



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA), APLICADOS AL MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO LA QUEBRADA, EL FRUTAL

Angel Oseas Ajcabul Raxhón

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA), APLICADOS AL MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO LA QUEBRADA, EL FRUTAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANGEL OSEAS AJCABUL RAXHÓN

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA), APLICADOS AL MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO LA QUEBRADA, EL FRUTAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de noviembre de 2015.

Angel Oseas Ajcabul Raxhón

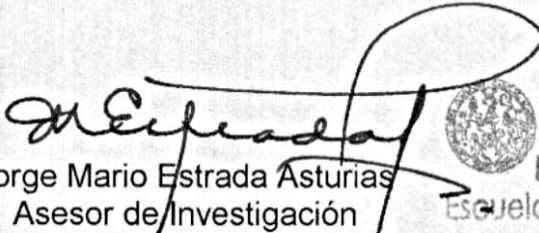



Guatemala 08 de agosto de 2016

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado satisfactoriamente el informe final del trabajo de graduación de Angel Oseas Ajcabul Raxhón titulado: "Análisis Comparativo entre el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada, El Frutal".

Sin otro particular, me suscribo a usted.


Jorge Mario Estrada Asturias
Asesor de Investigación
Colegiado No.685
Asturiasjm@gmail.com

 Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico Col. 685
Profesor Titular
Escuela de Ing. Química USAC



Guatemala, 23 de septiembre de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.052.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **086-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Angel Oseas Ajcabul Raxhón.**
Identificado con número de carné: **2012-12888.**
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

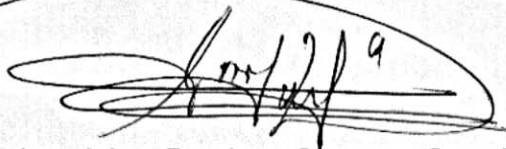
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) APLICADOS AL MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO LA QUEBRADA, EL FRUTAL

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Jaime Domingo Carranza González
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.060.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **ANGEL OSEAS AJCABUL RAXHÓN** titulado: **"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA), APLICADOS AL MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO LA QUEBRADA, EL FRUTAL"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

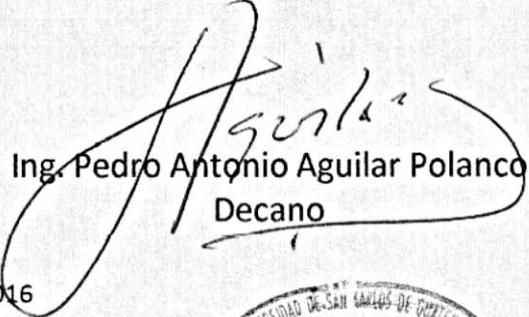
Guatemala, octubre 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA), APLICADOS AL MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO LA QUEBRADA, EL FRUTAL**, presentado el estudiante universitario: **Angel Oseas Ajcabul Raxhón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme su gracia para poder alcanzar este éxito tan anhelado.
Mis padres	Diego Ajcabul y Elena Raxhón, por su apoyo incondicional y ser de inspiración para mi vida.
Mis hermanas	Sandy Ajcabul Raxhón y Wendy Ajcabul Raxhón, por ser un ejemplo a mi vida para alcanzar siempre lo mejor.
Mis amigos	Por formar parte de este logro, ser influencia positiva para mi vida y por todos los buenos momentos que pasamos juntos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por su amor permanente y fidelidad en todo momento de mi vida.
Mi familia	Por todo el apoyo incondicional y muestras de afecto en todo momento.
Mis amigos de la Facultad de Ingeniería	Por su apoyo desde el primer día en la universidad, por compartir y estar presentes en cada logro y fracaso conmigo.
Ing. Jorge Mario Estrada Asturias	Por ser mi asesor de investigación y compartir su conocimiento para la elaboración del mismo.
Inga. Beatriz Ramírez	Por gestionar la parte experimental de esta investigación y su apoyo para la elaboración del mismo.
Facultad de Ingeniería	Especialmente a la Escuela de Ingeniería Química por darme las herramientas necesarias para formar las bases de mi conocimiento profesional.
Universidad San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y el lugar en donde se forman los mejores ingenieros.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Calidad del agua	3
2.1.1. Características físicas del agua	4
2.1.1.1. Turbiedad	4
2.1.1.2. Sólidos totales	5
2.1.1.2.1. Sólidos disueltos	5
2.1.1.2.2. Sólidos suspendidos	5
2.1.1.3. Color	5
2.1.1.4. Olor y sabor	6
2.1.1.5. Temperatura	6
2.1.2. Características químicas del agua	7
2.1.2.1. pH	7
2.1.2.2. Oxígeno disuelto (OD)	7
2.1.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)	8

	2.1.2.4.	Nitratos y nitritos.....	8
	2.1.2.5.	Fosfatos.....	9
	2.1.3.	Características biológicas del agua.....	10
	2.1.3.1.	Coliformes totales.....	10
2.2.		Índices de calidad	11
	2.2.1.	Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF).....	11
2.3.		Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)	13
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	15
3.1.		Variables	15
3.2.		Delimitación del campo de estudio.....	16
3.3.		Recursos humanos disponibles	17
3.4.		Recursos materiales disponibles.....	17
	3.4.1.	Equipo	17
	3.4.2.	Cristalería	18
3.5.		Técnica cualitativa o cuantitativa.....	18
3.6.		Recolección y ordenamiento de la información.....	18
	3.6.1.	Ubicación de los puntos de muestreo	19
	3.6.2.	Proceso de recolección de muestras	19
	3.6.3.	Fase de reconocimiento del área	19
	3.6.4.	Selección de puntos de muestreo	19
	3.6.5.	Fase de muestreo en época lluviosa	20
	3.6.6.	Fase de muestreo en época seca	20
3.7.		Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	20
	3.7.1.	Procesamiento de la información para el cálculo del ISQA	23
	3.7.2.	Procesamiento de la información para el cálculo del ICA.....	24

3.8.	Análisis estadístico	26
4.	RESULTADOS	27
4.1.	Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA).....	27
4.2.	Índice de Calidad del Agua (ICA)	28
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	31
	CONCLUSIONES	35
	RECOMENDACIONES	37
	BIBLIOGRAFÍA	39
	APÉNDICES	41
	ANEXOS	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de La Quebrada El Frutal	16
2.	Comportamiento del ISQA en época seca y en época lluviosa	28
3.	Comportamiento del ICA en época seca y época lluviosa	29

TABLAS

I.	Variables y peso específico que constituyen el ICA-NSF	12
II.	Lista de variables medibles para el cálculo de índices de calidad	15
III.	Equipo utilizado para la toma de muestras	17
IV.	Cristalería utilizada.....	18
V.	Parámetros físicos	20
VI.	Parámetros químicos	21
VII.	Parámetros biológicos.....	21
VIII.	Datos para el cálculo del ISQA	22
IX.	Datos para el cálculo del ICA	22
X.	Ponderación de parámetros para el ICA	25
XI.	Diferencias entre muestras emparejadas.....	26
XII.	Resultados de análisis estadístico	26
XIII.	Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)	27
XIV.	Índice de Calidad del Agua (ICA)	29
XV.	Índices de calidad del agua por época de muestreo y general	30

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
A	Factor A ISQA
B	Factor B ISQA
C	Factor C ISQA
D	Factor D ISQA
T	Factor T ISQA
°C	Grados Celsius
H₁	Hipótesis alternativa
H₀	Hipótesis nula
L	Litros
μ	Media
μS	Microsiemens
mg	Miligramos
mL	Mililitros
NMP	Número más probable
%	Porcentaje
%OD	Porcentaje de saturación de oxígeno
UNT	Unidad nefelométrica de turbidez
Cf_i	Valor de coliformes fecales para la muestra i
DB_i	Valor de DBO para la muestra i
DQ_i	Valor de DQO para la muestra i
Fi	Valor de fosfatos para la muestra i

Y_i	Valor de ICA i para la muestra i
X_i	Valor de ISQA i para la muestra i
N_i	Valor de Nitratos para la muestra i
OD_i	Valor de oxígeno disuelto para la muestra i
P_i	Valor de pH para la muestra i
SS_i	Valor de sólidos totales para la muestra i
T_i	Valor de temperatura para la muestra i

GLOSARIO

Coliformes fecales	El número más probable hace referencia a la cantidad de coliformes presentes, en especial Escherichia Coli indicador de desechos fecales.
Conductividad	Indica la habilidad del agua para transportar energía eléctrica.
DBO	Es la demanda bioquímica de oxígeno para que los organismos degraden materia orgánica.
DQO	La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer materia orgánica e inorgánica del agua.
Fosfatos	Indica la cantidad de fósforo presente.
Nitratos	Indica la cantidad de nitrógeno en agua.
NSF	National Sanitation Foundation
Oxígeno disuelto	Indica la cantidad de oxígeno disuelto en agua y puede ser un indicador inmediato de contaminación.
pH	En una escala de 1 a 14, indica el grado de acidez del agua a 25°C

Sólidos suspendidos	Es la cantidad de materia no disuelta en el agua.
Temperatura	Es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.
Sólidos disueltos totales	Es la cantidad de materia que se encuentra disuelta en solución.
Turbiedad	Hace referencia a la cantidad de materia en suspensión y materia coloidal presente.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar si el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) tiene una diferencia significativa con el Índice de Calidad del Agua (ICA), se realizó un análisis estadístico mediante datos pareados de muestras tomadas en dos épocas distintas: la época seca y la época lluviosa.

Se determinó el estado actual del río La Quebrada, cuya fuente principal de contaminación son desechos domésticos y desechos industriales cercanos. La calidad del agua del río se determinó usando dos diferentes índices de calidad, uno de ellos basado en cinco parámetros fisicoquímicos y el otro en nueve parámetros físicos, químicos y biológicos.

