals of three organizations and two irrigation boards. This work aimed to design a management system for the tributaries of the Tabacundo irrigation canal for optimization purposes. For the study, the quality of irrigation water was determined at six sampling points for five months. In the water samples obtained, chemical and microbiological physical analyzes were carried out in the following parameters: Flow, Temperature, Turbidity, Color, pH, Conductivity, Total Solids, Nitrates, Phosphates, Sulfates, Total Hardness, Calcium, Magnesium, Sodium, Iron, Zinc, SAR, Total Coliforms and Fecal Coliforms. In order to establish the quality of irrigation water, the results were compared with referential regulations of criteria of quality of water for agricultural use or irrigation of Ministerial Agreement 097 A, tables of maximum permissible limits of water for agricultural use (calcium, magnesium, sodium, hardness, nitrates and phosphates), the Riverside methodology for determining the degree of salinity of irrigation water and the "ICA - NSF" Water Quality Indexes. The results obtained for the ionic concentration of the water that it distributes to the different irrigation channels in the agricultural plots had a low saline and sodium concentration, so it did not represent limitations in its use, being considered of good quality, while at the microbiological level (total and faecal coliforms) does not comply with environmental regulations.

With the information a proposal was generated that will help boost the management of tributaries in the canal, promoting the prevention, control and mitigation of water quality risks, generating a boost to good environmental practices and compliance with environmental regulations .

Keywords: Water pollution, Effluent, Maximum allowable parameter, Water Quality Indicators, Irrigation.

1. INTRODUCCIÓN

El agua, además de ser una sustancia imprescindible para la vida, por sus múltiples propiedades, es ampliamente utilizada en actividades diarias tales como la agricultura (70% al 80%), la industria (20%), el uso doméstico (6%), entre otras, convirtiéndose en uno de los recursos más apreciados en el planeta. (Arcos et al., 2005)

Los sistemas lóticos de agua, dulce hoy en día, tienen una gran carga orgánica, reflejándose en la contaminación de los cuerpos de agua y un fenómeno conocido como eutrofización. (Lobo et al., 2016). La eutrofización puede ser de origen natural y antropogénico, cuando se produce de forma natural es un evento lento; sin embargo la eutrofización de origen humano es acelerado como consecuencia de descargas de aguas residuales, fertilizantes agrícolas y efluentes industriales (Lobo et al., 2015).

El Ecuador cuenta con 2.797 sistemas de riego comunitarios, 838 sistemas privados, 60 sistemas públicos administrados por usuarios y 21 sistemas públicos administrados por los GAD Provinciales (INEC, 2018). Pero se evidencia el 6% del componente de retribución para la conservación del recurso hídrico en los proyectos de riego es bajo a nivel nacional (Echeverría&Cantillo, 2013). En la provincia de Pichincha, el 45% de las captaciones de riego se ubican dentro del área cultivada, por lo que están expuestos a la contaminación por la presencia de residuos de pesticidas y agroquímicos, mientras que el 35% de las captaciones están por debajo de los 2.800 m.s.n.m., es decir aguas abajo de los principales centros poblados de la provincia. Los sistemas de alimentación del agua para riego reciben una fuerte contaminación por la descarga de las aguas residuales sin tratamiento (Sánchez, 2014)

La calidad del agua es una variable fundamental del riego, ya que afecta tanto a las plantas como a los suelos (Silva&Otros, 2008). La agricultura de riego también depende de un adecuado suministro de agua de calidad utilizable, definida por algunas de sus características químicas, físicas y biológicas (Ayers&Otros, 1994). De allí la importancia de la gestión de la calidad del agua en agricultura, proveniente de perspectivas interrelacionadas, como la sustentabilidad de la producción de cultivos requiriendo un estándar mínimo de calidad de agua, para que las actividades agrícolas no causen deterioro a la calidad del agua con impactos sobre los subsecuentes usos del agua para otros propósitos (FAO, 2000).

Con esta investigación se caracterizó la calidad del agua de riego del canal Tabacundo a partir de las características físico-químicas y microbiológicas, con los resultados de los análisis se clasificó el recurso hídrico según indicadores de calidad, criterios de salinidad y contenido de sodio, con la finalidad de realizar lineamientos y directrices para una gestión eficiente y sustentable de los recursos hídricos.

2. MARCO TEÓRICO

Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.- Es un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el resultante bienestar económico y social de una forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales (Pulido, et al., 2014). Ambiciona alcanzar simultáneamente dos complejos y complicados objetivos: desarrollo sostenible y planificación intersectorial (Talero, 2004).

Afluentes.- es el agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un cuerpo de agua receptor, reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (MAE, 2011).

Contaminación del agua.- Es una modificación o alteración de esta, originada en fuentes naturales, como la ceniza de un volcán o proveniente de actividades humanas o actividades antropogénicas (Encalada, 2006). En su mayoría el ser humano la vuelve impropia o peligrosa para el consumo, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades, así como para los animales (Bonet & Ricardo, 2011).

Índices de Calidad del Agua.- Los indicadores ICA básicamente son una expresión de un número de parámetros que permiten valorar el recurso hídrico para un determinado uso, estos son presentados en forma de número, rango, descripción verbal, símbolo o color (Samboni&Otros, 2007). Es una herramienta matemática para la calidad y puede ser utilizado para transformar grandes cantidades de datos sobre la calidad del agua en una escala de medición única (Sharma & Chhipa, 2012). Es considerado como indicador el grado de contaminación del

agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un valor cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100% (Castro et al., 2014).

Análisis físicos-químicos del agua de riego.- Es la información de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas. Estos análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos (Nieves et al., 2002). Los parámetros físicos más usuales son: color, olor, temperatura, conductividad eléctrica, turbidez, potencial de hidrógeno. Mientras que los parámetros químicos utilizados son: fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, boro, cobre, zinc, hierro, aluminio, molibdeno, cloro, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos, amonio y la relación de adsorción de sodio “RAS”(Román et al., 2001).

Análisis microbiológicos del agua.- Es la información de microorganismos indicadores de contaminación fecal, son excelentes indicadores de la calidad sanitaria del agua y de la eficacia de los procesos de desinfección (Benítez, 2009). En el análisis de coliformes fecales se incluyen los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Manacorda, 2007). Se definen como bacilos anaerobios y aerobios facultativos, cortos, Gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa a 44,5°C. Se los denomina termotolerantes por su capacidad de soportar altas temperaturas (Campos, 2008). Mientras que el contaje de coliformes totales no indican la reciente contaminación fecal del agua, ni son patógenos, pero su presencia en agua potabilizada es usada para determinar si la desinfección es efectiva, En cuerpos de agua su presencia indica presencia de suelo, sedimento u otra fuente de coliformes. (Olivas et al., 2011)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El canal de Riego Tabacundo se encuentra ubicado en la Demarcación Hidrográfica Esmeraldas a nivel nacional. Los ríos que confluyen en esta cuenca hidrográfica son Arturo, Boquerón y San Pedro que nutren al río la Chimba localizado en los páramos del nevado Cayambe. Anexo 1. Siendo de allí la captación del agua del canal de riego Tabacundo, misma que atraviesa los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo y finaliza en el sector de Tomalón de la parroquia de La Esperanza con una longitud de 65 km (Ochoa, 2013). La organización que administra el canal es el Consorcio de Desarrollo y Manejo Integral del Agua y Ambiente Cayambe-Pedro Moncayo “CODEMIA CPM”, que agrupa tres organizaciones de segundo grado y dos juntas de agua de riego, cuales son: COINOA “Corporación de Organizaciones Indígenas de Olmedo y Ayora”, UNOPAC “Federación de Comunidades Populares Indígenas de Ayora y Cayambe”, TURUJTA “Corporación de Comunidades Indígenas de Tupigachi”, Junta de Regantes Tabacundo y Junta de regantes de la Esperanza (Carvajal, 2019).

3.2. Puntos de Muestreo

El área de estudio fue georeferenciada según el número de muestras a coleccionar dando seis puntos diferentes desde la toma del canal que está en el Río la Chimba hasta el sector de Tomalón, Anexo2 y 3.

Tabla 1. Puntos de muestreo por sectores del agua de riego del canal Tabacundo

Punto de muestreo	Ubicación		Altitud	Sector
	Latitud	Longitud		
Punto 1	17N0832618	100012310	3258	Calvario
Punto 2	17N0831424	100013272	3120	Guanes
Punto 3	17N0826576	100015258	3115	La Chimba
Punto 4	17N0814327	100013220	2997	San Isidro de Cajas
Punto 5	17N0811308	10007852	2976	San José Alto
Punto 6	17N0805317	10013228	2784	Tomalón

Fuente: Espinosa G, 2020

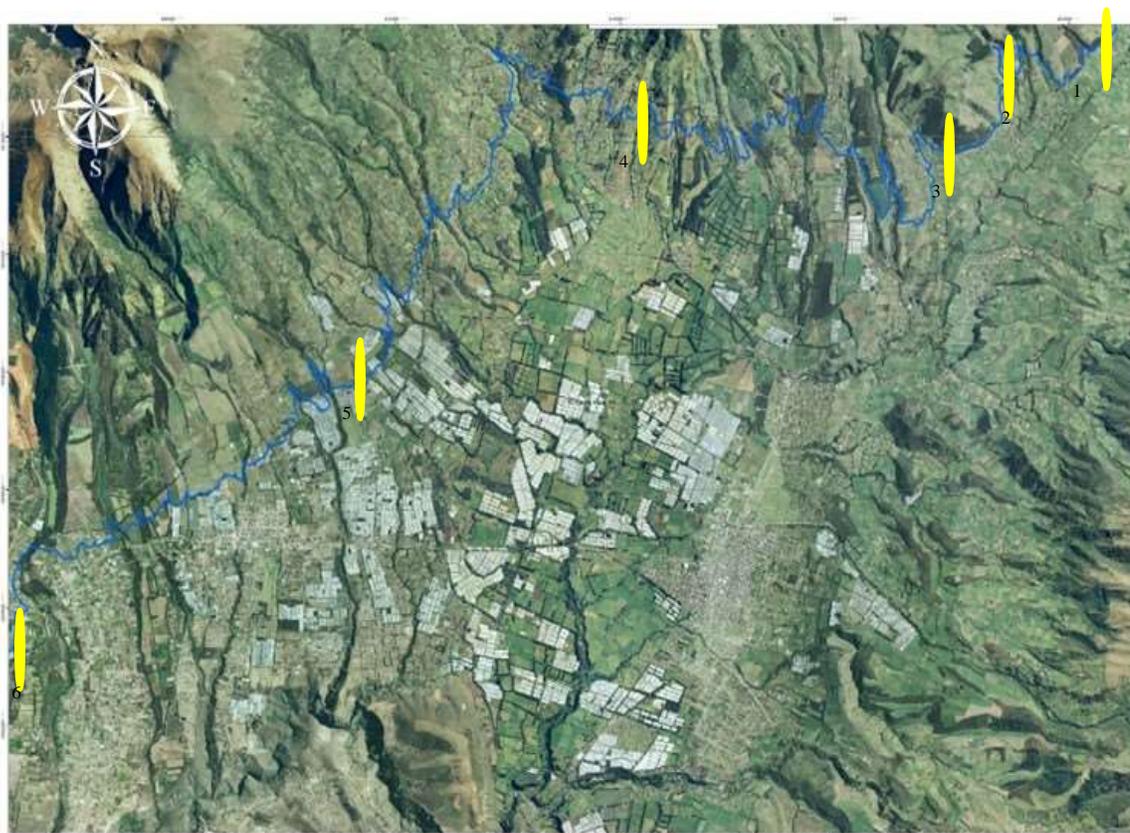


Figura 1. Mapa de ubicación del canal de riego Tabacundo. Espinosa G, 2020

4. METODOLOGÍA

4.1. Recolección de muestras

En la investigación se recolectaron muestras de agua del canal, en el horario de 5:40 am hasta las 9:00 am los días sábados en los seis puntos, durante los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre del año 2019 y Enero del 2020 considerando una muestra por sector por mes. Se utilizó un recipiente limpio con un volumen de 650 mL para los parámetros físico-químicos y un envase de 200 mL esterilizado para el análisis microbiológico.

Estas muestras fueron colocadas en un cooler con hielo, para su debida preservación, hasta ser procesadas en laboratorios en la Universidad Politécnica Salesiana. Además se tomaron los caudales por medio de las reglas ubicadas en cada una de los puntos. Anexo 4.

4.2. Análisis de muestras y datos

Las muestras colectadas fueron analizadas tanto de manera *in situ* “campo” como *ex situ* “laboratorio”. Los parámetros *ex situ* se demuestran en la tabla 2, mientras los *in situ* fueron: caudal, temperatura y pH.

