



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

**EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA  
CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA,  
DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Frida Yamilet Andrea Navichoque Pérez**

Asesorado por el Ing. Qco. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA  
CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA,  
DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**FRIDA YAMILET ANDREA NAVICHOQUE PÉREZ**  
ASESORADO POR EL ING. QCO. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

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 Chistian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

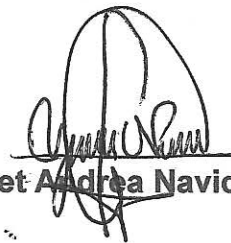
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Erwing Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benitez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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:

### **EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA, DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 30 de agosto del 2016.



**Frida Yamilet Andrea Navichoque Pérez**

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.329.2018

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: **EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA, DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Frida Yamilet Andrea Navichoque Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, Septiembre de 2018



/cc



Ref.EIQ.TG.026.2018

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 del (la) estudiante, **FRIDA YAMILET ANDREA NAVICHOQUE PÉREZ** titulado: **“EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA, DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA”**.  
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, septiembre de 2018  
FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Guatemala, 09 de agosto de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.027.2018.

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 032-2016 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  
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Frida Yamilet Andrea Navichoque Pérez**.  
Identificada con número de carné: **2310 29071 0101**.  
Identificada con registro académico: **2012-13109**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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:

**EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA, DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

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"

*[Handwritten Signature]*  
Dra. MSc e Ing. **Casta Petrona Zeceña Zeceña**  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación  
Colegiado # 624



C.c.: archivo



Guatemala, 25 de abril del 2018

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Wong:

Por medio de la presente SOLICITO FECHA DE PRESENTACIÓN Y DEFENSA del Informe Final del Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA, POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ISCA, DEL RÍO BIJAGÜE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA", de la estudiante de ingeniería química, Frida Yamilet Andrea Navichoque Pérez quien se identifica con el carné universitario número 2012-13109 y -CUI- 2310 29071 0101.

Al respecto, le informo que el trabajo cumple con los requisitos establecidos en el perfil de egreso de la carrera de Ingeniería Química, asesorado por el Ingeniero Jorge Mario Estrada Asturias.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Atentamente,



*Jorge Mario Estrada Asturias*  
Jorge Mario ESTRADA ASTURIAS  
Ingeniero Químico, Col. 685  
M. Sc. Ingeniería Sanitaria  
PROFESOR TITULAR  
Escuela de Ing. Química USAC



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la fuerza, sabiduría y perseverancia para culminar esta meta.
<b>Mis abuelos</b>	Porfirio Navichoque y Víctor Pérez (q. e. p. d.), por ser esa fuente de inspiración y superación.
<b>Mi abuela</b>	Teofila Pablo, por su amor y consejos.
<b>Mis padres</b>	Jorge Navichoque y Loida Pérez, por darme su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y todos los esfuerzos que hicieron para mi graduación.
<b>Mi esposo</b>	David Hernández, por darme ánimos y las palabras de aliento cuando sentía que ya no podía.
<b>Mi hermana</b>	Yoselin Sálazar, por alentarme siempre a dar lo mejor de mí.
<b>Mi tío</b>	Mario Navichoque, por sus consejos, ayuda y ánimo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi alma mater y darme la oportunidad del estudio superior.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme los conocimientos y ayudarme a crecer como persona.
<b>Municipalidad de Guatemala, Dirección de Medio Ambiente</b>	Por darme la oportunidad de hacer este proyecto y la ayuda financiera para llevarlo a cabo.
<b>Ing. Jorge Mario Estrada</b>	Por compartir sus conocimientos y ser una fuente de inspiración para mi carrera.
<b>Inga. Beatríz Ramírez</b>	Por darme la oportunidad de realizar esta investigación y todo el apoyo brindado.
<b>Henio López y Esther Xiquín</b>	Por su amistad, apoyo, consejos, palabras de aliento y todas las experiencias compartidas.
<b>Mis amigos</b>	Elder Villatoro, Luis Cruz, Rodrigo Arévalo, Migdalia Carranza, Carolina Meza, Joselyn Solares por su amistad y a pesar de los obstáculos siempre seguimos adelante.
<b>Mi familia</b>	Por su amor incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Características del agua .....	3
2.1.1. Características físicas.....	3
2.1.1.1. Temperatura .....	4
2.1.1.2. Sólidos sedimentables.....	4
2.1.1.2.1. Sólidos disueltos.....	4
2.1.1.2.2. Sólidos suspendidos.....	4
2.1.1.2.3. Sólidos totales .....	5
2.1.1.3. Turbiedad.....	5
2.1.1.4. Conductividad .....	5
2.1.2. Características químicas .....	5
2.1.2.1. pH.....	6
2.1.2.2. Dureza .....	6
2.1.2.3. Oxígeno disuelto (OD) .....	6
2.1.2.4. Nitratos .....	7
2.1.2.5. Fosfatos.....	7
2.1.3. Características biológicas .....	8

	2.1.3.1.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	8
	2.1.3.2.	Demanda química de oxígeno.....	8
	2.1.3.3.	Coliformes totales.....	8
2.2.		Cuenca y sistema fluvial.....	9
	2.2.1.	División espacial de una cuenca hidrográfica.....	9
		2.2.1.1. Subcuenca .....	9
		2.2.1.2. Microcuenca .....	10
2.3.		Contaminación .....	10
	2.3.1.	Tipos de contaminación .....	11
		2.3.1.1. Contaminación del suelo .....	11
		2.3.1.2. Contaminación del aire.....	11
		2.3.1.3. Contaminación visual .....	11
		2.3.1.4. Contaminación auditiva .....	12
		2.3.1.5. Contaminación térmica.....	12
		2.3.1.6. Contaminación hídrica.....	12
	2.3.2.	Principales contaminantes del agua.....	13
		2.3.2.1. Agentes patógenos .....	13
		2.3.2.2. Desechos que requieren oxígeno.....	13
		2.3.2.3. Sustancias químicas inorgánicas .....	14
		2.3.2.4. Sustancias químicas orgánicas .....	14
		2.3.2.5. La eutrofización .....	15
		2.3.2.6. Sedimentos o materia suspendida en el agua.....	15
		2.3.2.7. Aumento de la temperatura .....	16
2.4.		Índices de calidad del agua.....	16
	2.4.1.	Índices fisicoquímicos .....	17
		2.4.1.1. Índices de calidad fisicoquímica .....	17
		2.4.1.1.1. Índice de calidad del agua (ICA).....	17

	2.4.1.1.2.	Índice simplificado de calidad de aguas (ISCA).....	25
	2.4.1.1.3.	Índice automático de calidad de aguas (IAQA) .....	27
	2.4.1.2.	Índices de contaminación fisicoquímica	27
	2.4.1.2.1.	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	27
	2.4.1.2.2.	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) .....	29
	2.4.1.2.3.	Índice de contaminación trófica (ICOTRO) .....	29
	2.4.1.3.	Índice de saturación de Langellier (ISL)	29
	2.4.2.	Índices biológicos .....	30
3.	METODOLOGÍA.....		31
3.1.	Variables.....		31
	3.1.1.	Variables independientes .....	31
	3.1.2.	Variables dependientes .....	31
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....		31
3.3.	Recursos humanos disponibles.....		32
3.4.	Recursos materiales disponibles .....		32
	3.4.1.	Materiales .....	34
3.5.	Técnica cuantitativa .....		34
3.6.	Recolección y ordenamiento de información .....		34
	3.6.1.	Ubicación de la recolección .....	34

3.6.2.	Proceso de recolección de muestras .....	35
3.6.2.1.	Procedimiento para la toma de muestra	37
3.6.2.2.	Manejo de muestras .....	37
3.6.2.3.	Identificación y control de muestras .....	37
3.6.3.	Análisis de laboratorio .....	38
3.6.3.1.	Demanda química de oxígeno (DQO) ..	38
3.6.3.2.	Sólidos suspendidos totales .....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	40
3.8.	Análisis estadístico .....	41
3.8.1.	Análisis de varianza .....	41
3.8.2.	Análisis de correlación lineal .....	42
3.9.	Plan de análisis de los resultados .....	43
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables .....	43
3.9.2.	Programas a utilizar para análisis de datos .....	43
4.	RESULTADOS .....	45
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	53
	CONCLUSIONES .....	57
	RECOMENDACIONES .....	59
	BIBLIOGRAFÍA .....	61
	APÉNDICES .....	65

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Valoración de la calidad de agua en función de pH .....	20
2.	Valoración de la calidad de agua en función del cambio de temperatura .....	22
3.	Valoración de la calidad de agua en función de los sólidos disueltos totales .....	23
4.	Valoración de la calidad de agua en función del oxígeno disuelto .....	25
5.	Mapa de los puntos de muestreo del río Bijagüe .....	36
6.	Mapa del ISCA del río Bijagüe época seca .....	49
7.	Mapa del ISCA del río Bijagüe época lluviosa.....	50