Se tomaron ocho muestras, cuatro de ellas en época lluviosa y las otras cuatro en época seca; esto con el fin de abarcar dos períodos prevalecientes durante todo el año y obtener un comportamiento general.

La calidad del agua obtenida mediante el ISQA tuvo un aumento al pasar de época seca a época lluviosa, aunque no aumentó lo suficiente para dejar de ser de mala calidad. La calidad obtenida mediante el ICA aumentó, al pasar de época lluviosa a época seca, pero no dejando de ser clasificada como de mala calidad.

En general, la calidad del río fue mala de forma permanente durante todo el año, lo cual involucra que el río La Quebrada se encuentra contaminado con materia orgánica, desechos domésticos e industriales; tiene procesos de fermentación, mal olor, espumas y coloración no natural.

El análisis estadístico mostró que no hay diferencia significativa entre el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA), pero existe una mejor aproximación en los resultados analizados en época lluviosa y que disminuye en la época seca.

OBJETIVOS

General

Determinar si existe diferencia significativa entre el uso del Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales, en el río La Quebrada, El Frutal.

Específicos

1. Determinar el estado del río mediante el uso del Índice de Calidad del Agua (ICA) en época lluviosa y en época seca.
2. Determinar el estado del río mediante el uso del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) en época lluviosa y en época seca.
3. Comparar y determinar, estadísticamente, si existe diferencia significativa entre el uso del Índice de Calidad del Agua y el Índice Simplificado de Calidad del Agua.

Hipótesis

Los resultados obtenidos con el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), no presentan diferencia significativa. Esto con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa en las medias obtenidas por el ICA y las medias obtenidas por el ISQA.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alternativa:

Sí existe diferencia significativa en las medias obtenidas por el ICA y las medias obtenidas por el ISQA.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

INTRODUCCIÓN

El deterioro constante de los cuerpos de agua dentro de la Ciudad de Guatemala incide directamente en un riesgo sanitario y en la forma de mitigar los efectos colaterales de los desechos industriales y domésticos. Para el control y mitigación de los daños a los cuerpos de agua, surgen como una herramienta, los índices de calidad del agua, los cuales dan una referencia del estado del agua sometida a evaluación.

Dentro de los principales índices de calidad del agua aplicados al monitoreo de aguas superficiales, se encuentra el Índice de Calidad del Agua (ICA), que incluye parámetros físicos, químicos y biológicos y el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), que toma parámetros fisicoquímicos para su determinación.

El estudio sobre la confiabilidad de los resultados obtenidos con un índice simplificado que toma únicamente 5 parámetros fisicoquímicos, en comparación con un índice que abarca parámetros fisicoquímicos y biológicos, tiene importancia para las entidades públicas con recursos limitados, útiles para estudios sobre las fuentes de aguas dentro de la ciudad de Guatemala, además genera una alternativa económica para conocer el estado de las fuentes de agua.

1. ANTECEDENTES

Actualmente en Guatemala no se cuenta con un análisis comparativo entre la variación de los resultados obtenidos con el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice Simplificado de Calidad del agua (ISQA), pero si se han realizado investigaciones para determinar la calidad de agua con el uso de índices de calidad a distintos cuerpos de agua.

En el año 2014 se publicó un artículo científico por Mónica Lisett Aldana Aguilar y Elvis Edison Zacarias Laynes de la Universidad San Carlos de Guatemala, del Centro Universitario de Quiché, acerca de la determinación de la calidad del agua del río Cucabaj, ubicado en el departamento de Quiché. Para la determinación de la calidad del río Cucabaj se utilizó el índice propuesto por la National Sanitation Foundation, de Estados Unidos.

En noviembre del 2008 el Ing. Jorge Leonel Rivera Méndez realizó la investigación *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua en la parte alta del Río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*, asesorado por el MSc. Ing. Pedro Cirpiano Saravia Celis de la Universidad San Carlos de Guatemala, en el cual se describe la calidad del agua del río y explica su comportamiento por medio de modelos basados en los parámetros físicos, químicos y biológicos.

En marzo de 2013, Carlos Daniel Gómez Chicas realizó la investigación *Determinación de la calidad del agua para consumo humano, industrial, agrícola y recreacional suministrada en el municipio de San Andrés Itzapa, Chimaltenango*, asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias de la

Universidad San Carlos de Guatemala. Esta investigación se basa en el análisis físico, químico y biológico para determinar la calidad del agua para cuatro diferentes usos y compararlos con la norma Coguanor NGO 29 001.

A nivel internacional, entre las investigaciones relacionadas con los índices de calidad ISQA e ICA se encuentran las siguientes:

En el año 2008 se realizó la publicación *Índices de calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*, en la Revista de Ingenierías de la Universidad de Medellín en Colombia y trata acerca de la importancia, utilidad, origen y los parámetros necesarios para la aplicación de los índices de calidad del agua. Los autores de la publicación son: PhD. Patricia Torres de la Universidad de Sao Paulo Brasil, MSc. Camilo Hernán Cruz de la Universidad del Valle de Colombia y la Inga. Paola Janeth Patiño de la Universidad del Valle de Colombia.

En septiembre de 1997 se publicó el informe *Análisis y valoración del Índice de calidad del agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez*, realizado por Roberto Behar G, profesor titular del Departamento de Producción e Investigación de Operaciones de la Universidad del Valle en Colombia y María del Carmen Zúñiga de Cardozo, profesora titular del Departamento de Procesos Bioquímicos y Biológicos de la Universidad del Valle en Colombia. El informe trata acerca de la evaluación de la calidad del Río Cali y el Río Meléndez, utilizando el ICA de la NSF y adecuándolo a las aguas superficiales en Colombia.

2. MARCO TEÓRICO

Las fuentes de aguas superficiales constituyen un sistema importante para los seres humanos, pues permiten el abastecimiento para las distintas actividades; estas actividades, a su vez, causan alteración y deterioro de las mismas fuentes de agua. Generalmente las aguas superficiales están sometidas a contaminación de forma natural (materia orgánica natural, arrastre de materiales y material disuelto) y sumado a esto, también son afectadas por la contaminación proveniente de desechos domésticos, industriales, actividades agrícolas y ganaderas.

El deterioro marcado de los cuerpos de agua hace necesaria la evaluación de los mismos con el fin de tomar acciones de control y mitigación, así es como surge una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico, como lo son los índices de calidad del agua que se definen como una expresión simple de una combinación de parámetros que sirven para calificar la calidad del agua.

2.1. Calidad del agua

El concepto de calidad del agua es relativo y es acorde al uso que se le dará, pues si se habla de agua apta para un proceso industrial, puede ser no apta para consumo humano o para el uso en laboratorios químicos debido a la cantidad de sustancias presentes.

Para calificar la calidad del agua se debe especificar el uso que se le dará y con ello decidir si es apta o no.

2.1.1. Características físicas del agua

Son características físicas del agua aquellas que pueden ser perceptibles por los sentidos y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y la aceptabilidad del agua. Dentro de las características físicas del agua podemos encontrar las siguientes:

Turbiedad

Sólidos disueltos

Sólidos suspendidos

Color

Olor

Sabor

Temperatura

2.1.1.1. Turbiedad

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión.¹

La turbiedad es originada por material en suspensión o coloides que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas de tamaño considerable.

¹ROJAS, Jairo Alberto Romero. *Calidad del Agua*. p.107.

La turbiedad es uno de los parámetros más útiles en el control de un proceso; el incremento de la turbiedad del agua clarificada indicará al operador de forma rápida si es necesario investigar sobre las posibles causas del problema.

2.1.1.2. Sólidos totales

Corresponden a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C. Equivale a la suma de los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos.

2.1.1.2.1. Sólidos disueltos

También llamados como residuo filtrable y son los que se obtienen por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.

2.1.1.2.2. Sólidos suspendidos

También llamado residuo no filtrable o material no disuelto. Corresponden a los sólidos presentes en agua residual, exceptuando los sólidos solubles y los que tienen un fino estado coloidal. Son considerados como sólidos suspendidos, aquellos sólidos cuyo tamaño es superior a un micrómetro y son retenidos mediante filtración.

2.1.1.3. Color

Esta característica es debido a la turbiedad o bien por propiedades independientes de ella. Las causas más comunes de color se deben a la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, material orgánico en

diferentes estados de descomposición, presencia de taninos, ácidos húmicos, lignina y desechos industriales.

Existen dos tipos de color, el color aparente y el color verdadero. El color verdadero es el color de la muestra, una vez que se ha removido su turbidez y el color aparente. Es el que se produce por sustancias en solución, coloides y materiales suspendido.

2.1.1.4. Olor y sabor

Estas son características estrechamente relacionadas y son el principal motivo de rechazo por parte del consumidor. Muchas son las causas de los olores y sabores del agua; entre las principales se encuentra la materia orgánica, hierro, manganeso fenoles, aceites, sulfatos de sodio, productos de cloro, algas, hongos etc.

2.1.1.5. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes porque se relaciona con la actividad biológica, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la precipitación de compuestos, la floculación, sedimentación, filtración etc. La temperatura del agua es afectada principalmente por factores ambientales y, por lo tanto, es un dato necesario para determinar la calidad del agua.

2.1.2. Características químicas del agua

Debido a que el agua es un solvente universal puede contener cualquier elemento que a su vez es de importancia en las propiedades químicas del agua pues participan en una serie de reacciones que le dan ciertas características como su alcalinidad, dureza, pH, cantidad de oxígeno para oxidar materia orgánica e inorgánica, entre otras.

2.1.2.1. pH

El pH es una medida de acidez, la cual se define como la capacidad para neutralizar bases, es decir, la capacidad para reaccionar con iones hidroxilo. La determinación de la acidez del agua es importante debido a que algunos fenómenos, como las incrustaciones en las redes de distribución y la corrosión, son debido al grado de acidez del agua. Por lo general, las aguas de origen natural y no contaminadas exhiben un pH de 5 a 9.