Tabla 2. Parámetros evaluados en el canal de riego Tabacundo

Parámetro	Unidad	Método de valoración
Temperatura	°C	ELECTRÓNICO HANNA
Turbidez	UNF	SM 2130: B
Color	PCU	SM 2120: B
Potencial Hidrógeno	U pH	SM. 4500-H+ A y 4500-H+ 8
Conductividad Eléctrica	mS/cm	ELECTRÓNICO MYRON
Sólidos Totales	mg/L	SM. 2540: B
Nitratos	mg/L (NO ₃)	SM 4500-NO ₃ : C

Fosfatos	mg/L (PO ₄)	SM 4500-P: E
Sulfatos	mg/L (SO ₄)	SM 4500-SO ₄ : E
Relación Absorción Sodio	meq/L (RAS)	SM 3111-B (CÁLCULO)
Dureza Total	mg/L (CaCO ₃)	SM 3111-B
Calcio	mg/L (Ca)	SM 3111-B
Magnesio	mg/L (Mg)	SM 3111-B
Sodio	mg/L (Na)	SM 3111-B
Hierro	mg/L (Fe)	SM 3111-B
Zinc	mg/L (Zn)	SM 3111-B
Coliformes totales	nmp/100mL	SM 9222: D
Coliformes fecales	nmp/100mL	SM 9222: D

Fuente: Laboratorios UPS, 2020

4.3. Tratamiento de los datos

Para el análisis e inferencia los resultados obtenidos se procedió a comparar con las tablas referenciales de los criterios de calidad de aguas uso agrícola o riego del Acuerdo Ministerial 097 A referente a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes, Tablas de límites máximos permisibles del agua de uso agrícola para el calcio, magnesio, sodio, dureza nitratos, fosfatos mencionados por (Román et al., 2001).

Además se utilizó la metodología de Richards (Riverside) para la determinación del grado de salinidad del agua de riego dada por (Olías et al., 2004) y por último se aplicó la metodología de cálculo de los Índices de Calidad de Agua “ICA - NSF” (Grande & Jaltepeque, 2008) para la estimación de la calidad del agua de manera general.

Criterios de Calidad de agua para uso agrícola o riego del Acuerdo Ministerial 097 A

Tabla 3. Criterios de calidad de agua para uso agrícola o riego del Acuerdo Ministerial 097

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/L	5.0
Arsénico	As	mg/L	0.1
Berilio	Be	mg/L	0.1
Boro	B	mg/L	0.75
Cadmio	Cd	mg/L	0.05
Cinc	Zn	mg/L	2.0
Cobalto	Co	mg/L	0.01
Cobre	Cu	mg/L	0.2
Coliformes fecales	NMP	MNP/100mL	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	0.1
Flúor	F	mg/L	1.0
Hierro	Fe	mg/L	5.0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/L	2.5
Materia flotante	Visible	mg/L	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0.001
Manganeso	Mn	mg/L	0.2
Molibdeno	Mo	mg/L	0.01
Níquel	Ni	mg/L	0.2
Nitritos	NO ₂	mg/L	0.5
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	3
Ph	Ph		6-9
Plomo	Pb	mg/L	5.0
Selenio	Se	mg/L	0.02
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	250
Vanadio	V	mg/L	0.1

Fuente: MAE, 2015

Tabla 4. Criterios de calidad de agua para uso agrícola o riego del Acuerdo Ministerial 097A.

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN*		
		Ninguno	Ligero - Moderado	Severo
Salinidad				
CE (1)	milimhos/cm	0.7	0.7-3.0	>3.0
SDT(3)	mg/L	450	450-2000	>2000
Infiltración:(4)				
RAS=0-3yCE=		0.7	0.7-0.2	>0.2
RAS=3-6yCE=		1.2	1.2-0.3	>0.3
RAS=6-12yCE=		1.9	1.9-0.5	>0.5
RAS=12-20yCE=		2.9	2.9-1.3	>1.3
RAS=20-40yCE=		5.0	5.0-2.9	>2.9
Toxicidad por iones específicos (5)				
Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)	meq/L	3.0	3.0-9.0	>9
Aspersión	meq/L	3.0	3.0	
Cloruros:				
Irrigación superficial	meq/L	4.0	4.0-10.0	>10
Aspersión	meq/L	3.0	3.0	
Boro:	mg/L	0.7	0.7-3.0	>3
Efectos miseláneos (7)				
Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/L	5.0	5.0 -30.0	>30
Bicarbonato (HCO ₃) Solo por aspersión	meq/L	1.5	1.5-0.5	>8.5
pH	Rango normal		6.5 -8.4	
*Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso de riego.				
(1) Afecta a la disponibilidad de agua para cultivos.				
(2) CE=Conductividad eléctrica del agua de riego (1milimhos/cm=1000micromhos/cm).				
(3) SDT=Sólidos disueltos totales				
(4)Afecta en la tasa de infiltración del agua en los suelos.				
(5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos.				
(6) RAS, relación de adsorción de sodio ajustada.				
(7) Afecta a los cultivos susceptibles.				

Fuente: MAE, 1995

Tabla 5. Calidad de agua para el Ca, Mg y Na

Elemento	Rango	Unidad
Calcio	40,08 - 120,24	mg/L
Magnesio	6,08 - 24,32	mg/L
Sodio	0 - 5,06	mg/L

Fuente: Román &Otros, 2001

Tabla 6. Calidad de agua para Fosfatos y Nitratos.

Fosfatos (meq/L)	Nitratos (meq/L)	Calidad del Agua
<0,003	<0,16	Buena
0,003-0,022	0,16-0,4	Media
>0,022	>0,8	Baja

Fuente: Román &Otros, 2001

Tabla 7. Calidad de agua según la dureza

Concentración de Carbonatos	Clasificación del agua
0-100 ppm	Agua blanda
100-200 ppm	Agua semidura
200-250 ppm	Agua dura
> 250 ppm	Agua muy dura

Fuente: Román &Otros, 2001

Metodología de Richards (Riverside) para determinar el grado de salinidad de las aguas de riego

Este sistema interrelaciona la conductividad eléctrica para estimar el riesgo de salinización del suelo y el cálculo de la Relación de Adsorción de Sodio “RAS o SAR” para determinar el riesgo de sodificación o alcalización por medio de un sistema de tablas y gráficas (Olías et al., 2004). El riesgo de sodificación o alcalinización de los iones se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L) según la fórmula:

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

Ecuación 1. Relación de Adsorción de Sodio, Richards, 1954.

Tabla 8. Clasificación del agua de riego de acuerdo a la conductividad eléctrica según Riverside

Clase	Peligro de salinización	CE (dS/m) a 25 °C	Criterio
C1	Bajo	0.10 - 0.25	Apta para el riego de cualquier cultivo, en cualquier tipo de suelo, con baja o nula probabilidad de generar salinidad en los suelos, salvo en suelos muy poco permeables en los que se deberá intercalar riegos de lavado.
C2	Moderado	0.25 - 0.75	Pueden usarse para el riego de cultivos, a condición de que exista cuando menos, un lavado moderado de los suelos. La mayoría de cultivos, resisten esta agua, sin prácticas especiales de control. Es suelos poco permeables se recomienda elegir un cultivo resistente a la salinidad.
C3	Medio	0.75- 2.25	Solamente deben usarse en suelos con buen drenaje y en cultivos resistentes a las sales.
C4	Alto	2.25- 4.00	No son recomendables para riego. Sólo deben usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso. Sólo para cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Muy Alto	4.00 - 6.00	Sólo debe usarse en casos muy especiales, extremando las precauciones. Inapropiada para riego.
C6	Excesivo	6.00 - 10.00	Agua no aconsejable para el riego en ningún caso. Realizar riegos de lavado en la medida que la lluvia no sea suficientemente frecuente e intenso para provocar lixiviación de las sales acumuladas.

Fuente: Richards, 1994

Tabla 9. Clasificación del agua de riego de acuerdo a la relación de absorción de sodio

Clase	Clasificación	RAS	Criterio
S1	Baja	< 10	Son aguas de bajo contenido en sodio, útiles para el riego de la mayoría de suelos y cultivos.
S2	Mediana	10 – 18	Son aguas de mediano contenido en sodio, útiles para el riego de suelos de textura gruesa o de suelos orgánicos con buena permeabilidad. En suelos de textura fina puede elevarse el sodio de intercambio, lo cual puede atenuarse con aplicaciones de yeso.
S3	Alta	18 – 26	Son aguas de alto contenido en sodio, solo aplicables a suelos altos contenidos de yeso o a suelos con prácticas especiales de manejo. No son útiles para el riego de cultivos altamente sensibles al sodio, como lo son la mayoría de frutales.
S4	Muy Alta	> 26	Son aguas de muy alto contenido en sodio, prácticamente inadecuadas para el riego de la mayoría de suelos y cultivos.

Fuente: Richards, 1954

En la Figura 2 se observa el esquema propuesto para clasificar las aguas de riego según las Normas Riverside, relacionando los datos la conductividad eléctrica y el RAS (Richards, 1954).

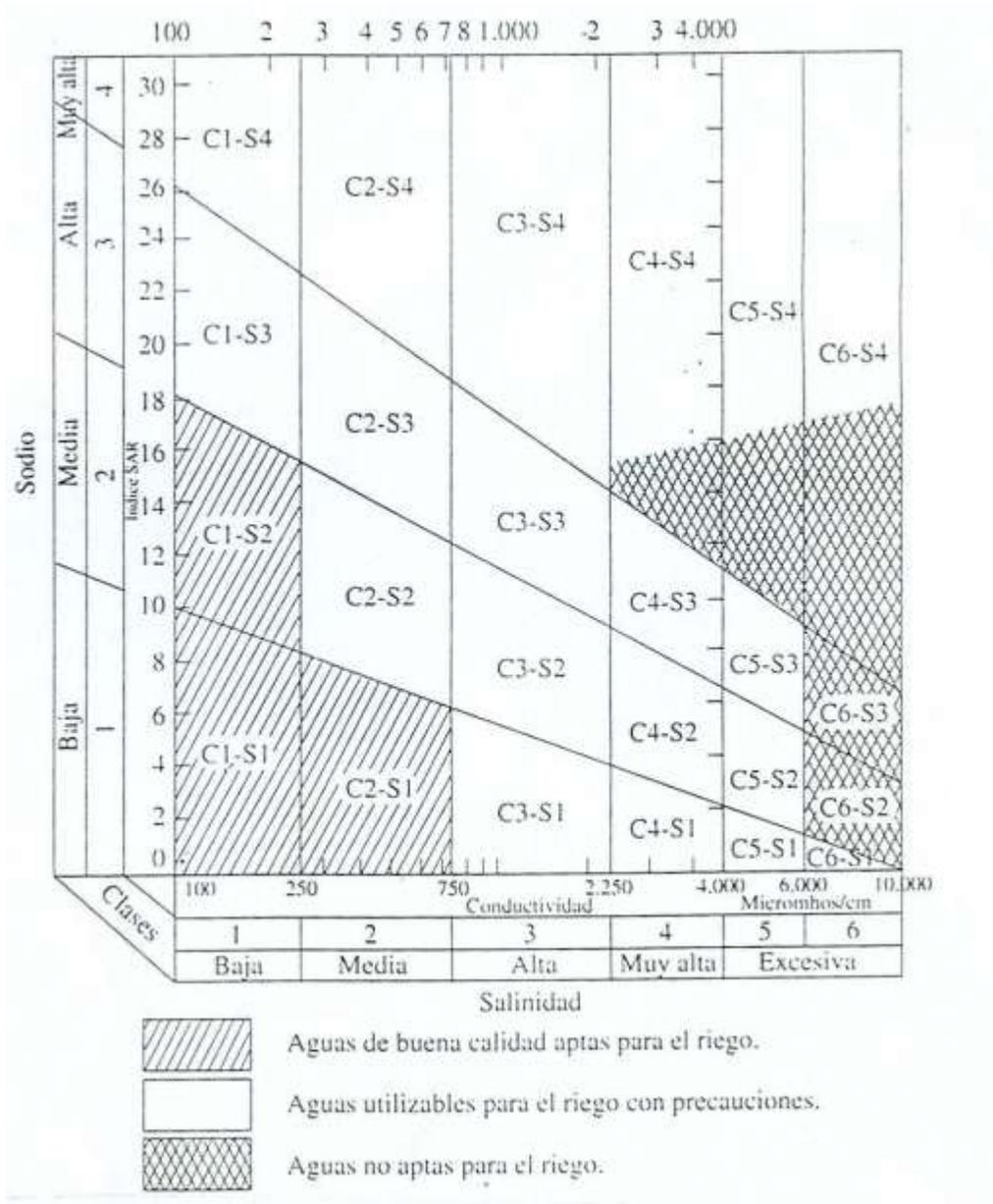


Figura 2. Clasificación del agua de riego de acuerdo a la relación entre conductividad eléctrica y RAS según las normas Riverside, Richards, 1954

Metodología del cálculo de Índice de la Calidad del Agua ICA-NSF

Para la realización del cálculo del Índice de Calidad de Agua se tomó la metodología de Brown, 1970. Mencionado por (Grande&Jaltepeque, 2008). Basado en nueve parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Recalcando que en la investigación solo se tomaron siete parámetros: Coliformes fecales, pH, nitratos, fosfatos, cambio de temperatura, sólidos disueltos totales y turbidez y se ponderó, según el porcentaje de los parámetros anteriormente mencionados siendo un ICA modificado. En cuanto a la estimación del Índice de la calidad del agua “ICA” se tomaron las siguientes consideraciones: El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la tabla:

Tabla 10. Clasificación del ICA-NSF

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR	CRITERIO
Excelente		91 a 100	Son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.
Buena		71 a 90	Tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.
Regular		51 a 70	Pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación
Mala		26 a 50	Pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.
Pésima		0 a 25	Pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación

Fuente: NSF, 1970.