### TABLAS

I.	Clasificación del ICA propuesto por Brown .....	18
II.	Pesos relativos para cada parámetro del ICA .....	19
III.	Solubilidad de oxígeno en agua dulce.....	24
IV.	Resultados del índice de calidad de agua .....	40
V.	Parámetros fisicoquímicos muestreo (x) .....	41
VI.	Resultados de muestreo época seca del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala.....	45
VII.	Resultados de ISCA época seca del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala.....	46

VIII.	Resultados de muestreo época lluviosa del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala.....	47
IX.	Resultados de ISCA época lluviosa del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala .....	48
X.	Resumen de los resultados del ISCA del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala .....	48
XI.	Análisis de varianza época seca.....	51
XII.	Análisis de varianza época lluviosa .....	51
XIII.	Análisis de correlación lineal.....	52
XIV.	Rangos de valoración del ISCA .....	67
XV.	Cálculos de sólidos suspendidos totales época seca .....	73
XVI.	Cálculos de sólidos suspendidos totales época lluviosa.....	74
XVII.	Requisitos académicos .....	75



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CE</b>	Conductividad
<b>Db</b>	Decibeles
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>L</b>	Litros
<b>Log</b>	Logaritmo base 10
<b>m</b>	Metro
<b>μS</b>	Micro siemens
<b>μS/cm</b>	Microsiemens por centímetro
<b>mg/L</b>	Miligramo por litro
<b>mL</b>	Mililitros
<b>mm</b>	Milímetro
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	Arroyo o río que lleva sus aguas a otro mayor o principal.
<b>Antropogénico</b>	Son los efectos, resultados o proceso que son consecuencia de acciones humanas.
<b>Cauce</b>	Concavidad del terreno natural por donde corre un río.
<b>Conductividad</b>	Indica la habilidad del agua para transportar energía eléctrica.
<b>Correlación</b>	Relación recíproca entre dos o más fenómenos.
<b>DBO</b>	Es la demanda bioquímica de oxígeno para que los organismos degraden materia orgánica
<b>Delimitación</b>	Marcar con claridad los límites del estudio.
<b>Dilución</b>	Es cuando disminuye la concentración por adición de disolvente.
<b>DQO</b>	La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer materia orgánica e inorgánica del agua.

<b>Eutrofización</b>	Proceso natural en ecosistemas acuáticos caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos.
<b>ICA</b>	Índice de calidad del agua.
<b>ISCA</b>	Índice simplificado de calidad de agua.
<b>Microcuenca</b>	Son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo.
<b>Monitoreo</b>	Controlar el comportamiento del agua a través de uno o varios monitores.
<b>Muestra</b>	Cantidad pequeña de agua que se considera representativa del total de agua del río.
<b>OD</b>	Oxígeno disuelto, indica la cantidad de oxígeno disuelto en agua y puede ser indicador inmediato de contaminación.
<b>Sst</b>	Sólidos suspendidos totales, es la cantidad de residuos no filtrable de una muestra de agua.
<b>Turbiedad</b>	Hace referencia a la cantidad de materia en suspensión y materia coloidal presente.

## RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo como objetivo la evaluación cualitativa de la influencia estacional en la calidad del agua, por medio de la determinación del ISCA, del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala se trabajó para la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala. En este río se extrajeron muestras de tres puntos, siendo en la parte alta, media y baja de la microcuenca; para la determinación de la calidad del agua.

El índice simplificado de calidad del agua (ISCA) posee como parámetros: temperatura, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto. Como parte de la investigación se pretendió implementar una técnica de muestreo generalizada para programas de monitoreo ambiental del recurso hídrico, en la ciudad de Guatemala. Para ello tomó como base la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993 siguiendo todo lo establecido en ella, desde tipo de materiales, formas de captación, técnicas de preservación, entre otros.

Finalmente se determinaron las variaciones en los índices de calidad del agua donde se correlacionó de forma cualitativa con las estaciones hidrometeorológicas del año.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar mediante el índice simplificado la calidad del agua del río Bijagüe en la ciudad de Guatemala para determinar cualitativamente la influencia estacional.

### **Específicos**

1. Determinar el índice de calidad del agua (ISCA) en la parte alta, media y baja del río Bijagüe en función de la época seca.
2. Determinar el índice de calidad del agua (ISCA) en la parte alta, media y baja del río Bijagüe en función de la época lluviosa.
3. Evaluar cualitativamente la influencia estacional en el índice de calidad del agua, de las estaciones seca y lluviosa para que la Municipalidad de Guatemala pueda tomar medidas de contingencia, de gestión y planes de desarrollo del recurso hídrico.





## **HIPÓTESIS**

Hipótesis científica:

Existe correlación entre el valor del índice simplificado y los puntos de muestreo.

Hipótesis nula:

Existe una correlación lineal entre el índice fisicoquímico (ISCA) y los puntos de muestreo, que expliquen la calidad del agua del río Bijagüe.

Hipótesis alternativa:

No existe una correlación lineal entre el índice fisicoquímico (ISCA) y los puntos de muestreo, que expliquen la calidad del agua del río Bijagüe.



## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que enfrentan las generaciones de hoy en día, presentándose esta en diferentes aspectos de la vida cotidiana. En Guatemala la contaminación hídrica es uno de los problemas más grandes, ya que este recurso es mal utilizado por la industrialización, deteriorando los cuerpos de agua superficial y subterránea, afectando así a la población. Las fuentes de este problema son diversas pero se le atribuye principalmente a las actividades antropogénicas actuales.

La Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, es la institución encargada de velar por el control y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos capitalinos; desafortunadamente esta institución no cuenta con información relevante acerca de la microcuenca del río Bijagüe ubicado en zona 25 de la ciudad de Guatemala, afectando en la toma de decisiones de medidas de contingencia, de gestión y planes de desarrollo del recurso hídrico; por lo cual es indispensable el conocimiento de la calidad del mismo.

Los índices fisicoquímicos se fundamentan en analizar parámetros físicos y químicos, los cuales para calidad del agua tienen un valor adimensional (calificación) entre uno y cien, el cuerpo de agua que obtenga un valor cercano a cien posee excelente calidad de agua, y el valor cercano a uno posee baja calidad de agua. El índice simplificado de calidad del agua (ISCA), es un índice multiparámetro que analiza las siguientes variables: temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad. El presente trabajo se plantea realizar la determinación del

índice de calidad (ISCA), para la microcuenca del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala, realizando una evaluación cualitativa de la influencia estacional en el índice de calidad del agua, con base en muestreos identificados en el curso del río en función de las estaciones seca y lluviosa.

## 1. ANTECEDENTES

En el 2005, la Inga. Rita Yesenia Solórzano Ponce determinó la calidad del agua de la planta de tratamiento La Carbonera utilizando el índice de Langellier en Sanarate, El Progreso; no realizó evaluación de la influencia estacional.

En el 2006, el Lic. Oswaldo Martínez determinó la calidad fisicoquímica en el canal de Chiquimulilla, en la reserva natural de usos múltiples en Monterrico. La calidad del agua no fue determinada por ningún índice fisicoquímico, sino solo por sus parámetros

En el 2008, el Ing. Jorge Rivera Méndez determinó la calidad del agua en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango. La calidad se determinó por medio de dos índices fisicoquímicos, el WQI (por sus siglas en inglés *Water Quality Index*, desarrollado por la NFS de los EE. UU) y el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA). En este estudio se determinaron coeficientes cinéticos de autodepuración del agua y la carga contaminante; no determinó la influencia estacional en los índices.

En el 2011, el Ing. Esteban Acuña determinó la calidad del agua mediante índices bióticos en la subcuenca del río Quiscab, del departamento de Sololá; no se presentó ningún índice de calidad fisicoquímico.

En el 2015, la Inga. Silvia Alejandra Méndez Spiegelger determinó la calidad del agua de la microcuenca del río Contreras, Ciudad de Guatemala, por medio del índice (ISCA); no determinó la influencia estacional.

## **2. MARCO TEÓRICO**

El agua es fundamental para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. En la vida cotidiana, el término agua se refiere a esta sustancia en fase líquida. El agua cubre el 71 % de la corteza terrestre. Debido a la importancia que esta sustancia posee para los seres humanos, es imprescindible su estudio. La calidad del agua es importante en el medio ambiente ya que afecta directamente el entorno en el que se encuentra. Para comprender el contexto de esta investigación es preciso comprender los siguientes conceptos básicos:

### **2.1. Características del agua**

Son los parámetros que el agua posee para su distinción ante otras sustancias, con estos parámetros propios de la sustancia se puede determinar la pureza que contiene por ejemplo el agua es un líquido incoloro, insípido e inodoro, estas son características que distinguen al agua de otras sustancias. Las principales características son: físicas, químicas y biológicas

#### **2.1.1. Características físicas**

Son también llamadas organolépticas, son las que se pueden percibir por medio de los sentidos. Además, son aquellas que tienen incidencia en las características estéticas del agua. Entre ellas está el color, el olor, el sabor, la temperatura, entre otros.