2.1.2.2. Oxígeno disuelto (OD)

La determinación de la cantidad de oxígeno disuelto es muy importante debido a que es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas y anaeróbicas en el agua, principalmente su existencia proviene del aire. Se puede considerar la cantidad de oxígeno disuelto como un indicador de contaminación debido a que si el valor es muy bajo significa que hay condiciones sépticas de materia orgánica o bien una intensa actividad microbiana. No existe una cantidad de oxígeno disuelto ideal ya que existen aspectos positivos y negativos de su presencia; por ello es preferible que el OD esté cercano al punto de saturación.

2.1.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para oxidar materia orgánica e inorgánica sin que exista la intervención de organismos vivos, es decir, un parámetro analítico de polución que mide la cantidad de material orgánico en una cantidad de agua, mediante la oxidación química. En las porciones de agua donde se descargan desechos domésticos o desechos industriales, la cantidad de material orgánico se eleva considerablemente y por lo tanto también la DQO, en comparación con las aguas no contaminadas.

2.1.2.4. Nitratos y nitritos

El nitrógeno presente en agua es un nutriente muy importante para el desarrollo de animales y plantas acuáticas. Cuando una porción de agua se encuentra muy contaminada, el nitrógeno presente se encuentra como nitrógeno amoniacal, pero puede ser oxidado por la cantidad de oxígeno disuelto a nitratos y nitritos, esto depende también del pH del agua y la temperatura. Desde el punto de vista de potabilidad, la cantidad de nitratos no debe ser mayor a 50mg/L debido a que resulta perjudicial para la salud.

En general, los nitratos (sales de ácido nítrico) son muy solubles en agua debido a su polaridad; el material nitrogenado tiende a transformarse en nitratos. Los nitritos (sales de ácido nitroso) se forman principalmente de la oxidación bacteriana incompleta de nitratos o bien por reducción bacteriana. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados o por contaminación debido a la acumulación de excretas humanas o animales, contribuyen a la concentración de nitratos en los cuerpos de agua.

Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, es difícil establecer cuál es el nivel de una dosis nociva.

Los nitritos tienen mayor efecto nocivo que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no se presentan niveles mayores de 1 mg/L y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado.²

2.1.2.5. Fosfatos

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, pero un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de plantas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

El empleo de detergentes, los cuales contienen grandes cantidades de fósforo, ha aumentado el contenido de fósforo en las aguas residuales domésticas y ha contribuido al problema del incremento del mismo en las fuentes receptoras. En algunos suministros de agua se usan polifosfatos como medio de control de corrosión.

El fósforo en aguas existe de muchas formas, las cuales se han calificado de distintas maneras, de acuerdo con los métodos de su determinación, lo que ha contribuido a crear confusión sobre la terminología que se debe usar al respecto.³

² VARGAS, Lidia de. *Tratamiento de aguas para consumo humano. Manual I: Tomo 1.* p.40.

³ *Ibid.* p.169

El fósforo en aguas se encuentra de la siguiente manera:

- Ortofosfatos
- Polifosfatos: pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos
- Fosfatos orgánicos

2.1.3. Características biológicas del agua

El agua contiene suficientes nutrientes para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchos de estos microorganismos provienen del polvo transportado por el aire, animales, material en descomposición, fuentes minerales, plantas, y materia fecal.

La transmisión de microorganismos dañinos a la salud (patógenos) a través del agua, ha sido uno de los medios de expansión de enfermedades graves causando pandemias. Algunos análisis necesarios para evaluar las características biológicas del agua se basan en la determinación de coliformes fecales.

2.1.3.1. Coliformes totales

Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal.

Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las entero bacteriáceas. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en un lapso de 24-48 horas y producir ácido y gas. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*. De este grupo, la *Escherichia* y

ocasionalmente la *Klebsiella* tienen la capacidad de fermentar la lactosa, no sólo a las temperaturas indicadas, sino también a 44,5 °C. A los miembros de este grupo se les denomina coliformes termo tolerantes (fecales).

Se denomina coliformes termo tolerante a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Por este motivo, antes recibían la denominación de coliformes fecales. Estos coliformes, generalmente, no se multiplican en los ambientes acuáticos.⁴

2.2. Índices de calidad

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de las características químicas, físicas y biológicas del agua en función de su calidad en estado natural o para un uso específico. Un índice de calidad del agua expresa la calidad de un recurso hídrico mediante el uso de parámetros de medición de calidad del agua y permite mostrar la variación espacial y temporal de las características del agua mediante un método simple y conciso identificando tendencias del agua, determinando áreas problemáticas por contaminación y permitiendo una fácil interpretación

2.2.1. Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) de la National Sanitation Foundation (NSF), fue concebido con base a las características de los ríos norteamericanos.

⁴WACHSMAN, M. Et al. *Aplicación de diferentes técnicas de recuento para bacterias de importancia sanitaria*. p.25.

Las variables que involucra y los pesos que asigna a cada una de las características, corresponden a la problemática específica de contaminación, la naturaleza de sus desechos, sus políticas públicas, sus normas y su idiosincrasia.

Intentando disminuir a subjetividad, este índice fue desarrollado usando un procedimiento basado en el conocido método de Delphi, que consistió en combinar la opinión de un conjunto de expertos de todo Estados Unidos. Las características que utiliza el ICA-NSF en conjunto, con su peso específico, son las siguientes:

Tabla I. **Variables y peso específico que constituyen el ICA-NSF**

Característica	Unidad	Peso [%]
Temperatura	°C	10
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	17
DBO	mg O ₂ /L	10
Sólidos disueltos totales	mg/L	8
Turbiedad	UNT	8
Fosfatos	mg PO ₄ /L	10
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	10
pH	unidades	12
Coliformes fecales	NMP/100mL	15

Fuente: DE CARDOZO, María del Carmen Zúñiga. *Análisis y Valoración del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez*. p. 18-19.

La ponderación del ICA va desde 0 (Calidad muy mala) a 100 (excelente calidad).

2.3. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

Es un índice que surge en España en 1982 para las cuencas de Cataluña que se basa en 5 parámetros fisicoquímicos planteado para el uso de 6 casos específicos, dentro de los cuales destaca el uso para consumo humano.

Este índice proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad del agua y necesita ser complementado con otros índices para una visión más amplia de la calidad del agua. Los 5 parámetros fisicoquímicos para la determinación del ISQA son:

- DQO [mg/L]
- Sólidos suspendidos totales [mg/L]
- Oxígeno disuelto [mg/L]
- Conductividad [μ S/cm]
- Temperatura [°C]

La ponderación del ISQA va de 0 (calidad mínima) hasta 100 (calidad máxima).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Tabla II. Lista de variables medibles para el cálculo de índices de calidad

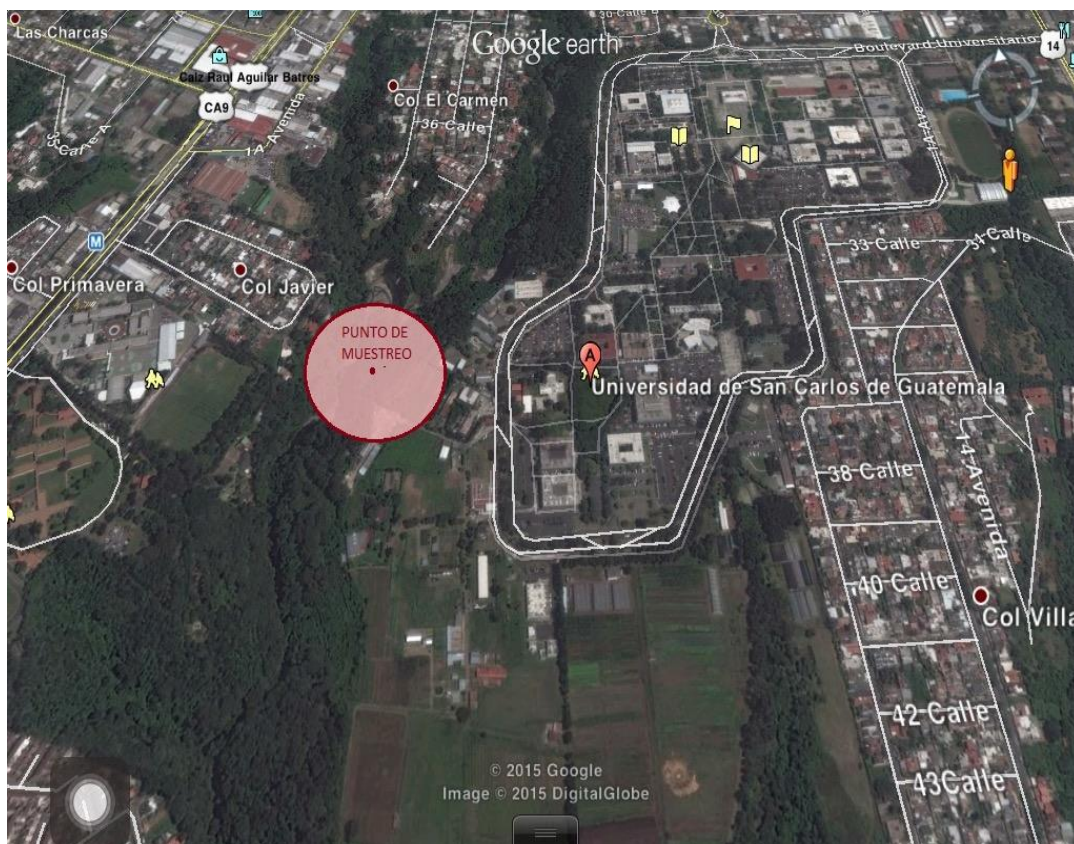
Variable	Unidad de medida	Descripción
Oxígeno disuelto	mg/L	Indica la cantidad de oxígeno disuelto en agua y puede ser un indicador inmediato de contaminación.
pH	Unidades de pH	En una escala de 1 a 14 indica el grado de acidez del agua
DBO	mg/L	Es la demanda bioquímica de oxígeno para que los organismos degraden materia orgánica.
Nitratos	mg/L	Indica la cantidad de nitrógeno en agua.
Coliformes Fecales	NMP/100mL	El número más probable hace referencia a la cantidad de coliformes presentes, en especial Escherichia Coli indicador de desechos fecales.
Temperatura	°C	Muestra la temperatura del agua al momento de tomar la muestra
Turbiedad	UNT	Hace referencia a la cantidad de materia en suspensión y materia coloidal presente.
Sólidos disueltos totales	mg/L	Es la cantidad de materia que se encuentra disuelta en solución
Fosfatos	mg/L	Indica la cantidad de fósforo presente.
Conductividad	μS/cm	Indica la habilidad del agua para transportar energía eléctrica.
Sólidos suspendidos	mg/L	Es la cantidad de materia no disuelta en el agua.
DQO	mg/L	La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer materia orgánica e inorgánica del agua.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se limita al uso del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) aplicado al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada, El Frutal, en la zona 12 capitalina, durante el período de época lluviosa y el período de época seca.