La evaluación numérica del “ICA”, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown, 1970. Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA_a) o una función ponderada multiplicativa (ICA_m). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (i_i \cdot i_{w_i})$$

Ecuación 2. Índice de Calidad de Agua “suma lineal. Brown, 1970.

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

Ecuación 3. Índice de Calidad de Agua “ponderada multiplicativa”. Landwerhr y Denninger, 1976.

Dónde:

Wi: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. Sub_i: Subíndice del parámetro i.

Otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad. Para calcular los (Sub_i) del Índice de Calidad General se interpola la eje (X) con el eje (Y) de cada uno de las gráficas correspondientes a los parámetro. Una vez realizado esto se procede a multiplicar este valor con los pesos relativos (Wi) dándonos un subtotal de cada uno de los parámetros y al sumarlos nos genera un valor ICA.

Tabla 11. Pesos relativos para cada parámetro del “ICA”

i	Sub _i	Wi
1	Coliformes fecales	0.15
2	PH	0.12
3	DBO ₅	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

Fuente: NSF, 1970.

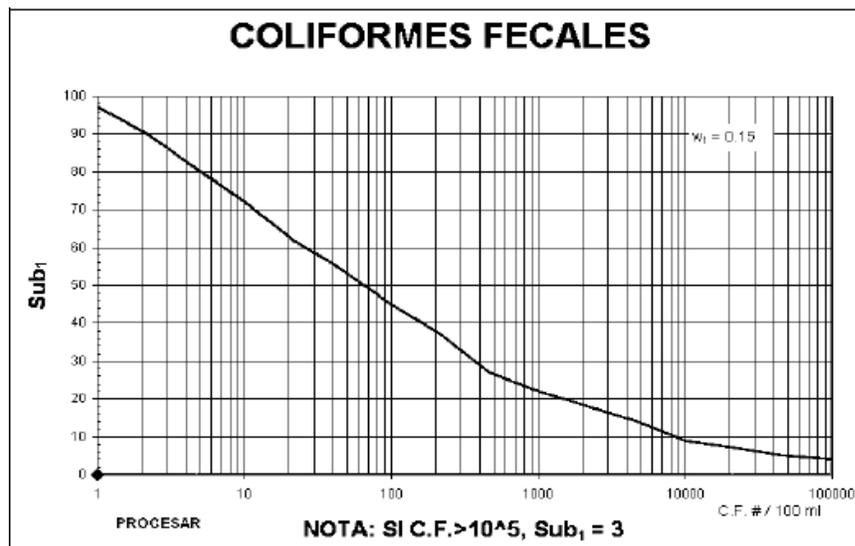


Figura 3. Valoración de la calidad del agua en función de coliformes fecales. NSF, 1970

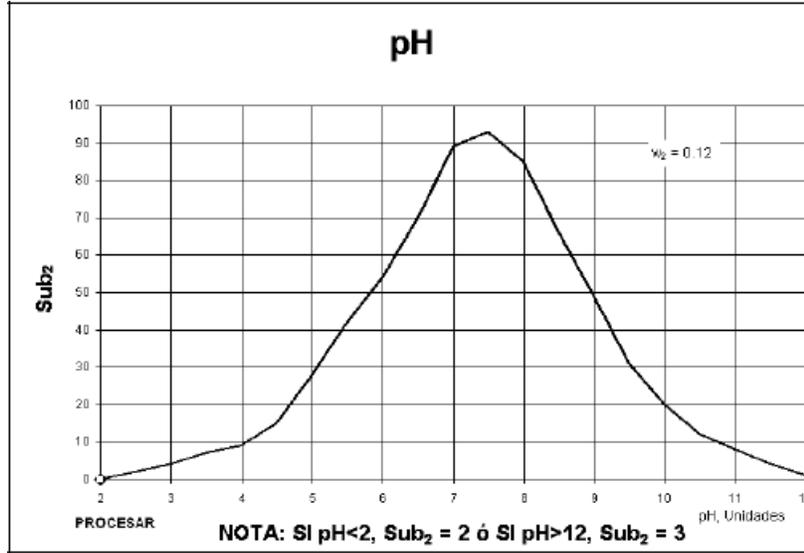


Figura 4. Valoración de la calidad del agua en función del pH. NSF, 1970

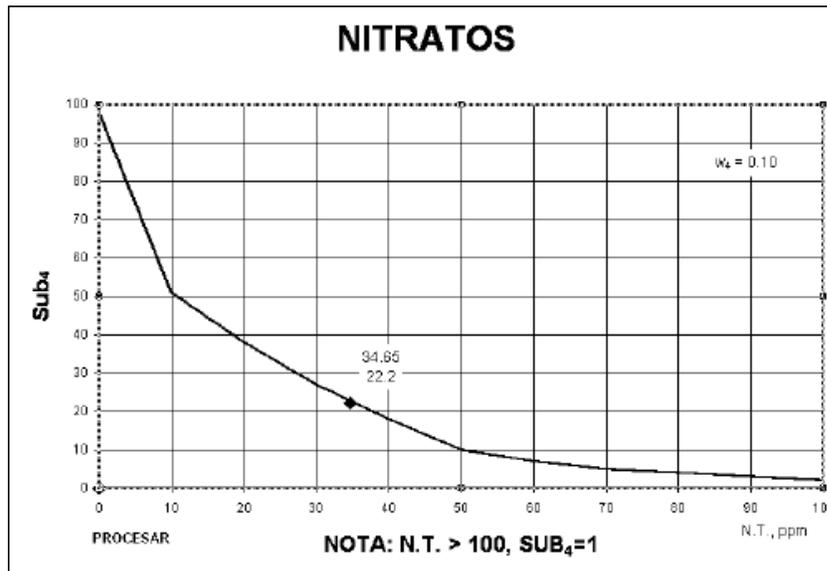


Figura 5. Valoración de la calidad del agua en función de los nitratos. NSF, 1970

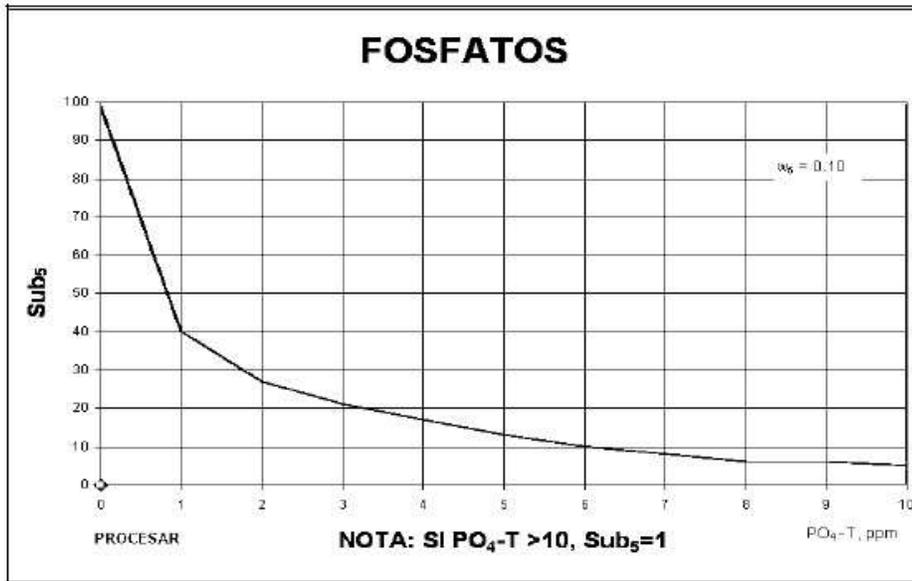


Figura 6. Valoración de la calidad del agua en función de los fosfatos. NSF, 1970.

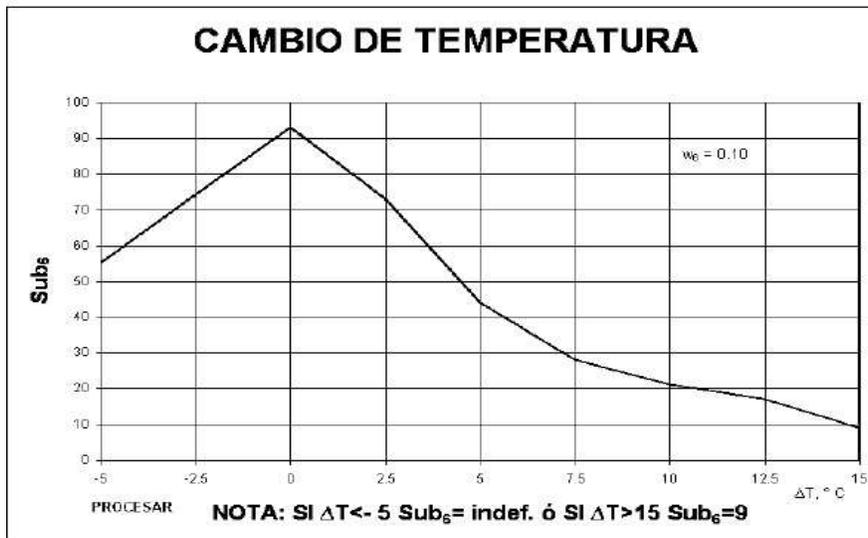


Figura 7. Valoración de la calidad del agua en función de Temperatura. NSF, 1970.

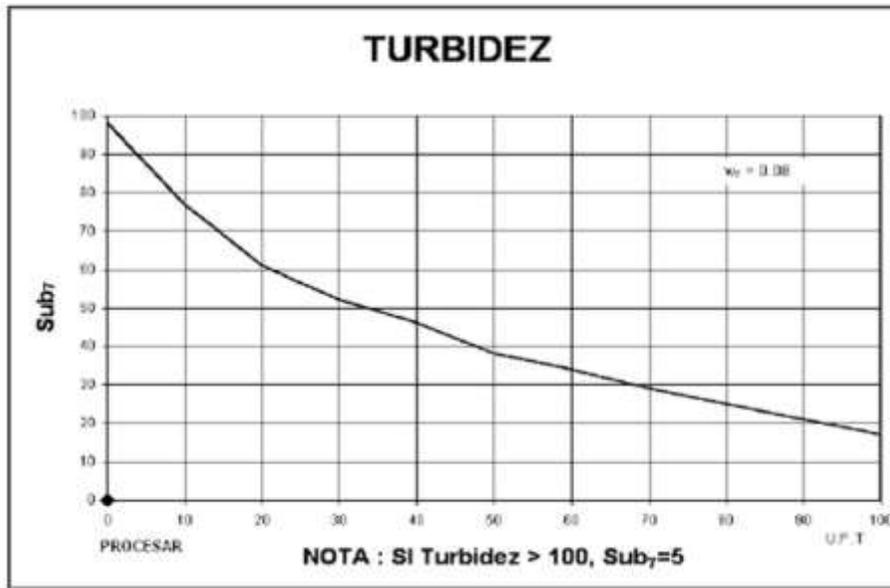


Figura 8. Valoración de la calidad del agua en función de Turbidez. NSF, 1970.

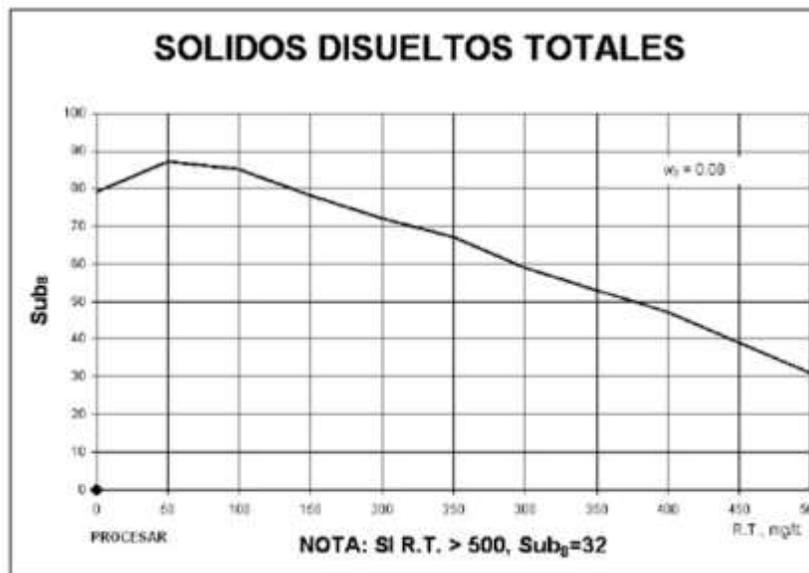


Figura 9. Valoración de la calidad del agua en función de Sólidos disueltos totales. NSF, 1970.

Posteriormente la información generada en esta investigación fue tabulada para su respectiva interpretación e inferencia estadística.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros Físicos del agua

Caudales

Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río en la unidad de tiempo, se expresa en metros cúbicos por segundo m^3/s o litros por segundo L/s (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017).