### **2.1.1.1. Temperatura**

Es un parámetro indispensable, ya que determina la cantidad de energía que contiene el cuerpo de agua, por tanto a mayor temperatura mayor sensación de calor. Esto afecta la viscosidad, solubilidad, actividad biológica y la velocidad de las reacciones químicas en el medio, siendo en este caso el agua. Este parámetro se interpone directamente en los proceso de tratamiento del agua. La temperatura se mide en grados centígrados.

### **2.1.1.2. Sólidos sedimentables**

Son sólidos contenidos en el agua que, al dejar reposar esta un determinado tiempo, dichos sólidos se depositan en el fondo del recipiente contenido por acción de la gravedad.

#### **2.1.1.2.1. Sólidos disueltos**

Los sólidos disueltos afectan negativamente la calidad del agua para consumo humano, altas concentraciones pueden ocasionar reacciones fisiológicas desfavorables en los consumidores.

#### **2.1.1.2.2. Sólidos suspendidos**

Son sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento, los cuales se miden en ppm. La determinación de los sólidos suspendidos se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante.



### **2.1.1.2.3. Sólidos totales**

Estos incluyen los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables del agua.

- Sólidos disueltos: se les conoce por sus siglas en inglés TDS (*Total dissolved solids*) y es la suma total de todos los minerales, los metales y los iones que se encuentran disueltos en el agua.
- Sólidos suspendidos: estos se determinan restando los sólidos disueltos de los totales.

### **2.1.1.3. Turbiedad**

También conocida como turbidez, se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finalmente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan son alteración a través de una muestra.

### **2.1.1.4. Conductividad**

Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad se encuentra por medio de la materia ionizable que se encuentra en el agua, además de las sales disueltas en la misma. Los iones como el calcio, magnesio, fósforo, sodio, entre otros.

## **2.1.2. Características químicas**

El agua como solvente natural tiene sustancias químicas disueltas que le proveen ciertas características. Las sustancias disueltas participan en una serie

de reacciones químicas que le dan propiedades químicas y biológicas particulares al agua. Para efectos de estudios se determinarán las siguientes características químicas.

#### **2.1.2.1. pH**

Potencial de hidrógeno es la medida de la concentración de iones hidronio presentes en el agua, afecta los usos del agua. La mayoría de aguas naturales se encuentran con un pH entre 6 y 8. El pH del agua natural depende de la concentración de CO<sub>2</sub>, se debe a la composición de los terrenos donde pasa el agua. El pH alcalino indica que los suelos son calizos y el ácido que son silicios.

#### **2.1.2.2. Dureza**

Es la concentración de los cationes bivalentes en el agua (como el Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>). Uno de los problemas que crea esta son las incrustaciones formadas en equipos que se encuentran en la industria y tuberías, además de afectar la formación de espuma de los detergentes al entrar en contacto con el agua.

#### **2.1.2.3. Oxígeno disuelto (OD)**

Como su nombre lo indica es todo el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Es un indicador de la contaminación existente en el agua, si esta contiene mayor OD el agua es de mejor calidad, si contiene materia orgánica en descomposición el OD disminuye considerablemente, normalmente varía entre 7 y 12 partes por millón. Además, es función de la temperatura, la presión y la altura sobre el nivel del mar.

#### **2.1.2.4. Nitratos**

Son compuestos inorgánicos compuesto por un átomo de nitrógeno y tres átomos de oxígeno, obteniendo el siguiente símbolo químico:  $\text{NO}_3$ . El aumento de nitratos en aguas subterráneas se debe al uso de fertilizantes nitrogenados, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol u operaciones de extensión. El aumento en la concentración de nitratos limita el uso del agua para consumo humano. Desde el punto de vista de potabilidad, las normas actuales admiten hasta 50mg/L de nitratos, concentraciones superiores son perjudiciales para la salud.

#### **2.1.2.5. Fosfatos**

El fósforo es el que ayuda con el crecimiento de plantas y animales, además es uno de los nutrientes que ayuda con el control del crecimiento de las algas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, el exceso de este produce un desarrollo incontrolado de las plantas, como el crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, entre otros. Uno de los contaminantes que tienen grandes cantidades de fósforo son los detergentes han aumentado el contenido de fosfatos en las aguas residuales domésticas. Las formas del fósforo que son importantes en el agua son: ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos.

La fuente principal de los fosfatos orgánicos son los procesos biológicos. Es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua y su relación; aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua con la productividad biológica y los problemas que pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores.

### **2.1.3. Características biológicas**

Una gran cantidad de aguas naturales posee microorganismos debido al hecho de ser un compuesto muy disolvente y tener oxígeno como componente principal de su estructura química, además de tener las características organolépticas ideales antes mencionadas, este compuesto posee la facilidad de dar y mantener la vida de diversos microorganismos.

#### **2.1.3.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Determina la cantidad de materia orgánica que contiene el agua. Para obtenerla se determina la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para actuar en la materia orgánica. El proceso de descomposición varía según sea la temperatura, entonces este análisis se realiza en forma estándar durante 5 días a 20°C, a este análisis se le llama DBO<sub>5</sub>.

#### **2.1.3.2. Demanda química de oxígeno**

Al igual que el DBO determina la cantidad de materia orgánica contenida en el agua. La diferencia que tiene con la demanda química de oxígeno (DQO) es que utiliza una sustancia química para degradar la materia orgánica (por ejemplo el dicromato de potasio).

#### **2.1.3.3. Coliformes totales**

Son las *enterobacteriaceae* lactosa positivas y constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos. Normalmente se encuentran en el intestino de los

animales y humanos; ingresan al ambiente por medio de heces fecales. Por tanto, si el agua no contiene coliformes, quiere decir que son de buena calidad.

## **2.2. Cuenca y sistema fluvial**

La cuenca hidrográfica se define como la unidad territorial natural que capta la precipitación, y es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal o sea es un área delimitada por una divisoria topográfica denominada parte-agua que drena a un cauce común.

La cuenca hidrográfica es un territorio definido por la línea divisoria de las aguas en la cual se desarrolla un sistema hídrico superficial, formando una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río principal que lleva sus aguas a un lago o mar. Todo punto de la tierra esta dentro de una cuenca.

### **2.2.1. División espacial de una cuenca hidrográfica**

Para el ordenamiento y manejo de una cuenca es necesario dividirla en unidades más pequeñas. Estas unidades más pequeñas son las subcuencas, las microcuencas y por último las quebradas. También dentro de una cuenca, subcuenca o microcuenca, se establece una división identificándose tres partes de la cuenca: parte alta, parte media y parte Baja.

#### **2.2.1.1. Subcuenca**

Una subcuenca es toda área en la que su drenaje va a directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. Es decir, que en una cuenca pueden haber varias subcuencas.

### **2.2.1.2. Microcuenca**

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca o sea que una subcuenca está dividida en varias microcuencas. Las microcuencas son unidades pequeñas y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. También las microcuencas constituyen las unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo. En la práctica, las microcuencas se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño. Independientemente de las divisiones entre las propiedades, los caminos, entre otros. El agua es el elemento integrador por lo tanto los cambios en la calidad y cantidad de las aguas de los ríos será el reflejo del comportamiento de todas las personas que habitan la cuenca.

### **2.3. Contaminación**

Es toda aquella alteración que tiene el ambiente que afecta de forma negativa al ser humano y al ecosistema en sí, la contaminación se denomina a la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivos para la salud o el bienestar de la población, de la vida animal o vegetal.

Existen diversos tipos de contaminación, la mayoría de éstas son provocadas por las actividades antropogénicas como:

### **2.3.1. Tipos de contaminación**

Existen diferentes factores los cuales pueden propiciar los distintos tipos de contaminación y esto es debido a que alteran las características del agua en su estado natural, los tipos de contaminación más relevantes son:

#### **2.3.1.1. Contaminación del suelo**

Es la alteración de forma natural de la superficie terrestre y la introducción de sustancias ajenas a esta. Mayoritariamente las sustancias que se le añaden son para el cuidado de la agricultura, como los insecticidas y fertilizantes; además de contaminar el suelo, también afecta al agua subterránea.

#### **2.3.1.2. Contaminación del aire**

También conocida como polución del aire, se produce debido a la emisión de una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire, como por ejemplo: emisión de humo de los carros, la quema de basura, polvo, polen, incendios forestales, entre otros. Una de las consecuencias más significativas es que ha reducido la capa de ozono.