Figura 1. Ubicación de La Quebrada El Frutal



Consulta: Google Earth. 10 de octubre de 2015.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Angel Oseas Ajcabul Raxhón

Asesor de investigación: Jorge Mario Estrada Asturias

Analistas de laboratorio (2)

Personal de la Municipalidad de Guatemala (2)

Personal de seguridad (2)

3.4. Recursos materiales disponibles

El material utilizado en la etapa experimental se muestra a continuación.

3.4.1. Equipo

La siguiente tabla describe el equipo utilizado para la toma de muestras.

Tabla III. **Equipo utilizado para la toma de muestras**

No.	Equipo	Características
1	Cuerda de escalada	Grosor de 20mm.
2	Cuerda para arnés	Grosor de 10mm.
3	Mosquetón de seguridad	Debe ser de material resistente.
4	Gafas protectoras	De color amarillo o azul con filtro UV.
5	Casco protector	Resistente a golpes fuertes, no de uso industrial.
6	Mochila	Impermeable con diversos compartimentos.
7	Botiquín	Debe contener el equipamiento necesario.
8	Galón de plástico	Utilizado para recolectar muestras para análisis físico y químico.
9	Frasco esterilizado	Utilizado para el análisis microbiológico.
10	Botas de montaña	Caucho especial y resistentes al agua.
11	Guantes de látex	Utilizado para la recolección de muestras.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

3.4.2. Cristalería

La siguiente tabla muestra la cristalería utilizada para el análisis de las muestras.

Tabla IV. **Cristalería utilizada**

No.	Cristalería
1	Termómetro de mercurio
2	Tubos de ensayo
3	Frascos esterilizados de vidrio
4	Recipientes de plástico de 1 galón
5	Erlenmeyers de distinto tamaño
6	Multiparamétrico

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Esta investigación fue de carácter cuantitativo debido a que se midieron cargas microbiológicas, parámetros físicos y químicos del agua proveniente del río La Quebrada, El Frutal, dando resultados contables para la obtención de índices de calidad y de carácter cualitativo debido a que se interpretó la calidad del agua tomando como referencia a cuerpos naturales de agua.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La etapa experimental se dividió en seis partes, las cuales se describen a continuación.

3.6.1. Ubicación de los puntos de muestreo

Las muestras de agua superficial fueron tomadas del río La Quebrada, El Frutal, ingresando desde la Universidad San Carlos en la granja experimental.

3.6.2. Proceso de recolección de muestras

La metodología para el proceso de recolección de muestras se basó en cuatro fases, las cuales son:

- Fase de reconocimiento del área.
- Selección de puntos de muestreo adecuados.
- Fase de muestreo en época lluviosa.
- Fase de muestreo en época seca.

3.6.3. Fase de reconocimiento del área

Fue una fase de vital importancia porque se visualizó y se abrió camino para los distintos puntos de muestreo propuestos, reconociendo el lugar y determinando el equipo adecuado para llegar a los puntos asignados.

3.6.4. Selección de puntos de muestreo

La selección adecuada, luego de la fase de reconocimiento, se hizo para descartar los puntos peligrosos y de remoto acceso para salvaguardar la vida de las personas que apoyaron en la investigación.

3.6.5. Fase de muestreo en época lluviosa

Se realizó una fase de 4 muestreos en temporada lluviosa porque en Guatemala predomina solamente dos temporadas, la temporada seca y la lluviosa. Durante ésta última, el caudal del río es mayor.

3.6.6. Fase de muestreo en época seca

Se realizó una fase de 4 muestreos en temporada seca debido a que en Guatemala predomina dos temporadas definidas, la temporada de lluvias y la temporada seca, donde el nivel del río disminuye considerablemente respecto a la otra temporada.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los formatos utilizados para la tabulación y el ordenamiento de los datos se describen a continuación. El ordenamiento de los parámetros obtenidos se hace acorde a su característica física, química o biológica.

Tabla V. **Parámetros físicos**

Muestra No.	Temperatura [°C]	Turbiedad [UNT]	Sólidos disueltos [mg/L]	Sólidos suspendidos [mg/L]
1	T ₁	TU ₁	SD ₁	SS ₁
2	T ₂	TU ₂	SD ₂	SS ₂
3	T ₃	TU ₃	SD ₃	SS ₃
4	T ₄	TU ₄	SD ₄	SS ₄
5	T ₅	TU ₅	SD ₅	SS ₅
6	T ₆	TU ₆	SD ₆	SS ₆
7	T ₇	TU ₇	SD ₇	SS ₇
8	T ₈	TU ₈	SD ₈	SS ₈

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla VI. **Parámetros químicos**

Muestra No.	pH	DBO [mg /L]	DQO [mg /L]	Oxígeno Disuelto [mg /L]	Nitratos [mg /L]	Fosfatos [mg /L]	Conductividad [μS/cm]
1	P ₁	DB ₁	DQ ₁	OD ₁	N ₁	F ₁	C ₁
2	P ₂	DB ₂	DQ ₂	OD ₂	N ₂	F ₂	C ₂
3	P ₃	DB ₃	DQ ₃	OD ₃	N ₃	F ₃	C ₃
4	P ₄	DB ₄	DQ ₄	OD ₄	N ₄	F ₄	C ₄
5	P ₅	DB ₅	DQ ₅	OD ₅	N ₅	F ₅	C ₅
6	P ₆	DB ₆	DQ ₆	OD ₆	N ₆	F ₆	C ₆
7	P ₇	DB ₇	DQ ₇	OD ₇	N ₇	F ₇	C ₇
8	P ₈	DB ₈	DQ ₈	OD ₈	N ₈	F ₈	C ₈

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla VII. **Parámetros biológicos**

Muestra No.	Coliformes Fecales [NMP/100mL]
1	CF ₁
2	CF ₂
3	CF ₃
4	CF ₄
5	CF ₅
6	CF ₆
7	CF ₇
8	CF ₈

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla VIII. Datos para el cálculo del ISQA

Muestra No.	Factor T	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D	ISQA
1	FT ₁	FA ₁	FB ₁	FC ₁	FD ₁	X ₁
2	FT ₂	FA ₂	FB ₂	FC ₂	FD ₂	X ₂
3	FT ₃	FA ₃	FB ₃	FC ₃	FD ₃	X ₃
4	FT ₄	FA ₄	FB ₄	FC ₄	FD ₄	X ₄
5	FT ₅	FA ₅	FB ₅	FC ₅	FD ₅	X ₅
6	FT ₆	FA ₆	FB ₆	FC ₆	FD ₆	X ₆
7	FT ₇	FA ₇	FB ₇	FC ₇	FD ₇	X ₇
8	FT ₈	FA ₈	FB ₈	FC ₈	FD ₈	X ₈

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla IX. Datos para el cálculo del ICA

Muestra No.	Q D.B.O.	Q Coliformes Fecales	Q Nitratos	Q pH	Q. Temperatura	Q. Sólidos totales	Q fosfatos	Q Turbiedad	% sat. Oxígeno	Q Sat. Oxígeno	ICA
1	QDB ₁	QCF ₁	QN ₁	Qp ₁	QT ₁	QS ₁	QF ₁	QT ₁	QSAT ₁	QO ₁	Y ₁
2	QDB ₂	QCF ₂	QN ₂	Qp ₂	QT ₂	QS ₂	QF ₂	QT ₂	QSAT ₂	QO ₂	Y ₂
3	QDB ₃	QCF ₃	QN ₃	Qp ₃	QT ₃	QS ₃	QF ₃	QT ₃	QSAT ₃	QO ₃	Y ₃
4	QDB ₄	QCF ₄	QN ₄	Qp ₄	QT ₄	QS ₄	QF ₄	QT ₄	QSAT ₄	QO ₄	Y ₄
5	QDB ₅	QCF ₅	QN ₅	Qp ₅	QT ₅	QS ₅	QF ₅	QT ₅	QSAT ₅	QO ₅	Y ₅
6	QDB ₆	QCF ₆	QN ₆	Qp ₆	QT ₆	QS ₆	QF ₆	QT ₆	QSAT ₆	QO ₆	Y ₆
7	QDB ₇	QCF ₇	QN ₇	Qp ₇	QT ₇	QS ₇	QF ₇	QT ₇	QSAT ₇	QO ₇	Y ₇
8	QDB ₈	QCF ₈	QN ₈	Qp ₈	QT ₈	QS ₈	QF ₈	QT ₈	QSAT ₈	QO ₈	Y ₈