En la investigación se verificó que los caudales (L/s), en el canal Tabacundo, varían en el sector del Calvario “punto 1”, con caudales máximos de 750 L/s y mínimos de 450 L/s, en el sector de Guanes “Punto 2” con caudales máximos de 700 L/s y mínimos de 430 L/s. Anexo 5, en el sector de La Chimba “Punto 3” con caudales máximos de 580 L/s y mínimos de 380 L/s, en el sector de San Isidro de Cajas “Punto 4” con caudales máximos de 525 L/s y mínimos de 250 L/s, en el sector de San José Alto “Punto 5” con caudales máximos de 450 L/s y mínimos de 150 L/s y en el sector de Tomalón “Punto 6” con caudales máximos de 60 L/s y mínimos de 40 L/s detallando en la figura 10.

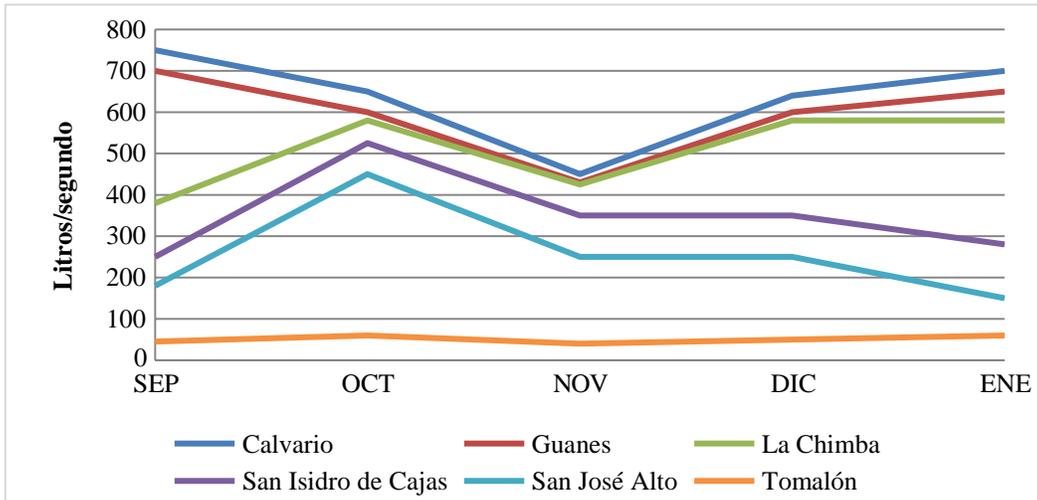


Figura 10. Estimación de los caudales del canal de riego Tabacundo. Espinosa G.

Temperatura

Es un parámetro importante y su determinación es sustancial en cualquier intento de evaluación de la calidad del agua, ya que influye en las propiedades físico-químicas y biológicas de los cuerpos de agua y es crucial para la conservación de la vida acuática (Ramos, 2003). A continuación en la figura 11 nos señala la dinámica de la temperatura ambiental dándonos el rango de máximo de 16,7 y mínimo de 9,14 °C mientras que la temperatura del agua tenemos el rango máximo de 13,4 y mínimo de 7,5 °C como del agua en el canal de riego Tabacundo (Espinosa, 2020).

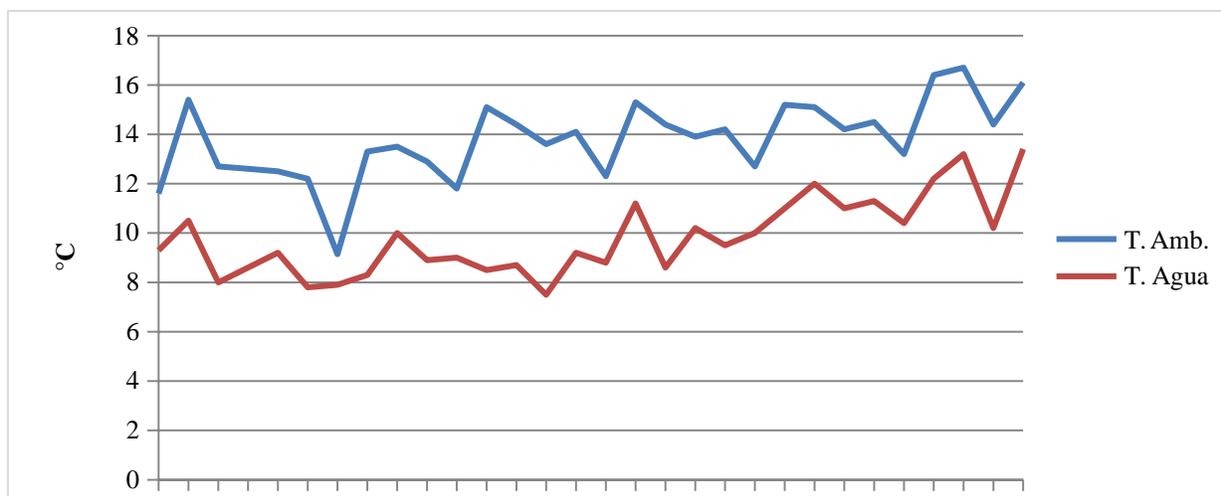


Figura 11. Temperatura del agua y ambiental del canal de riego Tabacundo. Espinosa G.

Color

Se debe absorción de luz, en el rango de mayor longitud de onda. Está determinada por la presencia de materiales en suspensión o disueltos en ella. Ejemplo: la presencia de materia orgánica, hierro, los residuos domésticos, algas, son distintas manifestaciones del color en el agua. El color debe determinarse antes que la turbidez. (Becker, 2015). La figura 12 indica que existe mayor color del agua de riego en el sector de San José Alto con un valor de 306 y 307 CPU en Tomalón valores relacionados con arrastres de sedimentos del canal.

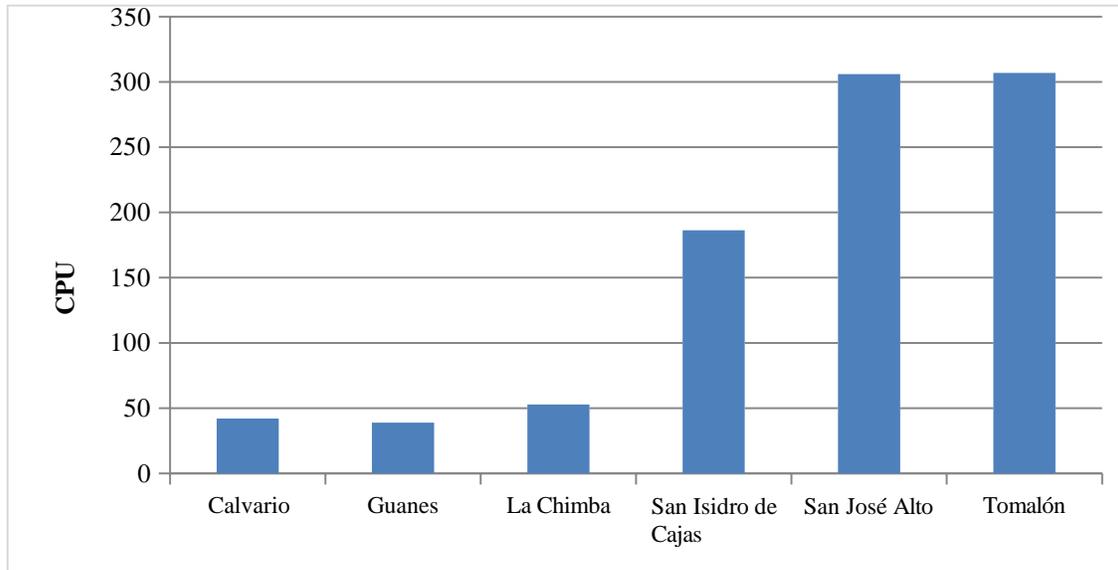


Figura 12. Color del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Turbidez

Es la presencia de partículas en suspensión (limo, arcilla, sales de hierro, materia orgánica, etc.). Cuando las partículas, por su tamaño, se depositan rápidamente se producirá sedimentación. La turbidez restringe su uso en aguas destinadas a riego, y las partículas en suspensión pueden originar trastornos en los elementos usados en riego: desgastes anormales en turbinas y cuerpos de difusores de los equipos de bombeo, tapar picos de aspersores y goteros. Los sólidos en suspensión pueden afectar la permeabilidad del suelo al agua y al aire (Becker, 2015). En la figura 13 se indican los valores de NTU observando que existe mayor turbidez en el sector de San José Alto y Tomalón con valores de 89 y 196 NTU siendo muy turbias debido a arrastres de sedimentos del canal.

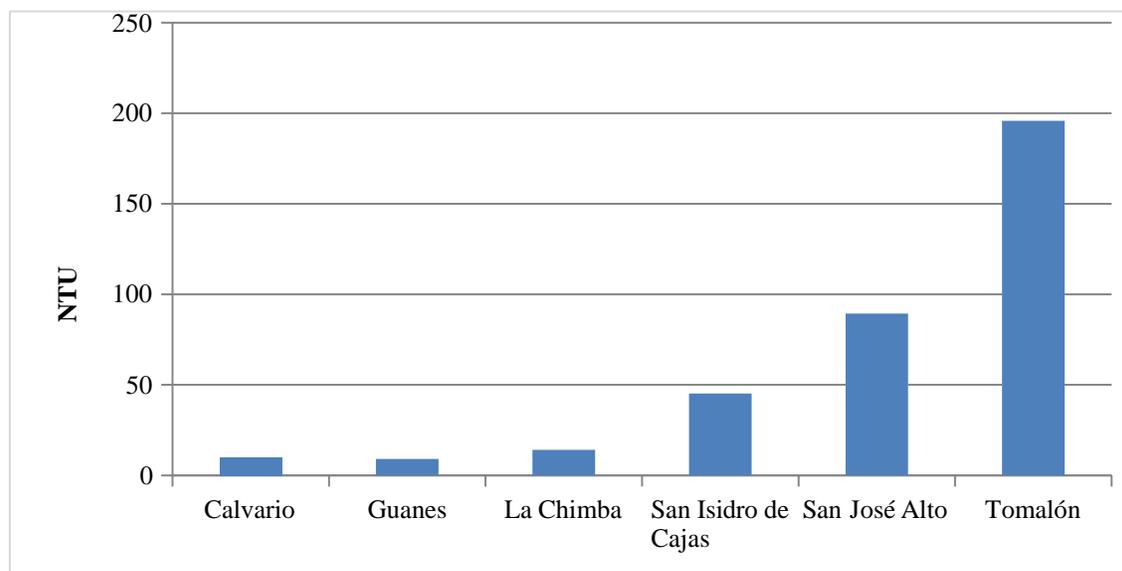


Figura 13. Niveles de turbiedad del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Potencial de Hidrógeno

Se le define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno. La escala de pH se extiende desde el 0 “muy ácido” al 14 “muy alcalino”, siendo 7 la neutralidad exacta a 25°C (Ayora, 2010). Es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso. En términos exactos, es una medida de la “actividad” del ion hidrógeno en una determinada muestra. Los valores óptimos en aguas de riego oscilan entre 7 y 8 de pH (Bonet & Ricardo, 2011) . En la figura 14 detalla los valores del pH según el Acuerdo Ministerial 097 en el canal de riego Tabacundo detallándose que está dentro de los niveles permisibles entre 6,9 y 8 Unidades de pH.

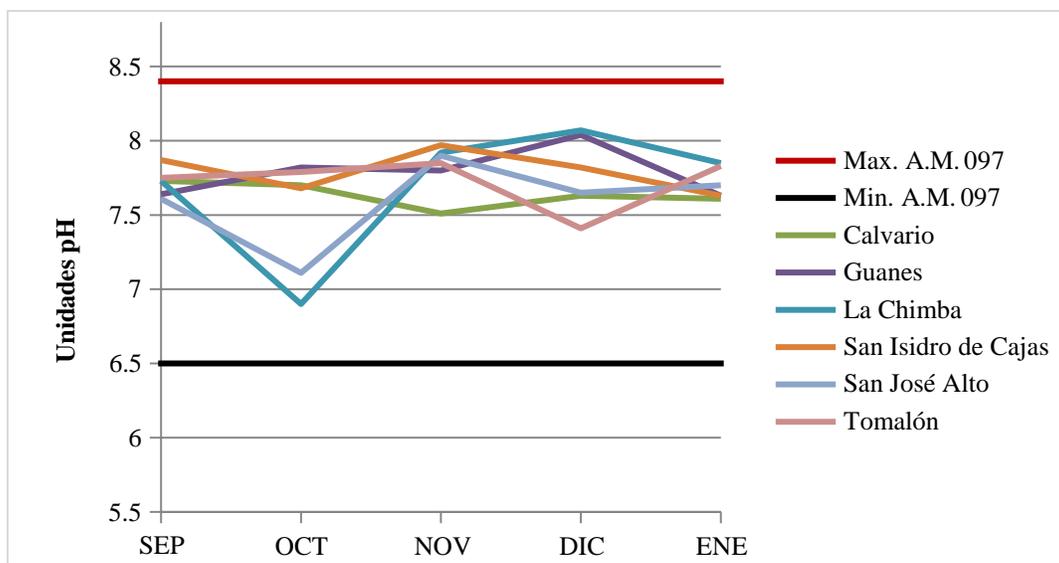


Figura 14. pH del agua de riego según el Acuerdo Ministerial 097 del canal Tabacundo. Espinosa G.