#### **2.3.1.3. Contaminación visual**

Es la alteración del paisaje natural del ecosistema, se debe a los basureros, las vallas publicitarias, el proselitismo político, el tránsito vehicular, los cableados eléctricos, entre otros.

#### **2.3.1.4. Contaminación auditiva**

Son todos aquellos sonidos que no son soportables para la audición humana, perjudica de varias formas ya que no solo puede provocar la sordera parcial o total, sino también dolores de cabeza y hasta la muerte.

La medida para calcular la presión auditiva son los decibelios (dB), según la OMS lo soportable para el ser humano son 65 dB. Cuando la presión acústica está a 75 dB se vuelve dañina, dolorosa cuando está a 120 dB y puede causar la muerte cuando llega a los 180 dB.

#### **2.3.1.5. Contaminación térmica**

Es el cambio de la temperatura, ya sea del agua o del aire, que afecta significativamente a los ecosistemas que se encuentren alrededor de estos. Sus principales causas son la eliminación de árboles y plantas, las termoeléctricas, entre otros.

#### **2.3.1.6. Contaminación hídrica**

Para este estudio, la contaminación del agua es la más importante. La mayoría del agua superficial de Guatemala está contaminada y, poco a poco, se están contaminando los acuíferos; esto se debe a las actividades antropogénicas.

Se entiende por contaminación hídrica a la alteración del estado natural del agua, introduciendo algún material que cambie la calidad y composición química de ésta. Las fuentes de contaminación del agua son varias, provienen de las actividades domésticas, agrícolas, industriales, unas son más



contaminantes que otras; cuando no se trata de manera adecuada el agua ya utilizada, esta se contamina de manera considerable.

### **2.3.2. Principales contaminantes del agua**

Existe una cantidad muy extensa de contaminantes debido que puede ser cualquier sustancia externa con concentraciones altas, sin embargo, los más conocidos son:

#### **2.3.2.1. Agentes patógenos**

Los patógenos son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped. Este término se emplea normalmente para describir microorganismos como los virus, bacterias y hongos, entre otros. Estos agentes pueden perturbar la fisiología normal de plantas, animales y humano.

#### **2.3.2.2. Desechos que requieren oxígeno**

Una masa de agua se califica de contaminada cuando la concentración de OD desciende por debajo del nivel necesario para mantener una biota normal para tal agua. La causa primaria de la desoxigenación del agua es la presencia de sustancias que en conjunto se denominan residuos con requerimiento de oxígeno. Se trata de compuestos que se degradan o descomponen fácilmente debido a la actividad bacteriana en presencia de oxígeno.

Aunque en esta categoría se encuentren algunas sustancias inorgánicas, la mayor parte de residuos con requerimiento de oxígeno son compuestos

orgánicos. Los contaminantes de esta categoría proceden típicamente de fuentes como las aguas de albañal, tanto domésticas como de animales, desechos industriales procedentes de las factorías alimentarias, desperdicios de las industrias papeleras, subproductos de las operaciones de cultivo, y efluentes de mataderos y plantas empaquetadoras de carne.

### **2.3.2.3. Sustancias químicas inorgánicas**

Se denomina sustancia inorgánica a toda sustancia que carece de átomos de carbono en su composición química, con algunas excepciones. Un ejemplo de sustancia inorgánica es el ácido sulfúrico o el cloruro de sodio. De estos compuestos trata la química inorgánica. En estas se encuentran los metales tóxicos y los ácidos.

### **2.3.2.4. Sustancias químicas orgánicas**

Los contaminantes orgánicos también son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas, tinturas y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, entre otros. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática.

Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua. Como el petróleo, plástico, los detergentes y plaguicidas amenazan la vida acuática y permanecen, en algunos

casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

#### **2.3.2.5. La eutrofización**

La eutrofización es un tipo de contaminación química de las aguas. Se da cuando hay un aporte excesivo de nutrientes a un ecosistema acuático, el cual queda severamente afectado por ello. Puede producirse de forma natural (mareas rojas) pero es la antropogénica la que más debe preocuparnos. El fósforo y el nitrógeno son los principales causantes de la eutrofización aunque también son relevantes cualquier otra sustancia que pueda ser limitante para el desarrollo de las diferentes especies como el potasio, el magnesio y diferentes productos orgánicos.

#### **2.3.2.6. Sedimentos o materia suspendida en el agua**

La contaminación provocada por los sedimentos tiene dos dimensiones principales. Dimensión física: pérdida de la capa arable del suelo y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y por cárcavas, que dan lugar a niveles excesivos de turbidez en las aguas receptoras y a repercusiones ecológicas y físicas en lugares alejados, los lechos de ríos y lagos, en donde se produjo la deposición.

Dimensión química: la parte de los sedimentos constituida por limo y arcilla (< 63  $\mu$ m) es transmisora primaria de productos químicos adsorbidos, especialmente fósforo, plaguicidas clorados y la mayor parte de los metales, que son transportados por los sedimentos al sistema acuático.

### **2.3.2.7. Aumento de la temperatura**

Se menciona en la contaminación térmica; ayuda a disminuir el oxígeno existente en el agua y con la vulnerabilidad de la vida acuática.

En Guatemala existe baja calidad del agua, esta se abastece en los hogares y cobra costo en la salud humana. En el 2003, las enfermedades intestinales (parasitosis intestinal y enfermedad diarreica aguda) ocuparon el segundo y tercer lugares como causas de morbilidad general (responsable del 17,2 % del total de causas) y de morbilidad en el grupo de niños de uno a cuatro años. En el grupo de menores de un año, el síndrome diarreico agudo, ocupó el segundo lugar y el parasitismo intestinal, el sexto. En el 2004 hubo 3 636 muertes por enfermedad diarreica aguda, 51 % en hombres y 24 % en niños y niñas menores de un año. La tasa de mortalidad general por diarrea fue de 42,9 por 100 000 habitantes, según la Organización Panamericana de la Salud –OPS–.

## **2.4. Índices de calidad del agua**

El índice de calidad como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en la calidad del agua, es una manera de evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que este índice sea práctico se debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple. Por otro lado, si el diseño del índice es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencia.

Los índices de calidad del agua, son las expresiones matemáticas en donde se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Fisicoquímicos: como las concentraciones, sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua.
- Biológicos: en ésta se incluye la biota acuática, su composición y estado.
- No acuáticos: los cambios que existen debido a factores intrínsecos y externos del sistema acuático.

### **2.4.1. Índices fisicoquímicos**

En estos se encuentran los índices de calidad fisicoquímicos, de contaminación fisicoquímica y el índice de saturación de Langellier.

#### **2.4.1.1. Índices de calidad fisicoquímica**




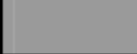
Es una herramienta que permite obtener un valor numérico adimensional calculado con varios parámetros fisicoquímicos individuales. Los más utilizados en la actualidad son:

##### **2.4.1.1.1. Índice de calidad del agua (ICA)**

Este índice es una versión modificada realizada por Brown del índice "WQI" (por sus siglas en inglés *water quality index*) que fue realizado por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. En este índice se utilizan 9 parámetros los cuales son: coliformes fecales, DBO<sub>5</sub>, fosfatos, cambio en la temperatura, sólidos disueltos totales, nitratos, oxígeno disuelto, pH y turbidez.

Este índice adopta un valor de 100 cuando se encuentra con excelente calidad, mientras más contaminado se encuentre va disminuyendo el valor. Después de realizar el cálculo de este índice se clasifica de esta manera:

Tabla I. **Clasificación del ICA propuesto por Brown**

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>.

Consulta: 15 de marzo del 2018.

Para realizar el cálculo del ICA se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices ( $ICA_a$ ) o una función ponderada multiplicativa ( $ICA_m$ ) entonces:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i) \text{ [ecuación 1]}$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i}) \text{ [ecuación 2]}$$

Donde:

$W_i$ : 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 1.

$Sub_i$ : subíndice del parámetro  $i$ .

Para determinar el valor del ICA es necesario sustituir los datos en la ecuación 2 obteniendo los  $sub_i$  de distintas gráficas como se explicará a continuación, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  de la tabla II y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el ICA.