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

3.7.1. Procesamiento de la información para el cálculo del ISQA

El cálculo de Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) se realiza utilizando 5 parámetros fisicoquímicos de la siguiente manera:

$$\text{ISQA} = T \cdot (A + B + C + D)$$

Donde:

T: temperatura del agua [°C]. Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:

- $T = 1$ si $t \leq 20$ °C
- $T = 1 - (t - 20) \cdot 0,0125$ si $t > 20$ °C

• A: demanda química orgánica según la oxidabilidad al permanganato (A= DQO-Mn) expresada en mg/L. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

- $A = 30 - a$ si $a \leq 10$ mg/L
- $A = 21 - (0,35 \cdot a)$ si $60 \text{ mg/L} \geq a > 10$ mg/L
- $A = 0$ si $a > 60$ mg/L

• B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/L). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

- $B = 25 - (0,15 \cdot \text{SST})$ si $\text{SST} \leq 100$ mg/L
- $B = 17 - (0,07 \cdot \text{SST})$ si $250 \text{ mg/L} \geq \text{SST} > 100$ mg/L
- $B = 0$ si $\text{SST} > 250$ mg/L

· C: oxígeno disuelto (O₂ en mg/L). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

- $C = 2,5 \cdot O_2$ si $O_2 < 10$ mg/L
- $C = 25$ si $O_2 \geq 10$ mg/L

· D: conductividad (CE en $\mu\text{S/cm}$ a 18 °C). Si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:

- $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4000$ $\mu\text{S/cm}$
- $D = 0$ si $CE > 4000$ $\mu\text{S/cm}$

3.7.2. Procesamiento de la información para el cálculo del ICA

El cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) se realizó mediante la sumatoria de los factores Q de cada parámetro por su ponderación específica de la siguiente manera:

$$ICA = \sum Q_i \cdot I_i$$

Donde:

Q_i = Factor i de cada parámetro

I_i = Ponderación específica para Q_i

Tabla X. **Ponderación de parámetros para el ICA**

Parámetro	Unidad	Ponderación específica [%]
Temperatura	°C	10
Saturación de oxígeno	%	17
DBO	mg/L	10
Sólidos disueltos totales	mg/L	8
Turbiedad	UNT	8
Fosfatos	mg/L	10
Nitratos	mg/L	10
pH	unidades	12
Coliformes fecales	NMP/100mL	15

Fuente: DE CARDOZO, María del Carmen Zúñiga. *Análisis y Valoración del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez*. p. 18-19.

Cada uno de los parámetros tiene una curva de función en donde se obtiene un factor Q_i . El factor obtenido tiene un valor de 0 a 100, el cual se multiplica por la ponderación específica de cada parámetro.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en base a la diferencia entre el resultado obtenido por el ICA y el resultado obtenido por el ISQA para cada una de las muestras tomadas.

Tabla XI. **Diferencias entre muestras emparejadas**

ICA	ISQA	Diferencia (ICA-ISQA)	Diferencia (ICA-ISQA) ²
25,32	6,71	-18,61	346,33
39,96	38,75	-1,21	1,46
25,31	26,06	0,75	0,56
37,94	55,12	17,18	295,12
34,63	46,06	11,43	130,67
28,41	34,72	6,31	39,77
43,34	63,19	19,85	393,96
42,89	59,97	17,08	291,65
SUMA		52,77	1499,53

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XII. **Resultados de análisis estadístico**

	ICA	ISQA
Media	34,724	41,321
Varianza	56,487	359,928
Observaciones	8	8
Coeficiente de correlación de Pearson	0,883	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	-1,455	
Valor crítico de t (una cola)	1,895	
P(T<=t) dos colas	0,189	
Valor crítico de t (dos colas)	±2,365	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

4. RESULTADOS

4.1. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

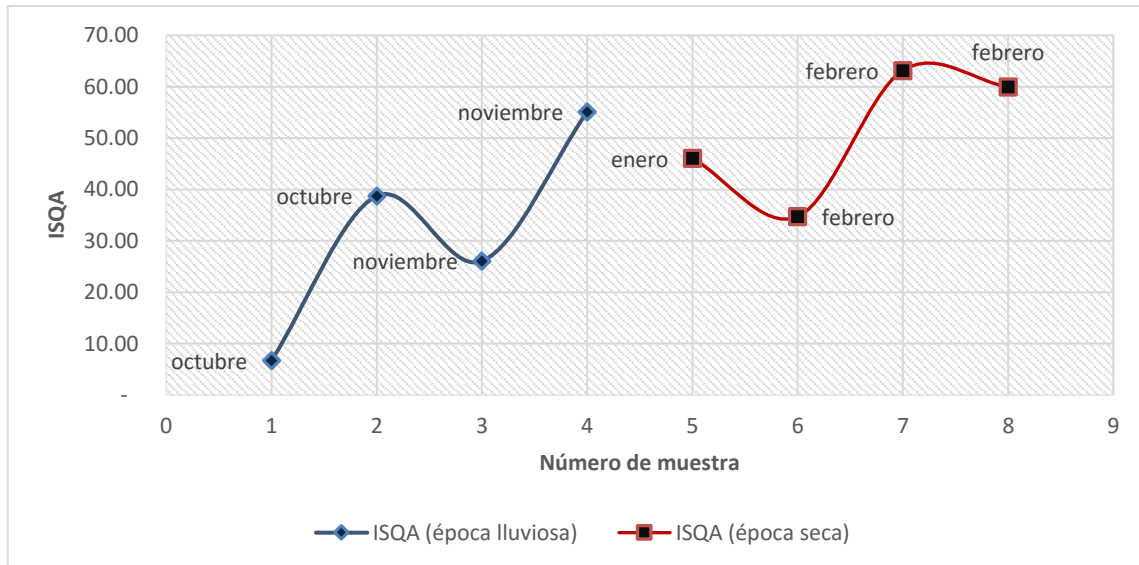
Los parámetros para el cálculo del ISQA son T, A, B, C y D. A continuación, se presenta el resultado para cada una de las muestras analizadas y la calidad que tiene según su puntaje.

Tabla XIII. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

Muestra No.	T	A	B	C	D	ISQA	Calidad
1	1,00		-	0,58	6,13	6,71	Muy mala
2	1,00	7,70	10,00	13,18	7,87	38,75	Mala
3	1,00	-	13,00	6,03	7,04	26,06	Mala
4	1,00	10,54	22,00	14,50	8,08	55,12	Media
5	1,00	7,70	23,80	1,08	13,49	46,06	Mala
6	1,00	-	24,25	0,38	10,09	34,72	Mala
7	1,00	15,05	24,25	12,23	11,90	63,19	Media
8	0,98	10,50	23,50	14,60	12,59	59,97	Media

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 2. Comportamiento del ISQA en época seca y en época lluviosa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

4.2. Índice de Calidad del Agua (ICA)

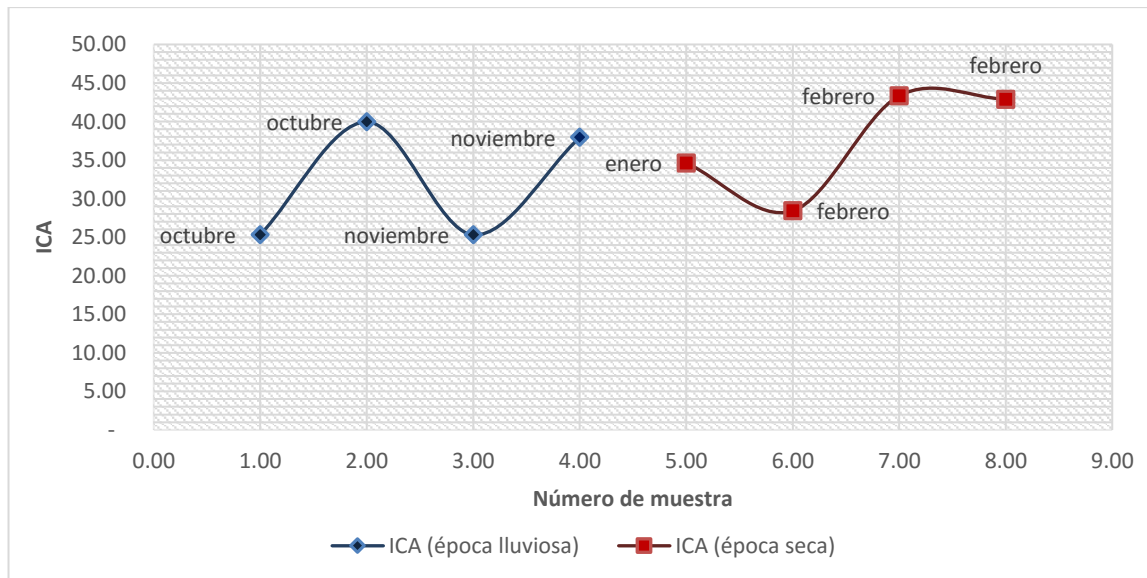
Para el cálculo del ICA fue necesario encontrar el factor Q_i para cada parámetro. A continuación, se muestra el factor Q de cada parámetro, el ICA calculado y la calidad obtenida para cada muestra.