Conductividad Eléctrica

Es la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua, nos da una idea del contenido total de sales en el agua. Cuanto más elevada sea la conductividad mayor será el contenido en sales. Las unidades de medida más frecuentes son milisiemens por centímetro “mS/cm” y microsiemens por centímetro “μS/cm” (Allende, 2002). En la figura 15 detalla la conductividad eléctrica según el Acuerdo Ministerial 097 del canal de riego Tabacundo cual se evidencia que está dentro de los niveles permisibles con un rango de 0,09 a 0,17 milimhos/cm con una categorización de ninguno.

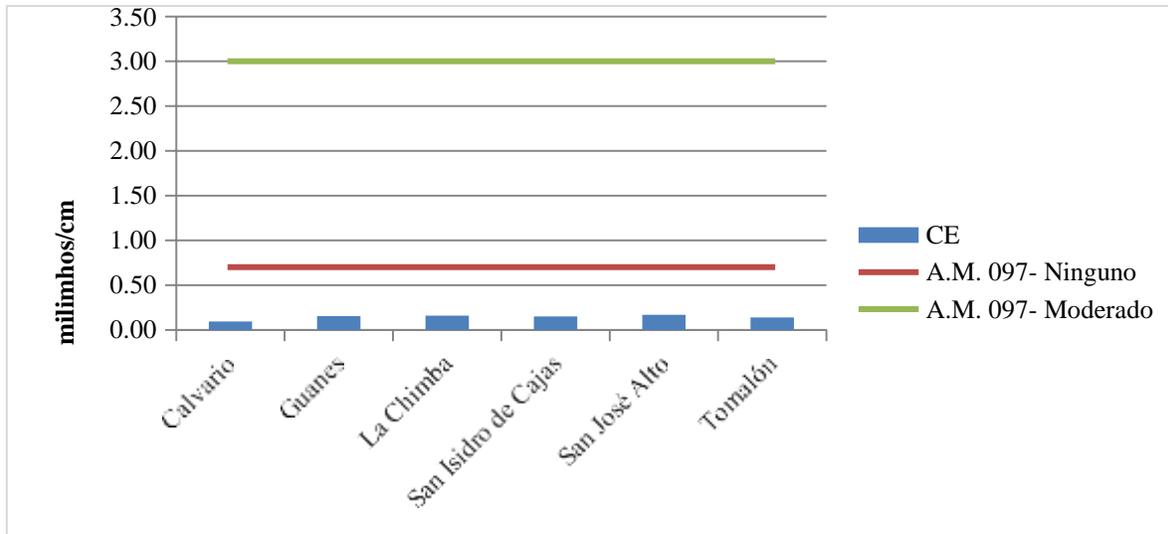


Figura 15. Conductividad eléctrica del agua de riego según el Acuerdo Ministerial 097 del canal Tabacundo. Espinosa G.

5.2. Parámetros químicos del agua de riego

Calcio

Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Representa más un problema Económico por las incrustaciones en cañerías, que un problema de salud. El ión calcio forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CO_3Ca). Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El agua de mar alrededor de 400 ppm (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A., 2012). La cantidad de calcio deseable en el agua de riego debe estar por debajo de los 120 mg/L (Román&Otros, 2001). En la figura 16 muestra la cantidad de calcio en el agua de riego del canal Tabacundo con valores máximos de 17, 8 y mínimos de 6,4 mg/L que está por debajo de los parámetros establecidos por el autor anteriormente mencionado.

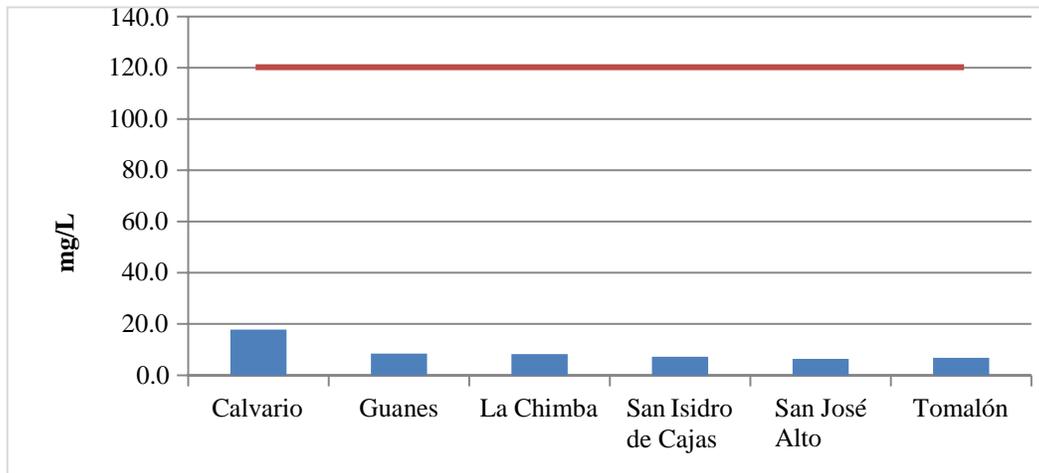


Figura 16. Cantidad de calcio del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Magnesio

Se encuentra generalmente en las aguas en cantidades mucho menores que el calcio, pero su importancia biológica es grande, ya que es indispensable en el desarrollo de ciertos sistemas enzimáticos, actuando igualmente en la constitución de los huesos. Una persona adulta debe de tomar por término medio 200 a 300 mg por día. Si la cantidad de magnesio en el agua es muy grande, puede esta actuar como laxante e incluso adquirir un sabor amargo (Rodríguez, 2009). El parámetro deseable de magnesio en agua de riego es de 24, 32 mg/L. (Román&Otros, 2001).

En la figura17 se detalla la cantidad de magnesio en el agua de riego del canal Tabacundo con valores máximos de 22,93 y mínimos de 2,95 mg/L que está por debajo de los parámetros establecidos por el autor anteriormente mencionado.

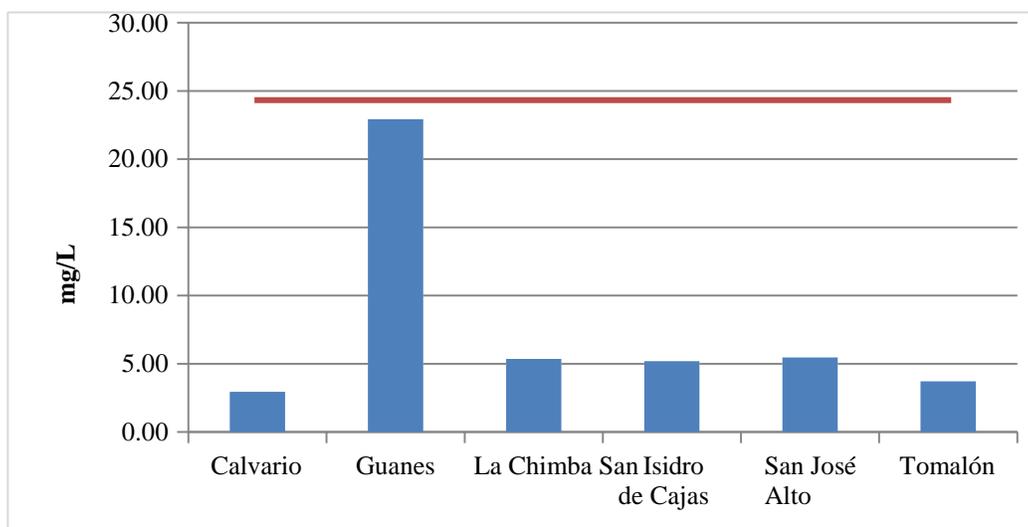


Figura 17. Cantidad de magnesio del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Sodio

Es un elemento abundante que se encuentra en la litosfera en forma de sales diversas (cloruros, sulfatos, silicatos y feldespatos). Dada la alta solubilidad de las sales de Na, en muchas aguas es el catión más frecuente después del Ca incluso superando las concentraciones de Mg. Si bien es especialmente importante su contenido en aguas marinas (unos 10 g/L) en las aguas continentales es más modesta: entre 1 y 300 mg/L dependiendo de la composición del terreno sobre el que discurre el cauce hídrico (Ayora, 2010).

El parámetro deseable de sodio en agua de riego es de 5,06 mg/L. (Román& Otros., 2001). En la figura 18 se observa la cantidad de sodio en el agua de riego con valores máximos de 5,5 y mínimos de 3,9 mg/L que está por debajo de los parámetros establecidos.

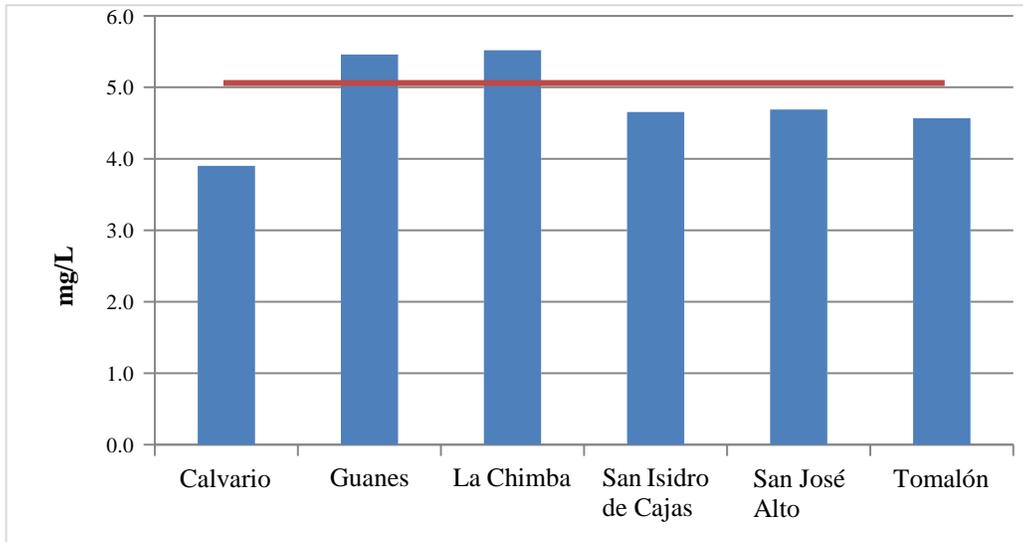


Figura 18. Cantidad de sodio del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Hierro

Es un mineral que está en el agua esto dado por la mineralogía del sector donde las aguas circulen (Bonet & Ricardo, 2011). El mineral puede darle al agua un sabor, olor y color indeseable. Causa manchas rojizos-café en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto. En la figura 19 indica la cantidad de hierro según el Acuerdo Ministerial 097 del canal de riego demostrando rangos desde 0,16 a 4,18 mg/L, considerándose dentro de los niveles permisibles.

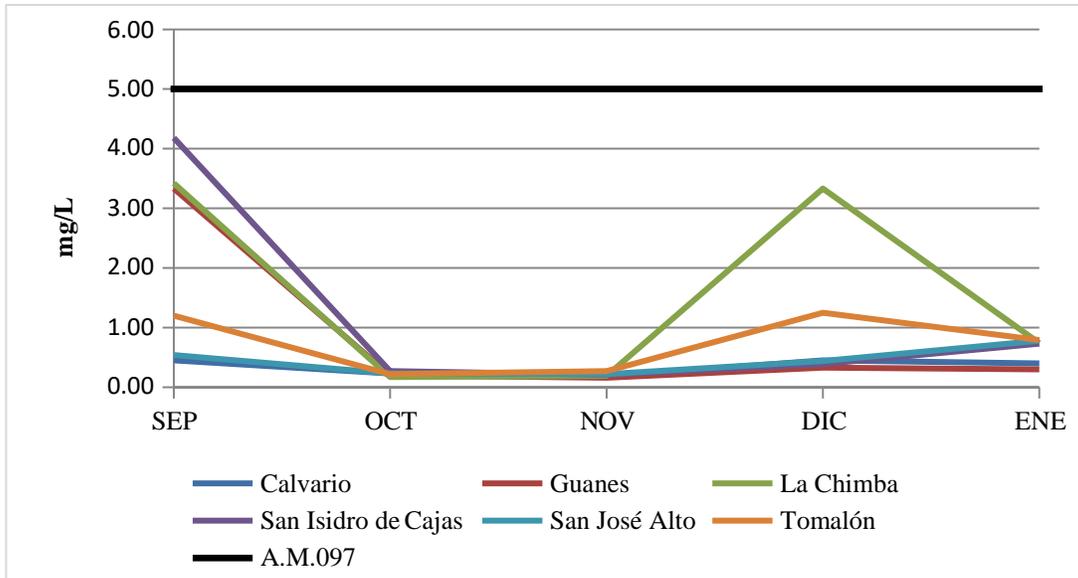


Figura 19. Cantidad de hierro del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Zinc

Es un oligoelemento esencial que se encuentra en prácticamente todos los alimentos y en el agua potable en forma de sales o complejos orgánicos. Generalmente, la principal fuente de zinc son los alimentos. Aunque las concentraciones de zinc en aguas superficiales y subterráneas no suelen sobrepasar 0,01 y 0,05 mg/L, respectivamente, en el agua de grifo puede haber concentraciones mayores como consecuencia de la disolución del cinc de las tuberías (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A., 2012). En la figura 20 muestra la cantidad de zinc según el Acuerdo Ministerial 097, el límite máximo es de 2 mg/L, evidenciándose en el canal de riego Tabacundo que se encuentra dentro de los niveles permisibles con un rango de 0,00 mg/L.