Tabla II. **Pesos relativos para cada parámetro del ICA**

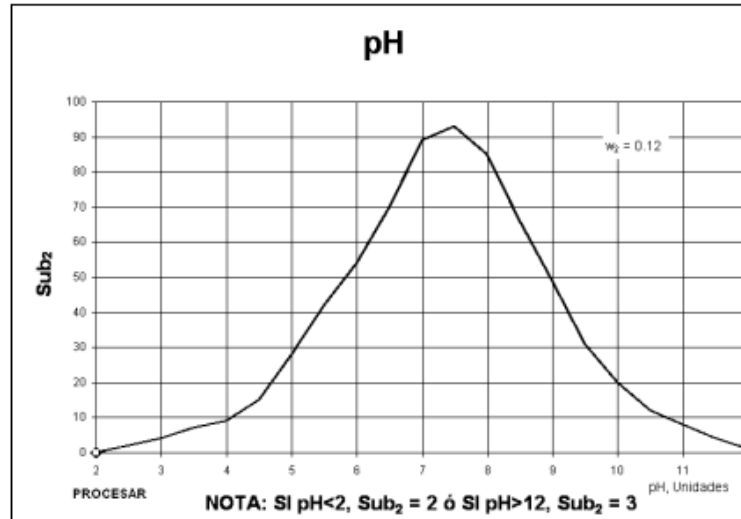
i	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
1	Coliformes fecales	0,15
2	pH	0,12
3	DBO <sub>5</sub>	0,10
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Sólidos disueltos totales	0,08
9	Oxígeno disuelto	0,17

Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador  
 Disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>.  
 Consulta: 15 de marzo del 2018.

Los pasos a seguir para calcular los sub<sub>i</sub> del índice de calidad general son:

- Si los coliformes fecales son mayores de 100 000 Bact/100 mL el (sub<sub>1</sub>) es igual a 3.
- Si el valor de coliformes fecales es menor de 100 000 Bact/100 mL, buscar el valor en el eje de (X) en la gráfica.
- Se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).
- El valor encontrado es el (sub<sub>1</sub>) de coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso w<sub>1</sub>.

Figura 1. Valoración de la calidad de agua en función de pH



Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>.

Consulta: 15 de marzo del 2018.

Valores de pH:

- Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (sub<sub>2</sub>) es igual a 2.
- sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (sub<sub>2</sub>) es igual a 3.
- Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la figura 1 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (sub<sub>2</sub>) de pH y se procede a elevarlo al peso  $w_2$ .

Valores de demanda biológica de oxígeno:

- Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (sub<sub>3</sub>) es igual a 2.
- Si la DBO<sub>5</sub> es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la gráfica se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).



- El valor encontrado es el (sub3) de DBO5 y se procede a elevarlo al peso w3.

Valores de nitratos:

- Si los nitratos son mayores de 100 mg/L el (sub4) es igual a 2.
- Si los nitratos son menores de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la gráfica se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).
- El valor encontrado es el (sub4) de nitratos y se procede a elevarlo al peso w4.

Valores de fosfatos:

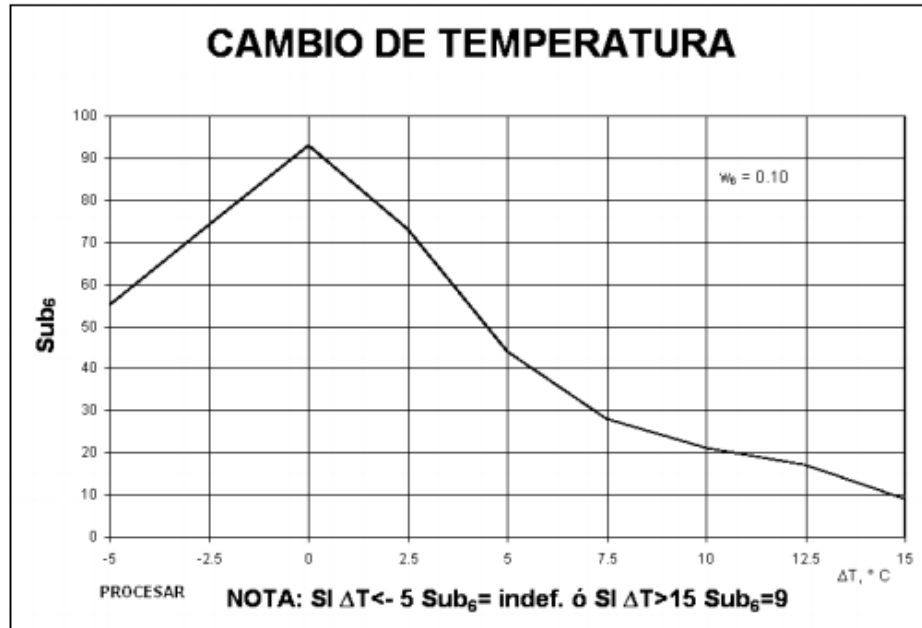
- Si el fosfato es mayor de 10 mg/L el (sub5) es igual a 5.
- Si el fosfato es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la figura.
- se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (sub5) y se procede a elevarlo al peso w5.

Valores de temperatura:

Para el parámetro de temperatura (sub5) primero hay que calcular la diferencia entre la T° ambiente y la T° muestra y con el valor obtenido proceder.

- Si el valor de esa diferencia es mayor de 15 °C el (sub5) es igual a 9.
- Si el valor obtenido es menor de 15 °C, buscar el valor en el eje de (X) en la figura 2 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (sub6) de temperatura y se procede a elevarlo al peso w6.

Figura 2. Valoración de la calidad de agua en función del cambio de temperatura



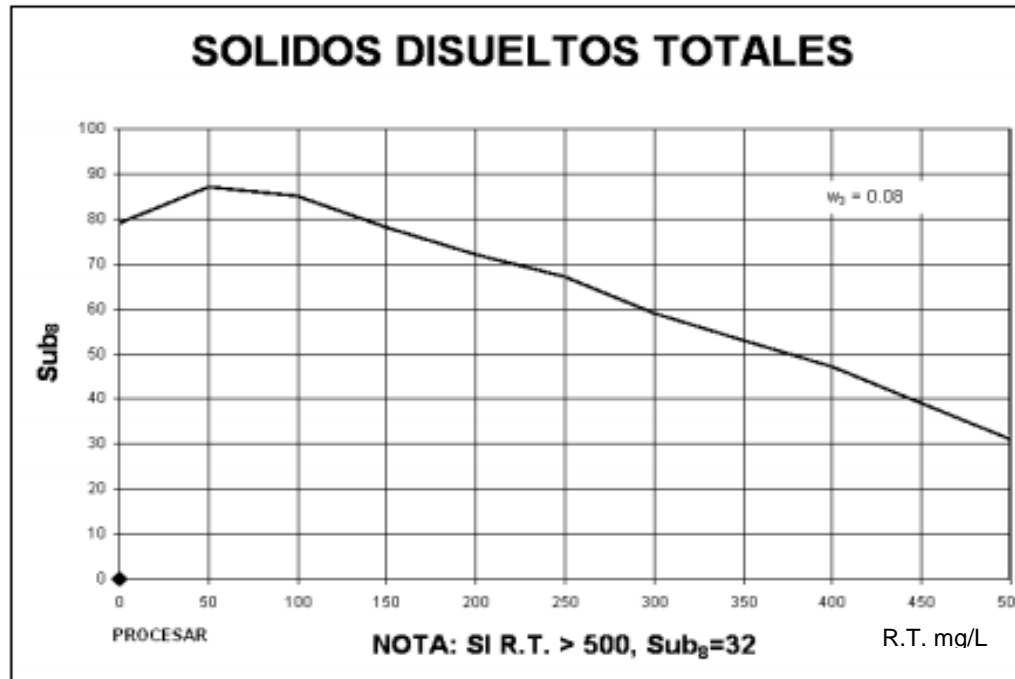
Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>.

Consulta: 15 de marzo del 2018.

Valores de sólidos disueltos:

- Si los sólidos disueltos totales son mayores de 500 mg/L el (sub8) es igual a 3.
- Si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la figura 3 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).
- El valor encontrado es el (sub8) de residuo total y se procede a elevarlo al peso w8.

Figura 3. **Valoración de la calidad de agua en función de los sólidos disueltos totales**



Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>.

Consulta: 15 de marzo del 2018.

- Si los sólidos disueltos totales son mayores de 500 mg/L el (sub8) es igual a 3.
- Si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la figura 3 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).
- El valor encontrado es el (sub8) de residuo total y se procede a elevarlo al peso  $w_8$ .

Valores de turbidez:

- Si la turbidez es mayor de 100 FAU el (sub7) es igual a 5.

- Si la turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X) en la gráfica y se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).
- El valor encontrado es el (sub7) de turbidez y se procede a elevarlo al peso w7.

Para el parámetro de oxígeno disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (tabla III).