Tabla XIV. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Muestra No.	Q D.B.O.	Q Coliformes Fecales	Q Nitratos	Q pH	Q. T	Q. Sólidos totales	Q Fosfatos	Q Turbiedad	Q Saturación de Oxígeno	ICA	Calidad
1	2,00	2,00	1,00	90,61	86,49	20,00	2,00	39,45	1,42	25,32	Mala
2	24,83	2,00	1,00	93,45	86,49	20,00	2,00	77,87	54,00	39,96	Mala
3	2,00	2,00	1,00	92,55	86,49	20,00	2,00	5,00	16,22	25,31	Mala
4	2,00	2,00	1,00	93,30	89,06	20,00	2,00	61,99	61,63	37,94	Mala
5	10,32	12,32	1,00	92,14	89,06	62,00	7,00	68,00	3,46	34,63	Mala
6	2,00	2,00	1,00	90,74	82,85	37,00	2,00	65,47	1,42	28,41	Mala
7	37,24	2,00	1,00	85,02	89,06	62,00	2,00	87,96	46,52	43,34	Mala
8	13,97	2,00	1,00	89,80	82,85	57,00	2,00	84,92	61,63	42,89	Mala

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 3. Comportamiento del ICA en época seca y época lluviosa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Tabla XV. **Índices de calidad del agua por época de muestreo y general**

Fase de muestreo	ISQA	ICA
Lluviosa	31,66	32,13
Seca	50,98	37,30
Índice general	41,32	34,72

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La tabla XIII, muestra los resultados obtenidos del Índice Simplificado de Calidad del Agua, siendo las primeras cuatro muestras las correspondientes a la época lluviosa y las siguientes cuatro, las correspondientes a la época seca. Los índices de calidad del agua obtenidos para la época lluviosa indican que la calidad del río es mala y comparando los resultados obtenidos para la época seca se observa un aumento de la calidad para la época seca.

La razón principal por la cual la calidad del agua obtenida en la época lluviosa es inferior a la época seca es porque la cantidad de materia orgánica presente es alta, lo cual constituye un grado de contaminación elevado. Lo anterior se ve reflejado en el parámetro A, ya que la muestra 1 y 3 tienen valores de 0, siendo los más bajos, y los valores obtenidos en la muestra 2 y 4 son bajos, esto repercute en la calidad obtenida para las 4 primeras muestras.

El parámetro B está relacionado con los sólidos en suspensión, a medida que aumenta su valor, significa una cantidad menor de sólidos suspendidos. La tendencia que se obtuvo fue que conforme cambiaba de época lluviosa a época seca, la cantidad de sólidos en suspensión fue menor, es decir, su valor aumenta desde 0 para la primera muestra, hasta 23,50 a la segunda muestra. Los sólidos en suspensión aportan un 25% del valor total del índice calculado.

El parámetro C está relacionado con el oxígeno disuelto y no se muestra un comportamiento predecible, tanto para la época lluviosa como para la época seca, es decir, hay valores muy bajos que indican poca cantidad de oxígeno disuelto y esto involucra una cantidad excesiva de vida microbiana y organismos anaerobios. También hay valores medios que indican una mayor cantidad de

oxígeno disuelto, pero no la suficiente para dejar de concluir que existe una gran contaminación por microorganismos anaerobios, tanto para época lluviosa como para época seca. Este parámetro influye un 25% en el resultado del índice calculado.

El parámetro D está ligado a la conductividad eléctrica, es decir a los minerales disueltos en el río. Se muestra que para la época lluviosa la conductividad eléctrica es alta, aunque no mayor a $4000\mu\text{S}/\text{cm}$. Para la época seca hay un aumento ligero del parámetro D, esto indica una ligera disminución en los minerales disueltos en el río. A medida que aumenta la conductividad, el parámetro D tiende a cero, y este parámetro influye un 20% en el índice calculado.

En general, la Figura 2, muestra el comportamiento de la calidad del río analizado para las dos épocas muestreadas, indicando un ligero aumento de la calidad del agua en la época seca, iniciando con una muy mala calidad del río y finalizando con una calidad media. En promedio, la calidad del río es mala para ambas épocas, teniendo una fuerte contaminación por materia orgánica, microorganismos anaerobios, contaminación por productos químicos, un fuerte olor desagradable, espumas, procesos de fermentación y para la época lluviosa, una mayor turbidez causada por el arrastre de materia, desechos domésticos e industriales.

La tabla XIV, muestra los resultados obtenidos para las dos épocas analizadas, el resultado general indica una mala calidad del río, aunque existe un aumento del valor del ICA de 25,32 para la primera muestra en época lluviosa hasta un 42,89 para la última muestra en época seca.

De los 9 parámetros que abarca el ICA, los factores Q de los sólidos totales, DBO, la turbidez y la saturación de oxígeno muestran variación en cuanto a la temporada en que se tomó la muestra, esto influye en el pequeño aumento del ICA para la temporada seca en comparación de la temporada lluviosa.

Los sólidos totales disminuyeron más de la mitad en la temporada seca, esto es porque en la temporada lluviosa la cantidad de materia arrastrada por la lluvia causa una mayor turbidez y sólidos en suspensión mayor que en temporada seca.

En cuanto a la saturación de oxígeno y la DBO, es diferente según la muestra tomada y no tiene un comportamiento predecible entre la temporada lluviosa y la temporada seca, esto debido a factores externos que contaminan el río.

El comportamiento general de la calidad del agua según el ICA se muestra en la figura 3. De igual manera que el ISQA, este comportamiento indica un aumento ligero de la calidad del agua en temporada seca, pero no lo suficiente para dejar de decir que la calidad del río es mala en ambas temporadas muestreadas.

El resultado del Índice de Calidad del Agua (ICA), dio como resultado una calidad mala, lo cual involucra que el río se encuentra contaminado por materia orgánica, organismos anaerobios, mal olor y en general un aspecto a aguas negras provenientes de desechos orgánicos e industriales en forma permanente durante todo el año.

La tabla XV, contiene los índices promedio de cada una de las temporadas muestreadas y un índice general para la calidad del agua obtenida. Para la

temporada lluviosa hay una diferencia de 1,46% del ISQA en comparación del ICA, mientras que en la temporada seca la diferencia es de 36,67%, esto indica que el ISQA tiende al mismo valor que el ICA en temporada lluviosa pero no en temporada seca. En el resultado general hay una variación del 19% entre el ISQA y el ICA, pero el análisis de los datos involucra más que un promedio de los índices.

El análisis estadístico muestra que no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos por medio del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA). El análisis estadístico está basado en una diferencia de medias pareadas, quedando el estadístico de prueba en la región de aceptación con un nivel de confianza del 95%.

CONCLUSIONES

1. Para la temporada lluviosa, el ISQA tiene una diferencia de 1,46% con el ICA, siendo el ISQA de 31,6 y ICA de 32,13 para el río La Quebrada, El Frutal. Esto indica una mala calidad del agua con apariencia de aguas contaminadas, mal olor, fuerte actividad microbiana, espumas y con procesos de fermentación.
2. En temporada seca, el ISQA tiene una diferencia del 36,68% con el ICA, siendo el ISQA de 50,9 y el ICA de 37,32. Esto indica una mala calidad del agua, con apariencia de aguas contaminadas por productos químicos, fuerte olor desagradable, ligera coloración no natural, espumas y ligera turbidez.
3. La calidad general del río La Quebrada, El frutal, con el ISQA es de 41,32 y ICA es de 34,72, notándose una calidad favorable en temporada seca debido a que en temporada lluviosa la infiltración de desechos domésticos e industriales provoca un mayor caudal y turbulencia.
4. Estadísticamente no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos con el Índice Simplificado de Calidad del agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA).

RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis estadístico entre otros índices de calidad del agua, determinando el rango de validez y su análisis económico.
2. Al momento de determinar la calidad del agua, realizar mediciones tratando de abarcar como mínimo tres puntos de muestreo, esto con el fin de analizar el comportamiento de la calidad del agua a medida que se prolonga el cuerpo de agua a analizar.
3. El cálculo del ICA tiene una variante de cálculo, la determinación por medio de adición multiplicativa, siendo conveniente determinar la variación respecto al cálculo tradicional, mediante la suma ponderada de cada uno de los pesos.
4. El uso de modelos matemáticos de cada una de las gráficas para el cálculo de cada factor Q de cada uno de los parámetros del ICA, es más exacto y constante que únicamente el uso de gráficas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALDANA AGUILAR, Mónica Lisset. *Índice de calidad del agua en el río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché y la influencia de los costos del tratamiento de potabilización*. Artículo científico. Universidad San Carlos de Guatemala, 2014. 14p.
2. ARRIAGA-GAONA, M.L. *Monitoreo de la calidad del agua del río Tecolutla desde Coyutla hasta Gutiérrez Zamora, Veracruz*. Artículo Científico. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, México 2013. 147p.
3. BEHAR G, Roberto. *Análisis y valoración del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez*. Artículo Científico. Universidad del Valle, Colombia, 1997. 37p.
4. DE VARGAS, Lidia. *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente, Perú. 2014. 22p.
5. DEVORE, Jay L. *Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias*. Séptima edición. Estados Unidos: Cengage Learning, 2008. 325p.