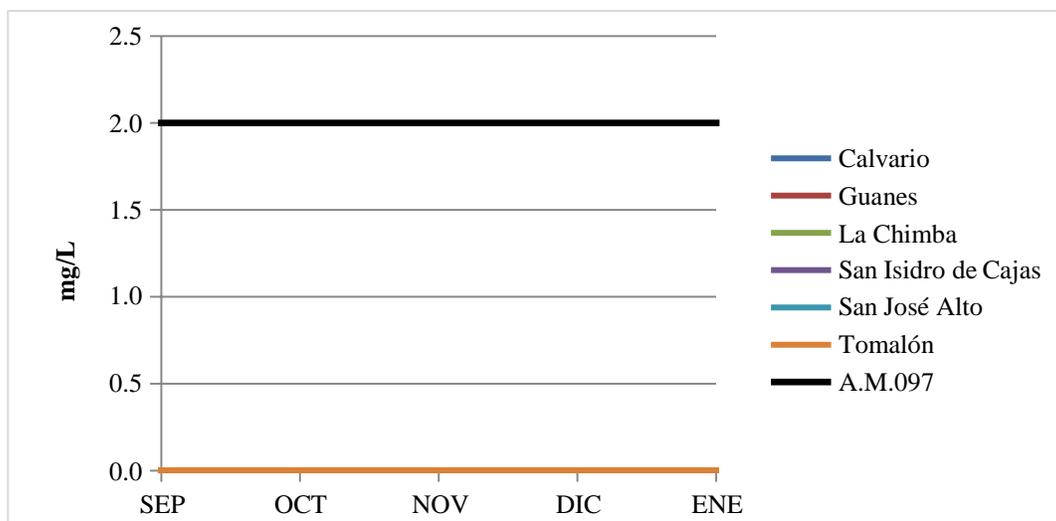


Figura 20. Cantidad de sodio del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Dureza

Cuando un agua es referida como agua “dura” significa la presencia de calcio y magnesio en proporciones muy altas en el agua, la dureza se expresa en mg/L de CaCO_3 (Hunt, 2012). El agua dura es la que contiene un alto nivel de minerales y posee cantidades variables de compuestos, en particular sales de magnesio y calcio. Son las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de estas sales (Rodríguez, 2009) En la figura 21 indica el tipo de dureza según rangos en el agua de riego con valores mínimos de 32,3 y máximos de 115,5 mg/L clasificándose según (Román et al., 2001) como agua blanda.

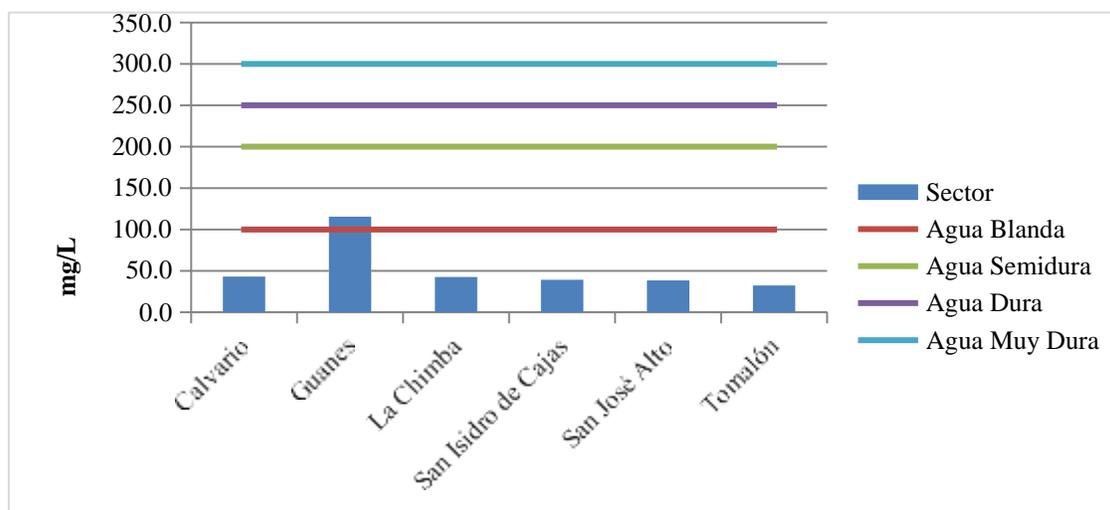


Figura 21. Tipo de dureza del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Sólidos Totales Disueltos

Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o microgranular, que contiene el agua a su vez se componen de sólidos coloidales y disueltos. Son moléculas e iones; que se encuentran diluidos en el agua. Este se debe a la presencia de minerales, gases producto de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan olor, color, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Jiménez, 2001). En la figura 22 muestra la cantidad de Sólidos Disueltos Totales según el Acuerdo Ministerial 097 en el canal de riego, indicándonos una tendencia entre valores mínimos de 95 y máximo de 932 mg/L afirmando que está dentro de los niveles permisibles con una clasificación de moderado.

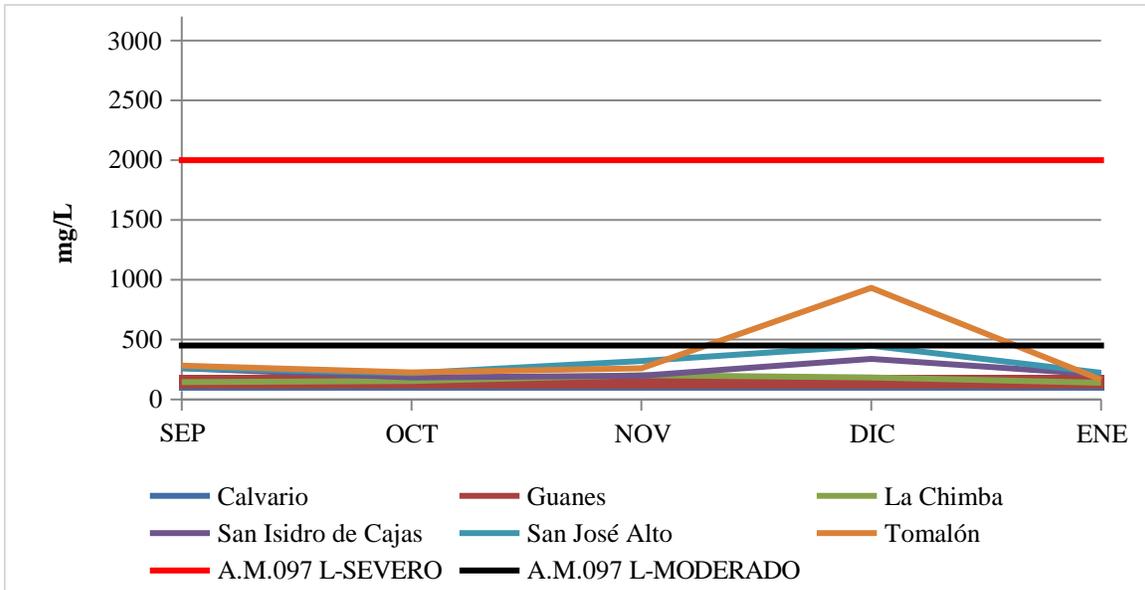


Figura 22. Cantidad de sólidos disueltos totales del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

Nitratos

Proviene principalmente del uso de fertilizantes (Korbut, 2015). En agua de riego el parámetro deseable de sodio en agua de riego es de 0,5 hasta 1,9 meq/L (Román & Otros., 2001). En la figura 23 indica la cantidad de nitratos y su clasificación con el rango de 0,01 meq/L con una clasificación de bajo.

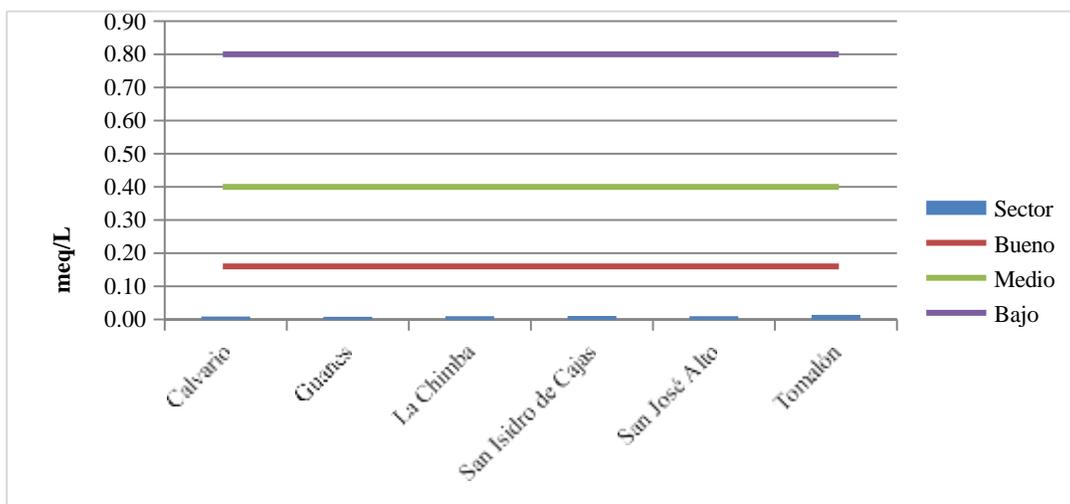


Figura 23. Cantidad y nivel de nitratos del canal Tabacundo. Espinosa G.

Fosfatos

Se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. Existe en solución como partículas, fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. Al incrementarse considerablemente provoca la muerte de especies marinas por la presencia de polifosfatos provenientes de los detergentes en las aguas residuales, estimulando el crecimiento desmedido de algas por ende el material orgánico del agua y su descomposición rápida.. En la tabla 13 detalla la cantidad de fosfatos y su calidad con el rango de 0,01 a 0,02 meq/L categorizado como medio.

Tabla 12. Cantidad y calidad de fosfatos por sectores del agua de riego del canal Tabacundo.

Sector	meq/L	Calidad
Calvario	0,018	Media
Guanes	0,021	Media
La Chimba	0,013	Media
San Isidro de Cajas	0,015	Media
San José Alto	0,015	Media
Tomalón	0,021	Media

AUTOR: Espinosa G.

Sulfatos

Son sales solubles en agua, el ion procede fundamentalmente de los procesos de disolución de yesos ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sin olvidar las cantidades procedentes de la oxidación bacteriana de sulfuros, se indica que los sulfatos en un agua de bebida provocan sabores amargos, estando el umbral de gusto en función del catión concreto que sea mayoritario en el agua por ejemplo: unos 350 mg/L para sulfato sódico, y 500 mg/L para sulfato magnésico (Ayora, 2010). En la figura 24 muestra la cantidad de sulfatos según el Acuerdo Ministerial 097 del canal de riego Tabacundo con rangos de 0,43 a 28,43 mg/L cumpliendo los niveles permisibles.

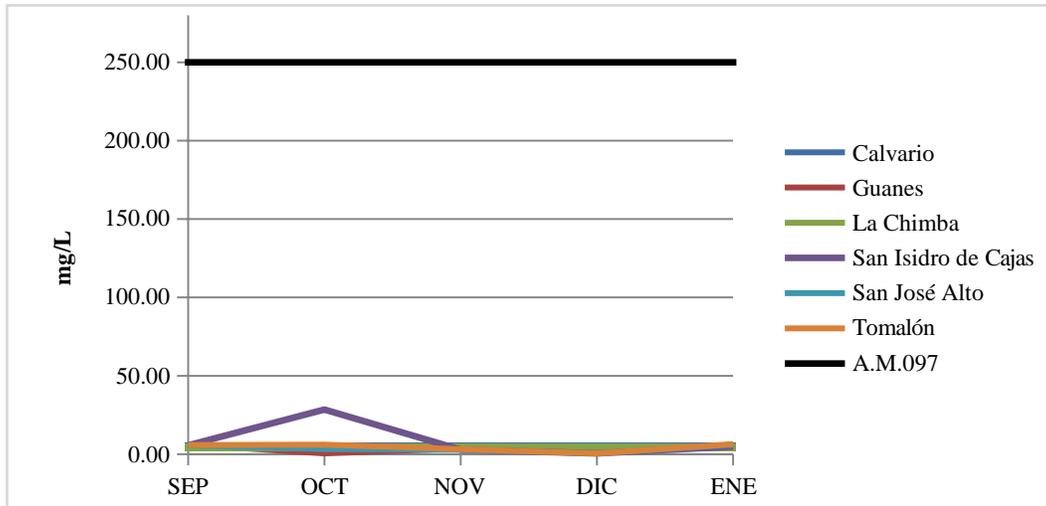


Figura 24. Cantidad de sulfatos del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

5.3. Parámetros microbiológicos

Coliformes Totales

En el análisis microbiológico de coliformes totales del canal de riego Tabacundo se constató en NMP/100 mL, cantidades mínimas de 88 en el sector del Calvario y máximas de 24720 en Tomalón, detallándose en el la figura 25.