Tabla III. **Solubilidad de oxígeno en agua dulce**

Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

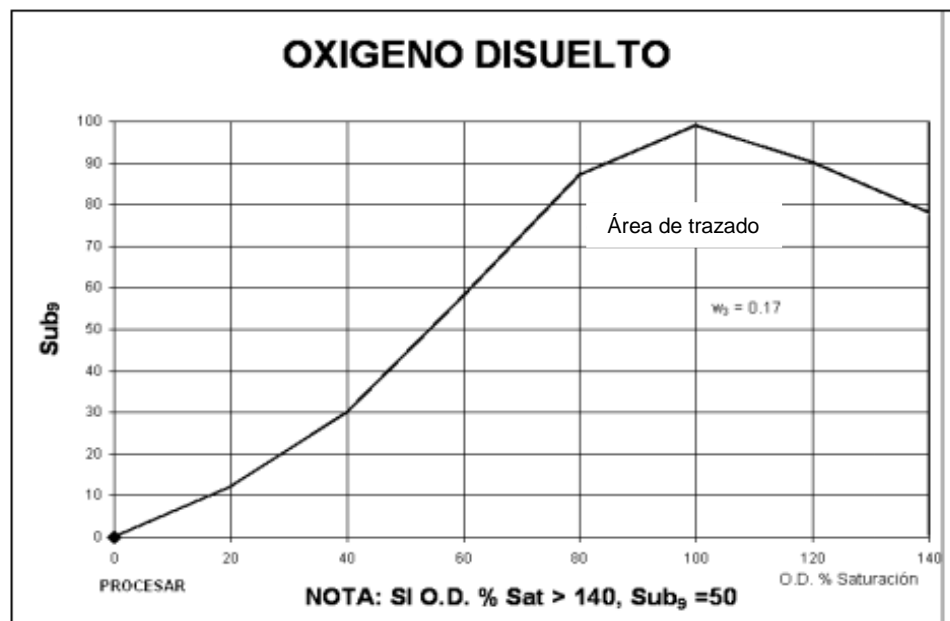
Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador  
 Disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>.

Consulta: 15 de marzo del 2018.

- Luego si el % de saturación de OD es mayor de 140 % el (sub9) es igual a 47.

- Si el valor obtenido es menor del 140 % de saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la figura 4 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).
- El valor encontrado es el (sub9) de oxígeno disuelto y se procede a elevarlo al peso  $w_9$ .

Figura 4. **Valoración de la calidad de agua en función del oxígeno disuelto**



Fuente: SNET. Índice de calidad del agua general ICA. [En línea] El Salvador Disponible en web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>. Consulta: 15 de marzo del 2018.

#### 2.4.1.1.2. Índice simplificado de calidad de aguas (ISCA)

Para este índice se necesita tener otros índices para completar una visión real de la situación. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$ISCA = E * (A + B + C + D) \text{ [ecuación \# 3]}$$

Donde:

- E: temperatura del agua (en °C), éste puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:
  - $E=1$  si  $T \leq 20$  °C. [ecuación #4]
  - $E = 1 - ((T - 20) * 0,0125)$  si  $T > 20$  °C [ecuación #5]
  
- A: demanda química orgánica según la oxidación al permanganato (DQO-Mn en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:
  - $A=30-DQO-Mn$  si  $DQO-Mn \leq 110$  mg/l [ecuación #6]
  - $A = 21 - (0,35 * DQO-Mn)$  si  $60 \text{ mg/l} \geq DQO-Mn > 10$  mg/l [ecuación #7]
  
- A partir del 2003 se empezó a calcular mediante el parámetro COT, en mg/l, donde además estima la materia orgánica que contiene el agua.
  - $A=30 - COT$  si  $COT \leq 5$  mg/l [ecuación #8]
  - $A=21 - (0,35 * COT)$  si  $12 \geq COT > 5$  mg/l [ecuación #9]
  - $A=0$  si  $COT > 12$  mg/l [ecuación #10]
  
- B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/l), puede tomar valores comprendido entre 0 y 25 según:
  - $B=25 - (0,15 * SST)$  si  $SST \leq 100$  mg/l [ecuación #11]
  - $B = 17 - (0,07 * SST)$  si  $250 \text{ mg/l} \geq SST > 100$  mg/l [ecuación #12]
  - $B = 0$  si  $SST > 250$  mg/l [ecuación #13]
  
- C: oxígeno disuelto (O<sub>2</sub> en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

- $C=2,5 * O_2$  si  $O_2 < 10$  mg/l [ecuación #14]
  - $C= 25$  si  $O_2 \geq 10$  mg/l [ecuación #15]
  - D: conductividad (CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $18\text{ }^\circ\text{C}$ ). Si la conductividad se mide a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , para obtener la conversión a  $18\text{ }^\circ\text{C}$  se multiplicará por 0,86 según:
    - $D=(3,6 - \log CE) * 15,4$  si  $CE \leq 4\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$  [ecuación #16]
    - $D=0$  si  $CE > 4\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$  [ecuación #17]
- El ISCA va a encontrarse entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima)

#### **2.4.1.1.3. Índice automático de calidad de aguas (IAQA)**

Es una variante del ISCA, en donde los valores de los parámetros se obtienen de redes automáticas de control, lo que facilita en tiempo real y en continuo. El parámetro COT se utiliza como parámetro A y en el parámetro B la turbidez.

#### **2.4.1.2. Índices de contaminación fisicoquímica**

En éstos índices se obtienen valores adimensionales entre 0 y 1 en donde, al contrario de los de calidad fisicoquímica, si el valor está cercano a 0 indica una baja contaminación en el agua y si el valor está cercano a uno tiene una alta contaminación.

##### **2.4.1.2.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)**

Este índice expresa la agrupación de la conductividad contenida en los sólidos disueltos en la corriente del agua, la dureza basada en la concentración

de cationes de calcio y magnesio y la alcalinidad expresada a través del contenido de aniones de bicarbonato y carbono.

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):

Se obtiene a través de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{coliformes} + I_{oxigeno\%}) \text{ [ecuación \#18]}$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO \text{ (} \frac{mg}{l} \text{)} \text{ [ecuación \#19]}$$

DBO > 30mg/l se le da un valor de 1

DBO < 2mg/l se le da un valor de 0

$$I_{coliformes} = -1,44 + 0,56 \log_{10} coliformes \text{ totales (} \frac{NMP}{100 \text{ mL}} \text{)} \text{ [ecuación \#20]}$$

Col. T > 20 000 NMP/100mL se le asigna un valor de 1

Col. Tot < 500 NMP/100mL se le asigna un valor de 0

$$I_{oxigeno\%} = 1 - 0,01 * Oxigeno\% \text{ [ecuación \#21]}$$

oxígeno (%) > 100 % tiene un valor de 0

Nota: el oxígeno está expresado en porcentaje de saturación de oxígeno, 20 °C = 9,4 mg/l.

Para sistemas lénticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100 % se sugiere reemplazar por:

$$I_{oxigeno} = 100 \% * Oxigeno\% - 1 \text{ [ecuación \# 22]}$$



#### **2.4.1.2.2. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)**

Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

#### **2.4.1.2.3. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)**

Se calcula sobre la base de la concentración de fósforo total, este parámetro en exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico; la determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico. Dependiendo de la cantidad de fósforo total obtenido, se determina el grado de eutrofización que tiene el cuerpo de agua:

- Oligotrofia: < 0,01
- Mesotrofia: 0,01 – 0,02
- Eutrofia: 0,02 – 1,00
- Hipereutrofia: > 1,00

#### **2.4.1.3. Índice de saturación de Langellier (ISL)**

Este índice a determinar las tendencias corrosivas e incrustantes en el agua para uso doméstico o industrial. En este cálculo se utilizan los siguientes parámetros: pH, temperatura, dureza de calcio y alcalinidad total.

El rango ideal para el índice de Langellier es de -0,3 a +0,3.

Si el ISL es menor a -0,3 se considera corrosivo y si se obtiene un ISL mayor a 0,3 es tendencia de agua incrustante.

#### **2.4.2. Índices biológicos**

Estos índices brindan un valor adimensional que demuestra los efectos de la contaminación en una comunidad biológica específica; se basa en verificar las actividades de las comunidades con respecto al ecosistema en el que se encuentren. La existencia de alguna especie o la ausencia de ésta y la densidad o abundancia, determinará la calidad del cuerpo de agua en el que se encuentren. Éstos índices complementan a los índices fisicoquímicos, ya que pueden determinar el estado del agua en un tiempo prolongado, pero no identificar los agentes contaminantes existentes.

## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1. Variables**

Se determinaron las variables para obtener el índice simplificado de calidad del agua para el río Bijagüe de la ciudad de Guatemala, en las dos épocas del año siendo estas: seca y lluviosa.

#### **3.1.1. Variables independientes**

- ISCA
- DQO
- Temperatura
- Conductividad
- Sólidos suspendidos totales
- Oxígeno disuelto
- Coliformes totales

#### **3.1.2. Variables dependientes**

- Puntos de muestreo

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

La delimitación del campo de estudio de ésta investigación se encuentra dentro del campo de la Ingeniería Química, debido a que el enfoque principal es determinar la calidad del agua del río Bijagüe, con el fin de evaluar la influencia estacional.