6. JIMÉNEZ J, Mario Alberto. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. Artículo Científico. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, 2006. 18p.
7. JOHNSON, Richard A. *Probabilidad y Estadística para ingenieros*. Octava edición. México: Pearson, 2012. 245p.
8. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. 3ª ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2012. 200p.
9. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). *Índice de Calidad del Agua General ICA*. El Salvador. 2010. 14p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Resultados de laboratorio 1

Fecha de análisis	Olor	Color [unidades]	Sólidos sedimentables [cm ³ /L en una hora]	Sólidos suspendidos [mg/L]	Demanda Bioquímica de Oxígeno D.B.O.5 [mg/L]	Demanda Química de Oxígeno D.Q.O. [mg/L]	Fosfatos [mg/L]
6/10/2015	Ligero Séptico	4,91	8,00	320,00	203,00	282,00	440,00
27/10/2015	Ligero a materia orgánica	169,00	0,05	100,00	13,00	38,00	59,50
3/11/2015	Séptico	790,00	0,02	80,00	121,00	257,00	95,00
10/11/2015	Séptico	125,00	-	20,00	63,00	29,90	26,00
16/01/2016	Séptico	69,00	0,01	8,00	22,00	38,00	9,50
9/02/2016	Séptico	194,00	0,02	5,00	47,00	226,00	28,80
17/02/2016	Ligero Séptico	71,00	0,01	5,00	9,00	17,00	47,00
17/02/2016	Ligero Séptico	93,00	0,01	10,00	19,00	30,00	52,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Apéndice 2. Resultados de laboratorio 2

Fecha de análisis	Nitratos [mg/L]	pH	Sólidos disueltos totales [mg/L]	Turbiedad [UNT]	Conductividad eléctrica [μ S/cm]	Número más probable de Gérmenes Coliformes fecales/100c m3	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Temperatura [°C]
6/10/2015	1 936,00	7,74	884,00	49,20	1 591,00	>16E5	0,23	17,00
27/10/2015	1 266,00	7,35	620,00	9,11	1 227,00	>16E5	5,27	18,00
3/11/2015	1 750,00	7,58	738,00	427,00	1390,00	>16E5	2,41	17,00
10/11/2015	748,00	7,49	631,00	19,60	1 189,00	>16E5	5,80	18,00
16/01/2016	814,00	7,20	280,00	15,10	530,00	6 100,00	0,43	18,00
9/02/2016	206,00	7,11	468,00	16,90	880,00	<16E5	0,15	17,00
17/02/2016	880,00	6,86	281,00	4,17	672,00	9300000,00	4,89	18,00
17/02/2016	920,00	7,06	321,00	5,56	606,00	<18E5	5,84	17,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Apéndice 3. Factores Q

No. Muestra	Q D. B.O.	Q Coliformes Fecales	Q Nitratos	Q pH	Q. T	Q. Sólidos totales	Q fosfatos	Q Turbiedad	Q Saturación de Oxígeno
1	2,00	2,00	1,00	90,61	86,49	20,00	2,00	39,46	1,42
2	24,83	2,00	1,00	93,45	86,49	20,00	2,00	77,87	54,00
3	2,00	2,00	1,00	92,55	86,49	20,00	2,00	5,00	16,22
4	2,00	2,00	1,00	93,30	89,06	20,00	2,00	61,99	61,43
5	10,32	12,32	1,00	92,14	89,06	62,00	7,00	68,00	3,46
6	2,00	2,00	1,00	90,74	82,85	37,00	2,00	65,47	1,42
7	37,24	2,00	1,00	85,02	89,06	62,00	2,00	87,49	46,52
8	13,97	2,00	1,00	89,80	82,85	57,00	2,00	84,92	61,63

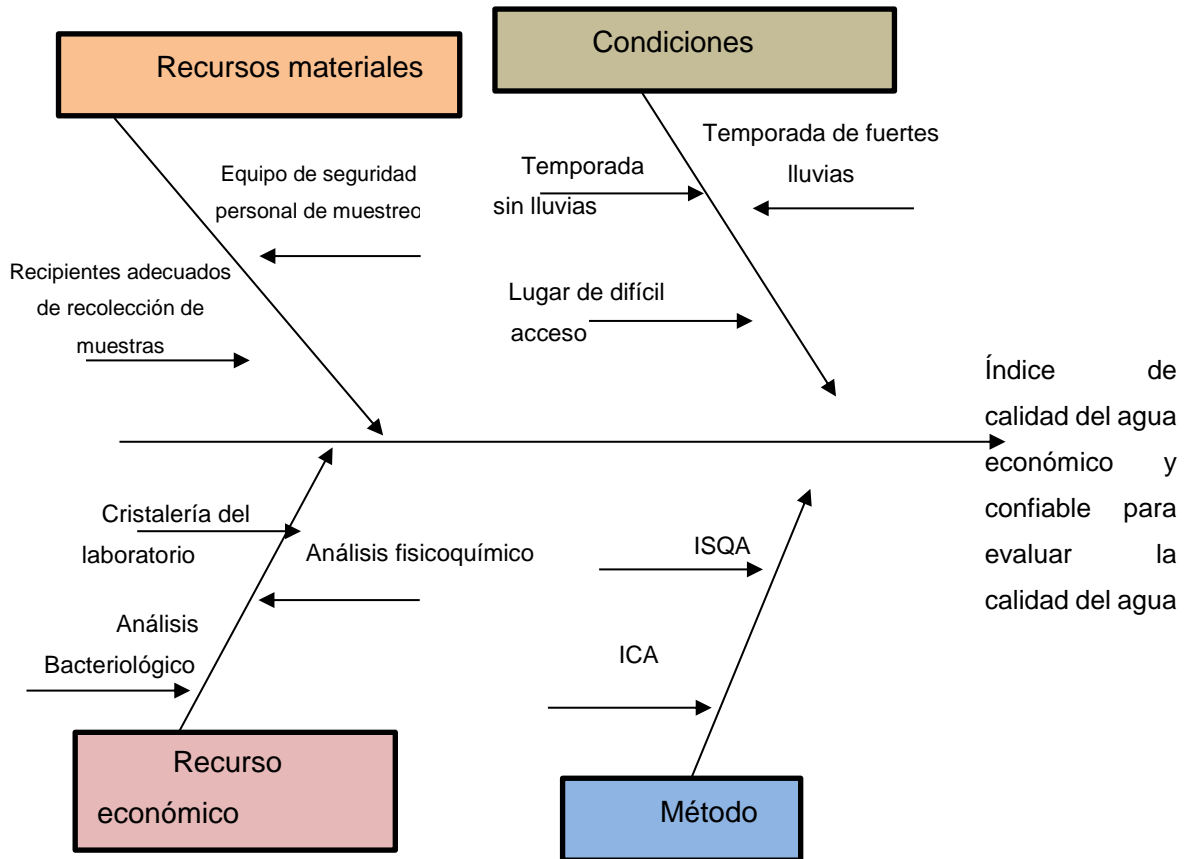
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Apéndice 4. **Requisitos académicos**

Carrera	Campos de conocimiento	Área	Curso	Tema específico	Temática a resolver
Ingeniería Química	Ingeniería y Tecnología	Química	Análisis Cualitativo	Ácidos y bases	Cálculos e interpretación sobre pH
			Análisis Cuantitativo	Gravimetría	Coloides, suspensiones, y precipitados
				Volumetría de complejos	Dureza del agua
			Química Ambiental	Contaminación ambiental y su regulación	Impactos ambientales y su mitigación, contaminación hídrica,
		Área de especialización	Microbiología	Microbiología aplicada	Microbiología del agua, aspectos sanitarios de la microbiología del agua, microbiología aguas residuales
		Área de fisicoquímica	Ecología	Ciclos ecológicos Poblaciones Ecosistemas Contaminación	Estructura y función de ecosistemas. Clases de contaminación Recursos Naturales.
		Área de ciencias básicas y complementarias	Estadística 1	Estadística descriptiva	Proporcionar elementos para análisis de datos
			Estadística 2	Teoría del muestreo	distribuciones muestrales de una población
				Prueba de hipótesis	Probar variación entre dos métodos en una misma población
			Calidad del Agua	Indicadores de contaminación del agua Índices de calidad del agua	Cálculo, análisis e interpretación de parámetros físicos, químicos y biológicos para índices de calidad del agua

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

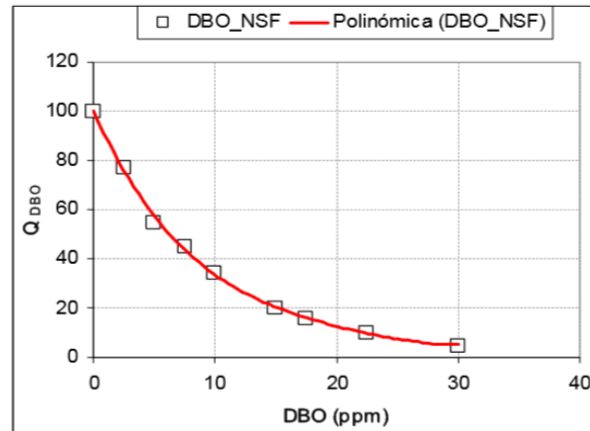
Apéndice 5. Diagrama de Ishikawa y/o Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

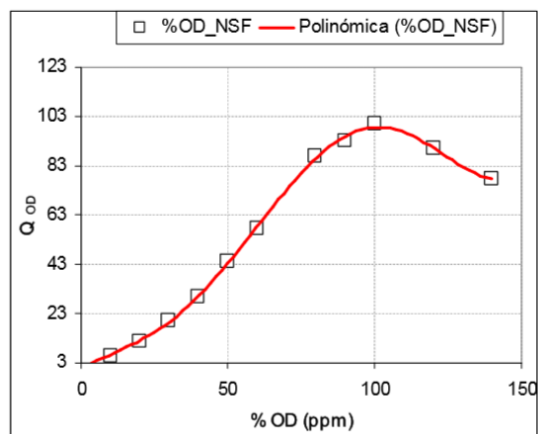
ANEXOS

Anexo 1. Factor Q para D.B.O



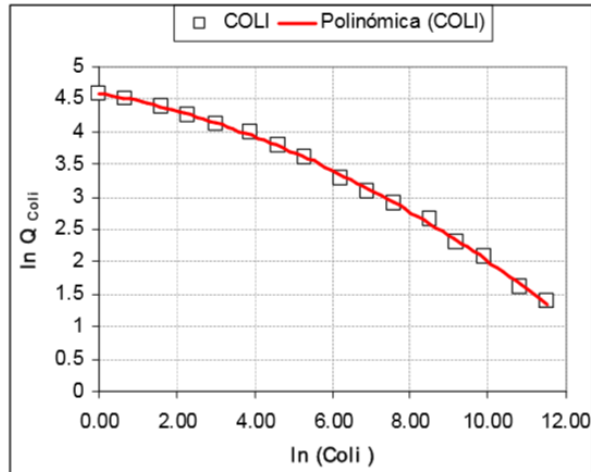
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 2. Factor Q para el porcentaje de saturación de oxígeno