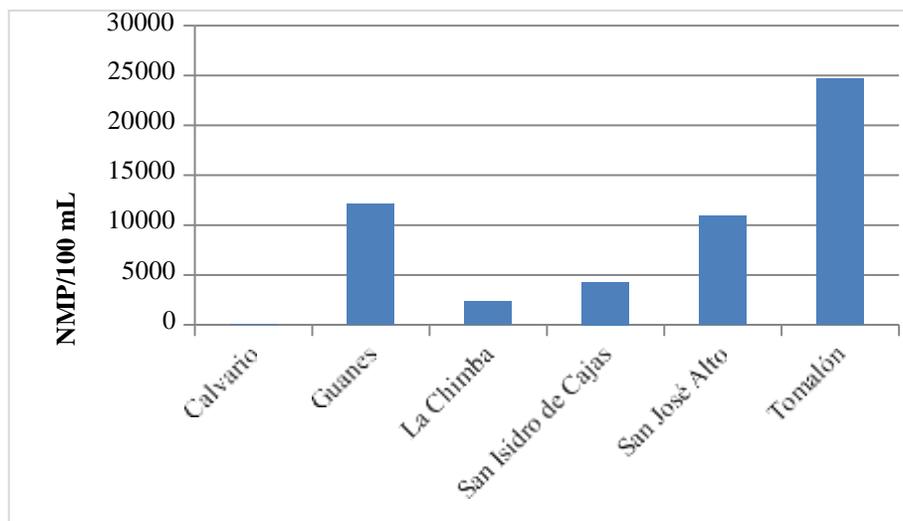


Figura 25. Cantidad de coliformes totales por sectores del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G. .

Coliformes Fecales

El contaje de coliformes fecales determina la presencia de bacterias de la familia Enterobacteriaceae en especial del género *Escherichia* que produce enfermedades gastrointestinales al ser humano y animales (Manacorda, 2007). En la figura 26 muestra el NMP/100 mL de coliformes fecales según el Acuerdo Ministerial 097 se constató cantidades mínimas en los sectores de Guanes y San José alto con un valor máximo de 580 NMP/100 mL siendo rangos bajos pero en el sector de Tomalón excede con valor de 4906 NMP/100 mL no cumpliendo la normativa ambiental.

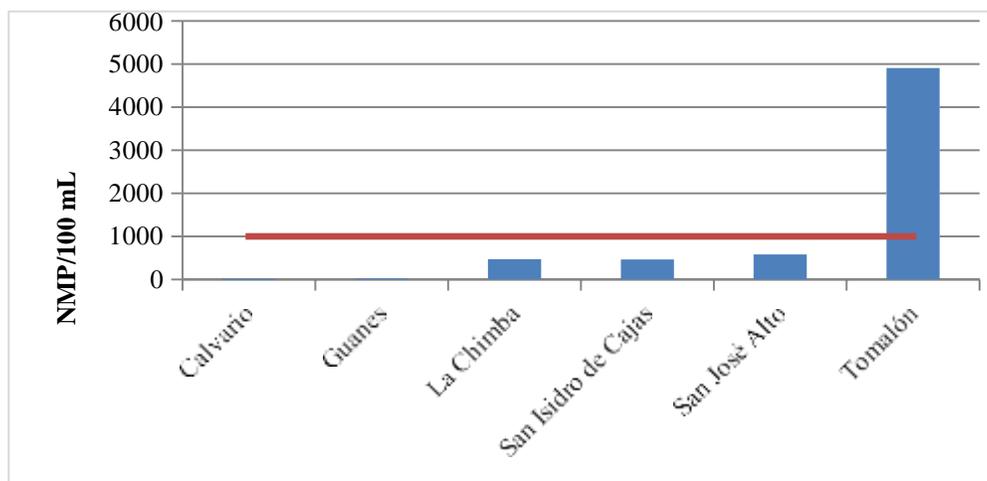


Figura 26. Cantidad de coliformes fecales por sectores del agua de riego del canal Tabacundo. Espinosa G.

5.4. Criterios e índices de la calidad de agua de uso agrícola del canal de riego Tabacundo

Clasificación del agua de riego del canal Tabacundo según la Norma Riverside

Tabla 13. Clasificación del agua de riego del canal Tabacundo según la norma Riverside

Sector	RAS (Riverside)	CE (dS/m)	Peligro de salinización		Peligro de sodificación	
			critero	Clase	Criterio	Clase
Sector	RAS	CE	Bajo	C1	Bajo	S1
Calvario	0,32	0,09				
Guanes	0,27	0,15				
La Chimba	0,38	0,16				
San Isidro de Cajas	0,35	0,15				
San José Alto	0,33	0,17				
Tomalón	0,34	0,14				

Autor: Espinosa G.

Criterio de la calidad según ICA-NSF del agua por sectores en el canal de riego Tabacundo

Tabla 14. Valores ICA del sector el Calvario

N°	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	7,20	NMP/100	80,0	0,15	12,00
2	pH	7,64	U pH	88,0	0,12	10,56
3	Nitratos	0,55	mg/L	100,0	0,10	10,00
4	Fosfatos	0,57	mg/L	100,0	0,10	10,00
5	Cambio de Temperatura	3,84	°C	68,0	0,10	6,80
6	Turbidez	9,94	NTU	78,0	0,08	6,24
7	Sólidos Totales Disueltos	112,24	% Sat.	83,0	0,08	6,64
Sumatoria					0,73	62,24
Clasificación ICA					BUENA	85,26

Autor: Espinosa G.

Tabla 15. Valores ICA del sector Guanes

N°	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	18,40	NMP/100	80,0	0,15	12,00
2	pH	7,79	U pH	88,0	0,12	10,56
3	Nitratos	0,47	mg/L	100,0	0,10	10,00
4	Fosfatos	0,67	mg/L	100,0	0,10	10,00
5	Cambio de Temperatura	3,63	°C	62,0	0,10	6,20
6	Turbidez	9,08	NTU	80,0	0,08	6,40
7	Sólidos Totales Disueltos	146,42	% Sat.	80,0	0,08	6,40
Sumatoria					0,73	61,56
Clasificación ICA					BUENA	84,33

Autor: Espinosa G.

Tabla 16. Valores ICA del sector La Chimba

N°	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	472,20	NMP/100	80,0	0,15	12,00
2	pH	7,69	U pH	35,0	0,12	4,20
3	Nitratos	0,61	mg/L	100,0	0,10	10,00
4	Fosfatos	0,41	mg/L	100,0	0,10	10,00
5	Cambio de Temperatura	5,22	°C	43,0	0,10	4,30
6	Turbidez	14,12	NTU	68,0	0,08	5,44
7	Sólidos Totales Disueltos	164,70	% Sat.	77,0	0,08	6,16
Sumatoria					0,73	52,10
Clasificación ICA					BUENA	71,37

Autor: Espinosa G.

Tabla 17. Valores ICA del sector San Isidro de Cajas

N°	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	464,00	NMP/100	37,0	0,15	5,55
2	pH	7,79	U pH	88,0	0,12	10,56
3	Nitratos	0,67	mg/L	100,0	0,10	10,00
4	Fosfatos	0,48	mg/L	100,0	0,10	10,00
5	Cambio de Temperatura	4,36	°C	50,0	0,10	5,00
6	Turbidez	45,19	NTU	42,0	0,08	3,36
7	Sólidos Totales Disueltos	238,00	% Sat.	69,0	0,08	5,52
Sumatoria					0,73	49,99
Clasificación ICA					REGULAR	68,48

Autor: Espinosa G.

Tabla 18. Valores ICA del sector San José Alto

N°	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	580,00	NMP/100	34,0	0,15	5,10
2	pH	7,59	U pH	91,0	0,12	10,92
3	Nitratos	0,60	mg/L	100,0	0,10	10,00
4	Fosfatos	0,47	mg/L	100,0	0,10	10,00
5	Cambio de Temperatura	3,28	°C	58,0	0,10	5,80
6	Turbidez	89,33	NTU	21,0	0,08	1,68
7	Sólidos Totales Disueltos	294,39	% Sat.	61,0	0,08	4,88
Sumatoria					0,73	48,38
Clasificación ICA					REGULAR	66,27

Autor: Espinosa G.

Tabla 19. Valores ICA del sector Tomalón

N°	Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	4906,00	NMP/100	15,0	0,15	2,25
2	pH	7,73	U pH	87,0	0,12	10,44
3	Nitratos	0,86	mg/L	100,0	0,10	10,00
4	Fosfatos	0,68	mg/L	100,0	0,10	10,00
5	Cambio de Temperatura	3,48	°C	55,0	0,10	5,50
6	Turbidez	195,84	NTU	5,0	0,08	0,40
7	Sólidos Totales Disueltos	372,81	% Sat.	51,0	0,08	4,08
Sumatoria					0,73	42,67
Clasificación ICA					REGULAR	58,45

Autor: Espinosa G.

5.5. Propuesta de un Sistema de Gestión de los Afluentes del Canal de Riego Tabacundo con fines de optimización.

La propuesta se basó en tres proyectos que generaron lineamientos y directrices en cuanto al manejo del recurso hídrico observándose en la tabla 21, 22 y 23.

Tabla 20. Proyecto de monitoreo de la cantidad y calidad de los recursos hídricos del canal de riego

PROYECTOS	O. GENERAL	DISEÑAR UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS AFLUENTES DEL CANAL DE RIEGO TABACUNDO DE LOS CANTONES CAYAMBE Y PEDRO MONCAYO CON FINES DE OPTIMIZACIÓN					
	O. ESPECÍFICO	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	INDICADOR DEL LOGRO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	RESPONSABLES	TIEMPO APROX. DE EJECUCIÓN EN MESES	COSTOS ESTIMADOS
	O.E.1.-Diseñar e implementar instrumentos y mecanismos de monitoreo para la cantidad de los recursos hídricos, su disponibilidad y sostenibilidad.	O1A1. Medir la cantidad de agua en la época seca y época lluviosa.	En el primer mes se dispondrá de un registro de caudales por organizaciones y junta de regantes	Registro de asistencia a reuniones de planificación, Numero de reuniones, Registro de medición de caudales	CODEMIA CPM- Juntas de Regantes- Municipio de Pedro Moncayo y Cayambe	24	6000
	O.E.2.-Implementar los mecanismos necesarios para la protección y monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de la parte alta.	O1A2. Realizar análisis físico-químico y microbiológico para determinar la calidad del agua del canal de riego.	En el primer bimestre se dispondrá de 5 análisis de agua con parámetros físico-químicos y microbiológicos	Informes de avances, Análisis de laboratorio, Documentos "Análisis ICA"	CODEMIA CPM- Juntas de Regantes	24	6000
	O.E.3.- Establecer un sistema de control y vigilancia de descargas de aguas contaminadas de quebradas hacia el canal Tabacundo.	O1A3. Establecer un registro de seguimiento y control de descargas de aguas grises y negras provenientes de quebradillas.	En el primer trimestre se dispondrá de un registro de seguimiento y control de descargas de aguas contaminadas por cada uno de las juntas de regantes	Registro georeferenciado de sectores con incidencias de descargas dadas por actividades antropogénicas, Fotografías, Denuncias	CODEMIA CPM- Juntas de Regantes- Municipio de Pedro Moncayo y Cayambe	24	2000
	O.E.4.- Caracterización de los sistemas de productivos agrícolas y pecuarios para identificación de posibles riesgos de contaminación antropogénica hacia el canal de riego Tabacundo.	O1A4. Aplicación de encuestas y georeferenciación de predios a usuarios para la identificación de los sistemas productivos por organización.	En el segundo semestre se contará con el estudio de los sistemas productivos que esten junto al canal de riego.	Encuestas realizadas, registro de asistencia de socialización del estudio, registro de encuestadores.	CODEMIA CPM	14	2500

Autor: Espinosa G.

Tabla 21. Proyectos de construcción de obras complementarias para el mejoramiento de la calidad del agua y gestión de riesgos por deslizamientos.