El campo de estudio como se mencionó anteriormente, es de la calidad de agua enfocándose en las variaciones que esta posea en la época hidrometeorológica del año.

Finalmente la línea de investigación es el índice fisicoquímico de calidad de agua simplificado (ISCA); utilizando los parámetros fisicoquímicos como indicadores.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigadora: Frida Yamilet Andrea Navichoque Pérez
- Asesor: Ingeniero Químico Jorge Mario Estrada Asturias
- Asesora Técnico-Administrativo de la Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala: Ingeniera Beatriz Ramírez.
- Coordinador del proyecto: Jonhatan Sican

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

- Equipo de protección personal:
  - Botas de hule
  - Guantes de látex
- Equipo para la recolección de muestras:
  - Botes de plástico con tapón hermético
  - Cámara digital
  - Hojas de toma de datos
  - Dispositivo GPS
  - Multiparamétrico
  - Hielera
- Equipo de laboratorio:

- Determinación de sólidos suspendidos totales:
  - Cristalería e instrumentos:
    - ✓ *Kitasato*
    - ✓ Pipeta
    - ✓ Perilla de succión
    - ✓ Pinzas
    - ✓ Filtro de membrana
    - ✓ Crisol
    - ✓ Filtro de membrana
    - ✓ Cronometro
  - Equipo:
    - ✓ Horno
    - ✓ Balanza analítica
    - ✓ Bomba de vacío
- Determinación de DQO
  - Cristalería e instrumentos
    - ✓ *Beacker*
    - ✓ Pipeta
    - ✓ Perilla de succión
    - ✓ Tubos de ensayo
    - ✓ Rejillas para tubos de ensayo
  - Equipo
    - ✓ Digestor de DQO
    - ✓ Espectrofotómetro
    - ✓ Reactor
  - Reactivos:
    - ✓ Agua destilada.
    - ✓ Viales de oxidación con permanganato de la misma marca que el reactor y el espectrofotómetro.

- ✓ Muestra de agua.

### **3.4.1. Materiales**

Materia prima necesaria para realizar el estudio: muestras de recurso hídrico, para obtener los resultados de los análisis de cada parámetro involucrado en el cálculo del índice ISCA.

### **3.5. Técnica cuantitativa**

Se efectuará una técnica cuantitativa con referencia al cálculo del índice simplificado de calidad del agua y la correlación que posea a los puntos de muestreo.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de información**

La información primaria son los datos puntuales de las variables independientes del índice y debido a que algunos se obtuvieron de manera directa y otros de manera indirecta, por lo cual se necesitó realizar un ordenamiento de la información para la determinación final del índice.

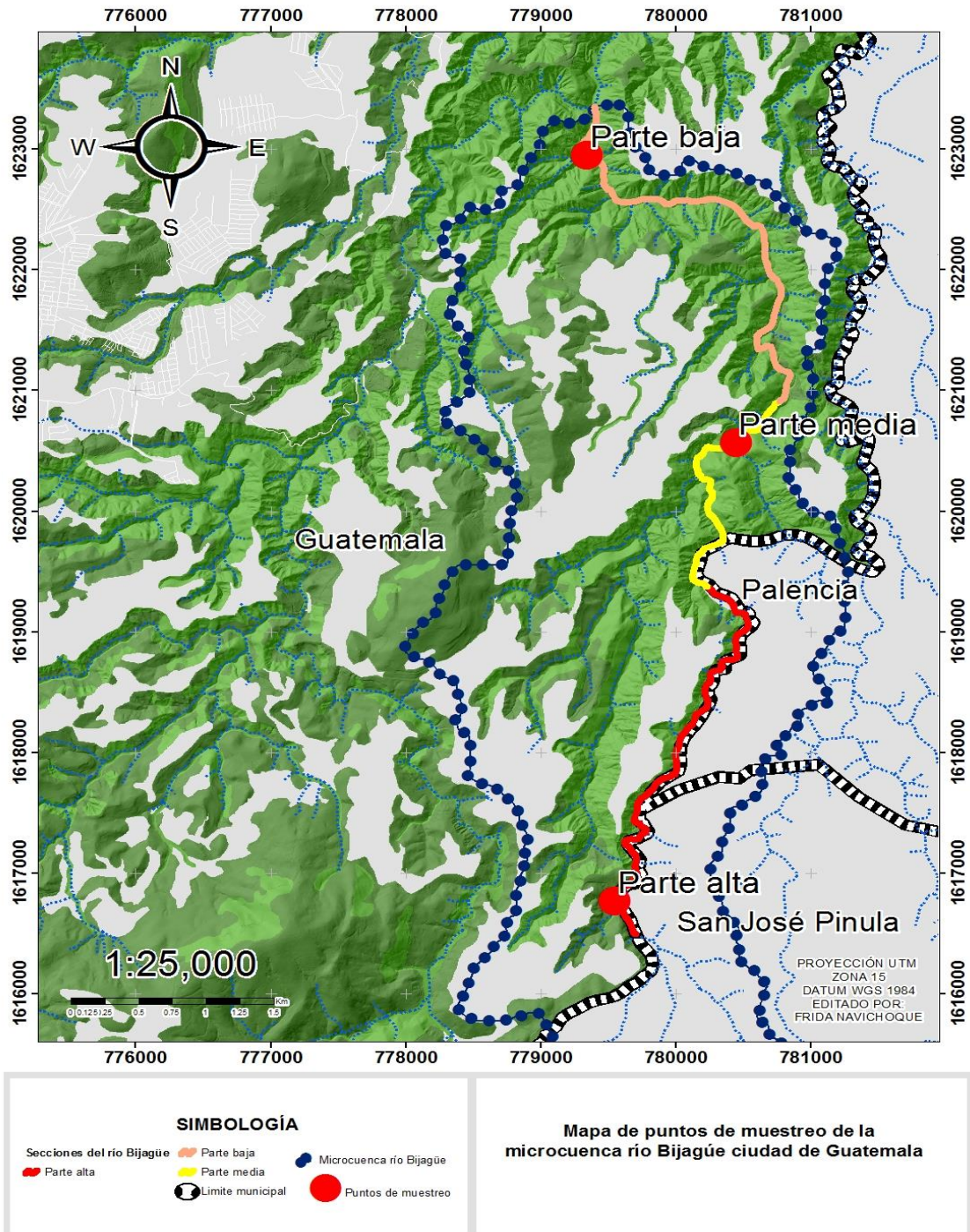
#### **3.6.1. Ubicación de la recolección**

La recolección de los datos se realizará en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. A partir de muestras de recurso hídrico captadas en el río Bijagüe zona 25, ciudad de Guatemala.

### **3.6.2. Proceso de recolección de muestras**

- Selección del sitio: se debe elegir un lugar del río representativo, siendo estos de fácil acceso.
- Puntos de muestreo: se deben seleccionar tres puntos de muestreo en la parte alta, media y baja del trayecto del río. Para que el muestreo sea representativo, se debe de repetir dos veces, uno en época seca y el otro en época lluviosa, para hacer un total de 30 muestras.
- Captación de la muestra: se debe captar un galón de muestra de agua para luego llevarlos al laboratorio.

Figura 5. Mapa de los puntos de muestreo del río Bijagüe



Fuente: elaboración propia.



### **3.6.2.1. Procedimiento para la toma de muestra**

1. Ubicarse lo más centrado posible al cauce del río.
2. Sumergir el recipiente 15 a 20 cm sin tocar el fondo en dirección contra corriente.
3. Llenar el recipiente y tapanlo.
4. Agitar el recipiente.
5. Desechar la muestra en dirección opuesta a donde se está haciendo la captura.
6. Repetir el procedimiento de los pasos 2 al 5, 2 veces.
7. Realizar la toma de la muestra siguiendo los pasos 2 y 3
8. Realizar la medición de los parámetros *in situ* (ver apéndice utilización del Multiparamétrico).

### **3.6.2.2. Manejo de muestras**

- Las muestras tomadas deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4 y 10 °C, cuidando de no congelar las muestras.
- El periodo máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis para el análisis físicoquímico, depende de la preservación empleada para cada parámetro (véase figura 15 del apéndice).

### **3.6.2.3. Identificación y control de muestras**

Para el control de la muestra se lleva un registro con los datos indicados en la etiqueta del frasco o envases, con la siguiente información mínima:



temperatura a 148 °C por dos horas y luego se deja enfriar. Posteriormente se hace la lectura en un espectrofotómetro.