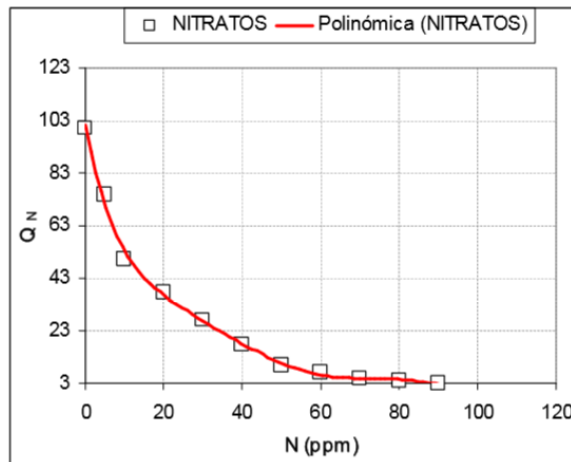
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 3. Factor Q de coliformes fecales



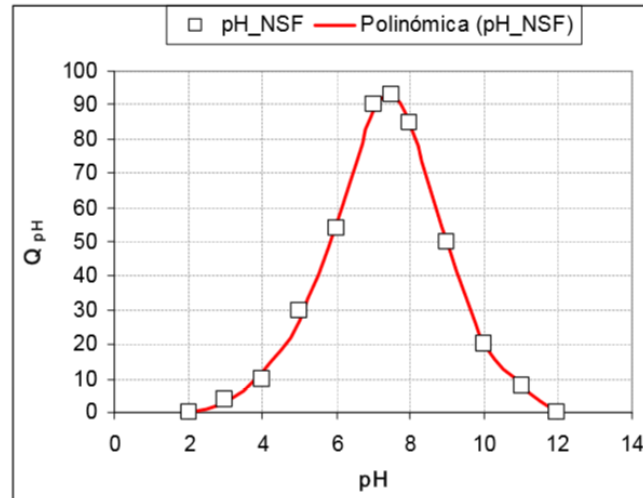
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 4. Factor Q de nitratos



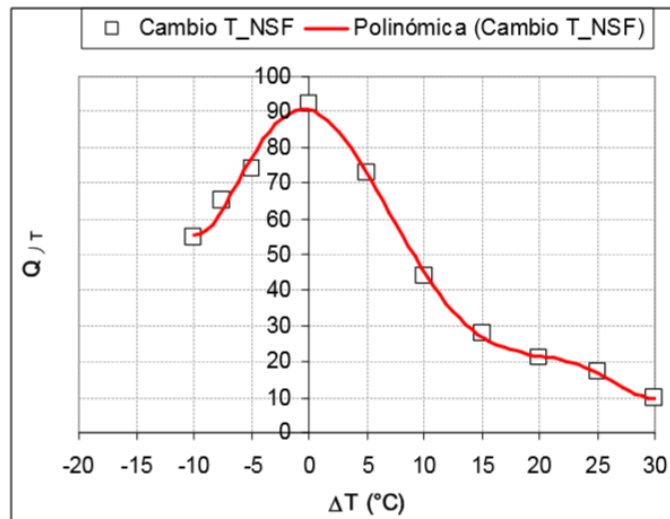
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 5. Factor Q para el pH



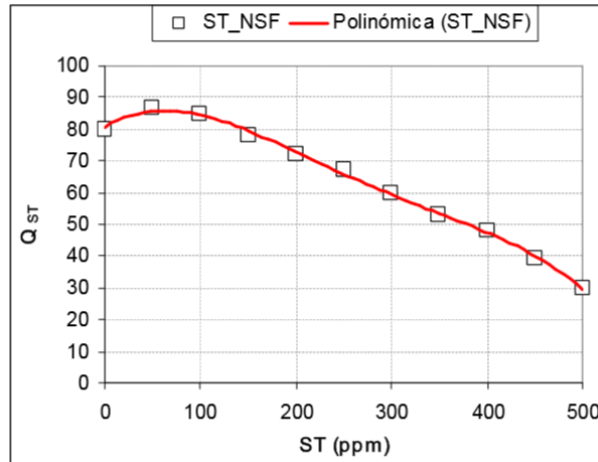
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 6. Factor Q para el cambio de temperatura



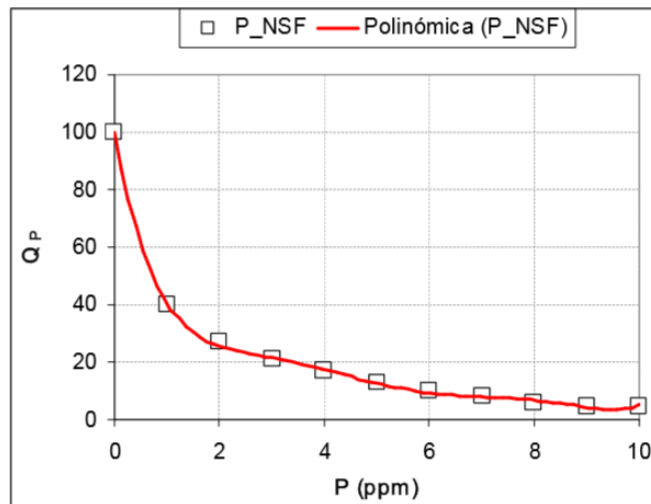
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 7. Factor Q para los sólidos totales



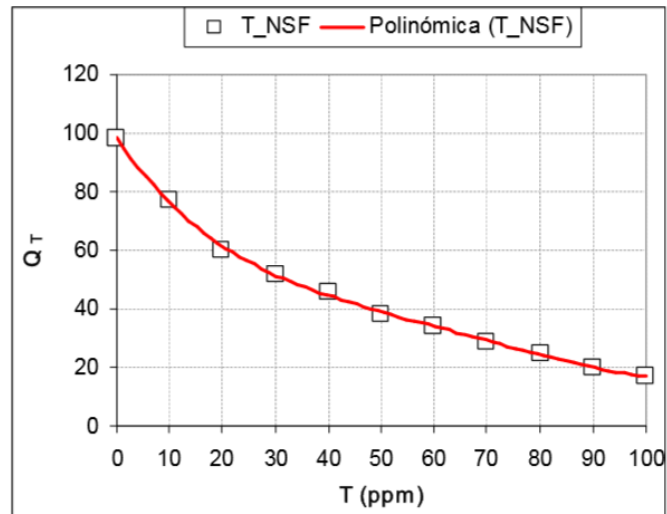
Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 8. Factor Q para fosfatos



Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 9. Factor Q para la turbidez



Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.10.

Anexo 10. Correlaciones de gráficas de factores Q

PARÁMETRO	AJUSTE
% Saturación de oxígeno	$Q_{OD} = 3,1615E-08(OD\%)^5 - 1,0304E-05(OD\%)^4 + 1,0076E-03(OD\%)^3 - 2,7883E-02(OD\%)^2 + 8,4068E-01(OD\%) - 1,6120E-01$ $R^2 = 0,9995$ <p>donde Q_{OD}: Factor de escala Oxígeno disuelto - OD%: Oxígeno disuelto expresado como porcentaje de saturación</p>
Demanda bioquímica de oxígeno ó Demanda química de oxígeno	$Q_{DBO} = 1,8677E-04(DBO)^4 - 1,6615E-02(DBO)^3 + 5,9636E-01(DBO)^2 - 1,1152E+01(DBO) + 1,0019E+02$ $R^2 = 0,9989$ <p>donde Q_{DBO}: Factor de escala demanda bioquímica de oxígeno - DBO: demanda bioquímica de oxígeno en mg/l</p>
Coliformes fecales	$\ln(Q_{Coli}) = -0,0152(\ln C)^2 - 0,1063(\ln C) + 4,5922$ $R^2 = 0,999$ <p>donde Q_{Coli}: Factor de escala coliformes fecales - C: Coliformes fecales como NMP</p>
Nitratos	$Q_{Nitra} = 3,5603E-09N^5 - 1,2183E-06N^3 + 1,6238E-04N^4 - 1,0693E-02N^3 + 3,7304E-01N^2 - 7,5210N + 1,0095E+02$ $R^2 = 0,9972$ <p>donde: Q_{Nitra}: Factor de escala Nitratos - N: Concentración de Nitratos en mg/l</p>
pH	<p>Para pH $\leq 7,5$</p> $Q_{pH} = -0,1789pH^5 + 3,7932pH^4 - 30,517pH^3 + 119,75pH^2 - 224,58pH + 159,46$ $R^2 = 0,9981$ <p>Para pH $> 7,5$</p> $Q_{pH} = -1,11429pH^4 + 44,50952pH^3 - 656,60000pH^2 + 4215,34762pH - 9840,14286$ $R^2 = 1,0000$ <p>donde Q_{pH}: Factor de escala pH - pH: Nivel de pH</p>
Cambio de temperatura	$Q_{\Delta T} = 1,9619E-06\Delta T^6 - 1,3964E-04\Delta T^5 + 2,5908E-03\Delta T^4 + 1,5398E-02\Delta T^3 - 6,7952E-01\Delta T^2 - 6,7204E-01\Delta T + 9,0392E+01$ $R^2 = 0,9972$ <p>donde: $Q_{\Delta T}$: Factor de escala Cambio de Temperatura - ΔT: Cambio de temperatura en °C</p>
Sólidos totales	$Q_{ST} = -4,4289E-09ST^4 + 4,650E-06 ST^3 - 1,9591E-03 ST^2 + 1,8973E-01 ST + 8,0608E+01$ $R^2 = 0,9977$ <p>donde: Q_{ST}: Factor de escala Sólidos Totales - ST: Sólidos totales en mg/l</p>
Fosfatos	$Q_P = 4,67320E-03P^5 - 1,61670E-01P^3 + 2,20595P^4 - 1,50504E+01P^3 + 5,38893E+01P^2 - 9,98933E+01P + 9,98311E+01$ $R^2 = 0,9994$

Fuente: JIMÉNEZ, Mario Alberto J. *Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial*. p.13.