PROYECTOS	O. GENERAL	DISEÑAR UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS AFLUENTES DEL CANAL DE RIEGO TABACUNDO DE LOS CANTONES CAYAMBE Y PEDRO MONCAYO CON FINES DE OPTIMIZACIÓN					
	O. ESPECÍFICO	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	INDICADOR DEL LOGRO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	RESPONSABLES	TIEMPO APROX. DE EJECUCIÓN EN MESES	COSTOS ESTIMADOS
CONSTRUCCION DE OBRAS COMPLEMENTARIAS PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA	O.E.1. Realización del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de obras complementarias para mejoramiento de la calidad del agua.	O2A1. Contratación de una consultora para la realización del Estudio de Impacto Ambiental para las obras complementarias en el canal Tabacundo.	En el segundo trimestre se contará con el documento final del EIA para obras complementarias.	Listado de empresas consultoras interesadas, registro de profesionales a contratarse, registro de materiales y equipos a utilizarse.	Empresa Consultora-CODEMIA CPM	6	1500
	O.E.2. Construcción de obras civiles para disminución de microorganismos patógenos para la salud humana y especies vegetales.	O1A2. Construcción de dos tanques sedimentadores y cloradores para la disminución de microorganismos en los sectores de Tabacundo y La Esperanza.	En el cuarto trimestre se contará con el 100% de la implantación de obras civiles complementarias.	Registro de materiales por cada obra, registro de personas de obra civil, acta-entrega de infraestructura por contratistas.	CODEMIA CPM-GAD Provincial de Pichincha	14	8000
GESTIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTOS	O.E.1.-Diseñar e implementar instrumentos y mecanismos de monitoreo de deslizamientos en el trayecto del canal de riego Tabacundo.	O1A1. Medir la incidencia y el grado de afectaciones por deslizamientos en el canal Tabacundo	En el segundo trimestre se dispondrá de documentación en cuanto a riesgo provocados por deslizamientos en el canal.	Registro georeferenciado de zonas con deslizamiento y registro de áreas afectadas por deslizamientos.	CODEMIA CPM-Juntas de Regantes-Municipio de Pedro Moncayo y Cayambe	24	1000
	O.E.2.-Implementar los mecanismos necesarios para prevención y mitigación de deslizamientos en el trayecto del canal de riego.	O1A2. Diseñar los estudios para las obras complementarias para la disminución de deslizamientos en el canal de riego.	En el Tercer trimestre se dispondrá del diseño, estudios constructivos y presupuestarios para la prevención y mitigación de deslizamientos.	Informes de avances, documentos constructivos y presupuestarios	CODEMIA CPM-Juntas de Regantes-GAD de Cayambe y Pedro Moncayo	24	1500

Autor: Espinosa G.

Tabla 22. Proyecto de gestión participativa comunitaria del uso eficiente del agua.

PROYECTOS	O. GENERAL	DISEÑAR UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS AFLUENTES DEL CANAL DE RIEGO TABACUNDO DE LOS CANTONES CAYAMBE Y PEDRO MONCAYO CON FINES DE OPTIMIZACIÓN					
	O. ESPECÍFICO	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	INDICADOR DEL LOGRO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	RESPONSABLES	TIEMPO APROX. DE EJECUCIÓN EN MESES	COSTOS ESTIMADOS
GESTIÓN PARTICIPATIVA COMUNITARIA DEL USO EFICIENTE DEL AGUA	O.E.1.- Caracterización de los sistemas de productivos agrícolas y pecuarios para identificación de posibles riesgos de contaminación antropogénica hacia el canal de riego Tabacundo.	01A1. Aplicación de encuestas y georeferenciación de predios a usuarios para la identificación de los sistemas productivos por organización.	En el segundo semestre se contará con el estudio de los sistemas productivos junto al canal de riego.	Encuestas realizadas, registro de asistencia de socialización del estudio, registro de encuestadores.	CODEMIA CPM-GAD Provincial de Pichincha	14	2500
	O.E.2.- Controlar el uso ilegal e inadecuado del recurso agua, mediante la implementación de medidas de vigilancia.	01A2. Establecer un sistema de vigilancia para controlar el desperdicio del agua en verano.	En el primer trimestre se dispondrá de un registro de seguimiento de desperdicio de agua por sectores.	Registro georeferenciado de descargas dadas por industrias, Fotografías, Denuncias	CODEMIA CPM- Juntas de Regantes- Municipio de Pedro Moncayo y Cayambe	24	1000

Autor: Espinosa G.

6. CONCLUSIONES

- El agua del canal de riego Tabacundo presentó características químicas buenas para uso agrícola y no tuvo restricción en su uso para los cultivos, por lo que se deben tomar medidas para seguir preservando y conservando la calidad de la misma.
- Los caudales del canal de riego Tabacundo tiene rangos máximos de 750 L/s en el sector del Calvario y mínimos de 40 L/s en Tomalón, siendo variables, debido a condiciones ambientales y época del año.
- Las características microbiológicas del agua de riego en relación a coliformes totales se constató una carga microbiana mínima de 88 NMP/100 mL en el sector de Calvario y máximas de 24720 NMP/100 mL en Tomalón. En coliformes fecales se reflejó cargas microbianas mínimas en el sector de Calvario, Guanes, La Chimba, San Isidro de Cajas y San José Alto por debajo de los 1000 NMP/100 mL estando dentro de la norma, mientras que Tomalón tiene una carga microbiana de 4960 NMP/100 mL, no cumpliendo el Acuerdo Ministerial 097.
- El pH del agua de riego tiene rangos desde 6,9 unidades en la Chimba hasta 8 unidades en Guanes, cumpliendo los límites permisibles del acuerdo ministerial 097.
- La Conductividad eléctrica tiene valores mínimos de 0,09 milimhos/cm en el Calvario y máximos de 0,17 milimhos/cm en San José Alto con categorización de ninguno, cumpliendo la normativa ambiental.
- La Turbidez del agua de riego tiene rangos mínimos de 10 NTU en el calvario y máximos de 196 NTU en Tomalón, se evidenció que en San José Alto y Tomalón tiene niveles muy elevados, esto es debido a la acumulación de sedimentos desde la parte de San Isidro de Cajas.

- En los Sólidos Totales Disueltos tuvo rangos mínimos de 95 mg/L en el Calvario y máximos 932 mg/L en el sector de Tomalón considerándose dentro del Acuerdo Ministerial 097 con criterio de moderado, cumpliendo la norma ambiental.
- En la clasificación del agua según la Norma Riverside que relaciona la conductividad eléctrica y el RAS nos generó criterios de salinización Bajo de clase C1 y criterios de sodificación Bajo de clase S1.
- En los Indicadores de la Calidad del Agua ICA-ISON modificado se evidenció calificaciones de 87,26 en el Calvario, 84,33 en Guanés y 71,33 en la Chimba siendo una calidad de agua buena. En San Isidro de Cajas con 68,48, San José Alto con 66,27 y Tomalón con 58,45 con calificaciones de calidad regular.

7. RECOMENDACIONES

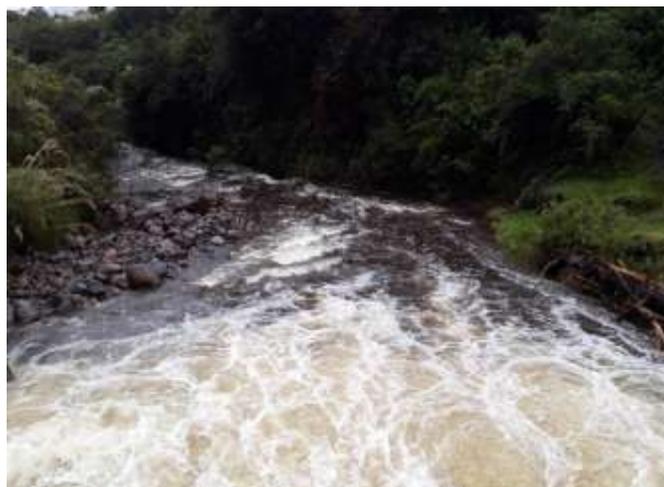
- Seguir monitoreando las características físico-químicas del recurso hídrico para determinar la calidad del agua en los mismos sitios de muestro con la finalidad de generar una base de datos con la finalidad de estimar la calidad del agua de uso agrícola en el canal de riego.
- Realizar la medición de la cantidad de agua en los ríos que abastecen al canal principal y redes secundarias en la época seca y lluviosa, que permita monitorear y comparar el estado de los recursos hídricos.
- En posteriores investigaciones complementar el Índice de Calidad de Agua “ICA-NSF” con parámetros de DBO₅ y Oxígeno Disuelto que no fueron evaluados en este estudio.

- Para reducir los problemas de carácter social-organizacional y ambiental se recomienda ejecutar la propuesta elaborada en este estudio que consta de proyectos basados en la solución a los principales problemas identificados.
- Establecer mecanismos de gestión a nivel comunitario por servicios ecosistémicos para establecer un porcentaje adicional en el pago de la tarifa del agua de riego siendo destinado únicamente a la conservación de las fuentes de agua y talleres de concientización.
- Gestionar ante el GAD Provincial, GAD Cantonal y ONGs el apoyo para la ejecución de la propuesta elaborada en este estudio.

8. ANEXOS



Anexo 1. Páramos del Parque Nacional Cayambe Coca. Espinosa, 2020



Anexo 2. Río La Chimba. Espinosa, 2020



Anexo 3. Bocatoma de hormigón del sector Guanes. Espinosa, 2020



Anexo 4. Regla de medición de caudales del sector Guanes, Espinosa, 2020.

REFERENCIAS CITADAS

- Arcos Pulido, M. D. P., Ávila de Navia, MSC, S. L., Estupiñán Torres, MSC, S. M., & Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>
- Ayers, R.S., W. D. W. (1994). *Water Quality for agriculture FAO Irrigation and Drainage: Vol. Rew 1* (p. 29). <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm>
- Ayora, M. (2010). Tema: Análisis De Aguas. *Departamento de Química Física y Analítica Universidad de Jaén*, 11. [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica analitica ambiental/tema 10.pdf](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica_analitica_ambiental/tema_10.pdf)
- Becker, F. G. (2015). *El agua de riego: Criterios de Interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción* (pp. 1–27).
- Benítez, L. (2009). *Implementación de prácticas higiénicas para el mejoramiento de la calidad microbiológica de la leche saborizada en la planta procesadora de soya instalada en las Malvinas del suburbio de Guayaquil*. ESPOL.
- Bonet, C., & Ricardo, M. P. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 19–23.
- Campos, C. (2008). *Indicadores de contaminación fecal en aguas. En CYTED, Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. 224–228.
- Carvajal, J. (2019). *Modelo de gestión público comunitario del sistema de riego Cayambe-Pedro Moncayo* (Primera).
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111–124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>

- ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A. (2012). *Estudio de calidad de fuentes utilizadas para el consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurimac y Cuzco*.
<http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Encalada, G. L. R. (2006). Pago por servicios ambientales (PSA) del Recurso Hídrico como una alternativa de conservación. In *FLACSO-Tesis*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Grande, M., & Jaltepeque, E. (2008). *Servicio Nacional de Estudios Territoriales Servicio Hidrológico Nacional Servicio Nacional de Estudios Territoriales Servicio Hidrológico Nacional*. 503.
- Hunt, F. (2012). *pH, Conductividad electrica para los impresores*.
<https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/AquapHCond.pdf>
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico). (2017). Manual de medición de caudales. *Icc*, 18. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- James, A. (2002). *Criterios de Interpretación de la calidad Agronómica de las Aguas de Riego*. Junio.
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en Mexico*. Limusa.
https://books.google.es/books?id=8MVxlyJGokIC&dq=La+contaminación+ambiental+en+México+&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Korbut, S. (2015). Introducción. In *Contaminacion del agua* (p. 53).
<http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf>
- Lobo, E., Heinrich, C., Schuch, M., Wetzel, C., Dupont, A., Da Costa, A., & Ector, L. (2016). Índice Trófico de qualidade da agua: Guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros. *EDUNISC*, 8.

- Lobo, E., Schuchu, M., Heinrich, C., Da Costa, A., Dupont, A., Wetzel, C., & Ector, L. (2015). *Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI)*. 6.
- MAE. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua. *TULAS Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*, 8–9.
- Manacorda, A. (2007). Técnica de fermentación en tubo múltiple (NMP) para miembros del grupo de los coliformes: Colimetría. In *Microbiología ambiental* (pp. 1–7).
- Nieves, M., Ozorio, C., Pérez, A., Alfayate, J., & Rodriguez, F. (2002). *Contaminacion ambiental, una visión desde la química*. Paraninfo.
- Ochoa, M. (2013). *Plan De Gestión Integral Del Riego En La Zona De Influencia De La Acequia Tabacundo*. 187. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4775>
- Olías Álvarez, M., Cerón García, J., & Fernández, I. (2004). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 37, 111–113.
- Olivas, E., Flores, J., Serrano, M., Soto, E., Iglesias, J., Salazar, E., & Fortis, M. (2011). Fecal indicators and pathogens in water discharged into the Rio Grande. *Terra Lationoamericana*, 29(4), 449–457.
- Pulido-Velazquez, M., Cabrera Marcet, E., & Garrido Colmenero, A. (2014). Economía del agua y gestión de recursos hídricos. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 95. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3160>
- Ramos, R. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Plaza y Valdés.
- Rodríguez Zamora J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125–134.
- Román, S., Aguilera, M., & Estay, H. (2001). *Libro Azul* (Segunda). SOCHIMICH

COMERCIAL S.A.

- Samboni, R. N. E., Carvajal, E. Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.
- Sánchez, A. (2014). *Aguas Residuales: Realidad y perspectivas* (p. 10).
- Sharma, S., & Chhipa, R. C. (2012). Evaluation and optimization of water quality index for ground water source of North West Jaipur and agglomerates. *International Journal of Chemical Sciences*, 10(4), 2297–2305.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 13. <https://doi.org/10.1117/12.533904>
- Talero, S. (2004). La evaluación ambiental como herramienta para una gestión sostenible de los recursos hídricos en países en desarrollo (Tesis). *Universidad Nacional de Colombia*, 21–37.