Procedimiento:

1. Encender el reactor.
2. Poner a calentar el reactor a temperatura de 148 °C.
3. Desechar un poco de agua del recipiente donde está contenida la muestra.
4. Agitar la muestra.
5. Colocar cuatro viales en la rejilla para tubos de ensayo y destaparlos.
6. Agregar 2mL de agua destilada al primer vial (el blanco) con la pipeta y taparlos.
7. Agregar 2mL de la muestra (parte alta) al vial, taparlo e identificarlo.
8. Succionar con la pipeta unos 5mL de la muestra y desecharla.
9. Realizar el paso anterior 2 veces más.
10. Realizar el paso 7 al 9 con las demás muestras (parte media, baja del río).
11. Verificar que estén bien sellados los viales.
12. Sostener los viales del tapón y agitarlos, tener precaución ya que la reacción es exotérmica por tanto libera calor.
13. Colocar los viales dentro del reactor por 2 horas a 148 °C.
14. Sacar los viales del reactor.
15. Dejar enfriar por media hora.
16. Encender el espectrofotómetro.
17. Buscar el programa DQO a 40mg/L (código 431 de hatch) y darle aceptar
18. Insertar el vial del blanco.
19. Fijar el blanco.
20. Retirar el vial.

21. Colocar el vial con la primera muestra.
22. Analizar el vial y anotar el resultado.
23. Realizar los dos pasos anteriores con las demás muestras.

### 3.6.3.2. Sólidos suspendidos totales

Procedimiento:

1. Pesar el filtro de membrana.
2. Insertar el filtro en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba.
3. Aplicar vacío.
4. Lavar el filtro con tres porciones sucesivas.
5. Secar en el horno a 103-105 °C por 1 hora.
6. Dejar enfriar en un desecador.
7. Pesar la muestra.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla IV. Resultados del índice de calidad de agua

Estación	Seca			Lluviosa		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Índice						

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Parámetros fisicoquímicos muestreo (x)**

Parámetro	Estación seca			Estación lluviosa		
	Punto alto	Punto medio	Punto bajo	Punto alto	Punto medio	Punto bajo
Temperatura (°C)						
DQO (mg/L)						
Sólidos suspendidos totales (mg/L)						
Oxígeno disuelto (mg/L)						
Conductividad (µS)						

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se utilizó principalmente para comprobar los dos tipos de hipótesis ya que con base en este se aprueba o se anula la hipótesis planteada.

#### 3.8.1. Análisis de varianza

Para realizar la prueba de hipótesis se realizó el análisis de varianza con base en la F teórica y la F crítica de Fisher, siendo este análisis de varianza de un factor, que se llevó a cabo por medio de Microsoft Excel 2010.

A partir de este análisis se obtienen dos factores siendo: F teórica de Fisher y la F crítica de Fisher la cual es la calculada por el programa, con esto se realiza el análisis de la prueba de hipótesis siguiente criterio de comparación:

- Si  $F \text{ teórica} > F \text{ crítica}$  se rechaza la hipótesis nula.
- Si  $F \text{ teórica} < F \text{ crítica}$  se acepta la hipótesis nula.

### **3.8.2. Análisis de correlación lineal**

Para realizar el análisis de correlación lineal utilizó el coeficiente de correlación del Pearson. Se puede definir el coeficiente de correlación de Pearson como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas. Dicho análisis se realizó con el programa de Microsoft Excel 2010.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo  $[-1,1]$ , indicando el signo el sentido de la relación:

- Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.
- Si  $r = 0$ , no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.

- Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

Con la R de Pearson al cuadrado se puede observar que tan significativa es la correlación antes mencionada ya que:

- Si  $R^2$  es cercano a uno existe un alto grado de correlación.
- Si  $R^2$  es lejano a uno existe un bajo grado de correlación.

### **3.9. Plan de análisis de los resultados**

Se realizó la prueba de las hipótesis determinando las ANOVAS y la R de Pearson, según el procedimiento antes descrito.

#### **3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

- Análisis de varianza de Fisher (ANOVAS).
- Análisis de correlación lineal (R de Pearson).

#### **3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos**

- Microsoft Excel 2010.





## 4. RESULTADOS

Tabla VI. **Resultados de muestreo época seca del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala**

ÉPOCA SECA	PARTE	FECHA	TEMP	DQO	SST	O2	CE	T
	Alta	14/04/2016	21,660	25,600	263,000	3,700	417,100	0,979
	Media		22,900	6,900	145,000	5,200	238,220	0,964
	Baja		24,600	7,500	158,000	5,300	291,000	0,943
	Alta	21/04/2016	22,400	10,500	271,000	3,790	501,000	0,970
	Media		21,090	10,200	150,000	6,520	281,000	0,986
	Baja		21,530	10,100	167,000	6,420	315,000	0,981
	Alta	28/04/2016	21,000	20,400	238,000	3,480	439,000	0,988
	Media		21,700	7,500	158,000	6,420	274,000	0,979
	Baja		24,000	6,500	173,000	6,200	276,000	0,950
Alta	5/05/2016	22,100	10,000	200,000	5,390	7,000	0,974	
Media		22,300	9,350	157,000	5,560	314,000	0,971	
Baja		24,500	9,110	160,000	5,570	291,000	0,944	
Alta	2/06/2016	21,400	2,000	215,000	3,580	435,000	0,983	
Media		21,700	1,300	162,000	5,150	327,000	0,979	
Baja		23,600	1,500	142,000	5,060	289,000	0,955	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resultados de ISCA época seca del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala**

<b>ÉPOCA SECA</b>	<b>PARTE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>ISCA</b>	<b>RESULTADO</b>
	Alta	12,040	0,000	9,250	15,088	35,623	Mala
	Media	23,100	6,850	13,000	18,835	59,545	Regular
	Baja	22,500	5,940	13,250	17,496	55,783	Regular
	Alta	17,325	0,000	9,475	13,862	39,443	Mala
	Media	17,430	6,500	16,300	17,730	57,170	Regular
	Baja	17,465	5,310	16,050	16,966	54,724	Regular
	Alta	13,860	0,340	8,700	14,746	37,175	Mala
	Media	22,500	5,940	16,050	17,899	61,063	Regular
	Baja	23,500	4,890	15,500	17,850	58,653	Regular
	Alta	20,000	3,000	13,475	42,425	76,829	Buena
	Media	20,650	6,010	13,900	16,987	55,893	Regular
	Baja	20,890	5,800	13,925	17,496	54,842	Regular
	Alta	28,000	1,950	8,950	14,807	52,767	Regular
	Media	28,700	5,660	12,875	16,716	62,592	Regular
	Baja	28,500	7,060	12,650	17,542	62,793	Regular

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Resultados de muestreo época lluviosa del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala**

ÉPOCA LLUVIOSA	PARTE	FECHA	TEMP	DQO	SST	O2	CE	T
	Alta	6/09/2016	20,280	2,700	2,6	7,693	193,490	0,997
	Media		20,300	2,100	4,69	8,513	187,910	0,996
	Baja		20,970	1,900	6,2	8,585	198,255	0,988
	Alta	13/09/2016	20,250	2,500	4,05	7,110	167,200	0,997
	Media		20,200	2,000	4,6	7,720	152,270	0,998
	Baja		20,490	2,200	5,85	7,760	170,220	0,994
	Alta	20/09/2016	20,780	6,900	3	8,980	183,900	0,990
	Media		20,930	6,000	4,9	9,100	213,700	0,988
	Baja		20,930	5.800	5,05	9,010	213,700	0,988
	Alta	4/10/2016	20,600	2,300	5,1	7,530	166,980	0,993
	Media		19,850	3,300	17,72	8,370	154,900	1,000
	Baja		20,590	11,400	37,71	9,310	172,000	0,993
	Alta	11/10/2016	19,490	8,000	1,85	7,150	255,900	1,000
	Media		20,220	10,000	1,35	8,860	230,800	0,997
	Baja		21,870	10,000	1,2	8,260	237,100	0,977

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resultados de ISCA época lluviosa del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala**

ÉPOCA LLUVIOSA	PARTE	A	B	C	D	ISCA	RESULTADO
	Alta	27,300	24,610	19,233	20,225	91,048	Buena
	Media	27,900	24,297	21,283	20,421	93,548	Buena
	Baja	28,100	24,070	21,463	20,063	92,559	Buena
	Alta	27,500	24,393	17,775	21,202	90,586	Buena
	Media	28,000	24,310	19,300	21,828	93,204	Buena
	Baja	27,800	24,123	19,400	21,082	91,839	Buena
	Alta	23,100	24,550	22,450	20,565	89,781	Buena
	Media	24,000	24,265	22,750	19,561	89,523	Buena
	Baja	24,200	24,243	22,525	19,561	89,476	Buena
	Alta	27,700	24,235	18,825	21,211	91,281	Buena
	Media	26,700	22,342	20,925	21,713	91,680	Buena
	Baja	17,010	19,344	23,275	21,013	80,047	Buena
	Alta	22,000	24,723	17,875	18,356	82,953	Buena
	Media	20,000	24,798	22,150	19,046	85,757	Buena
Baja	20,000	24,820	20,650	18,866	82,365	Buena	

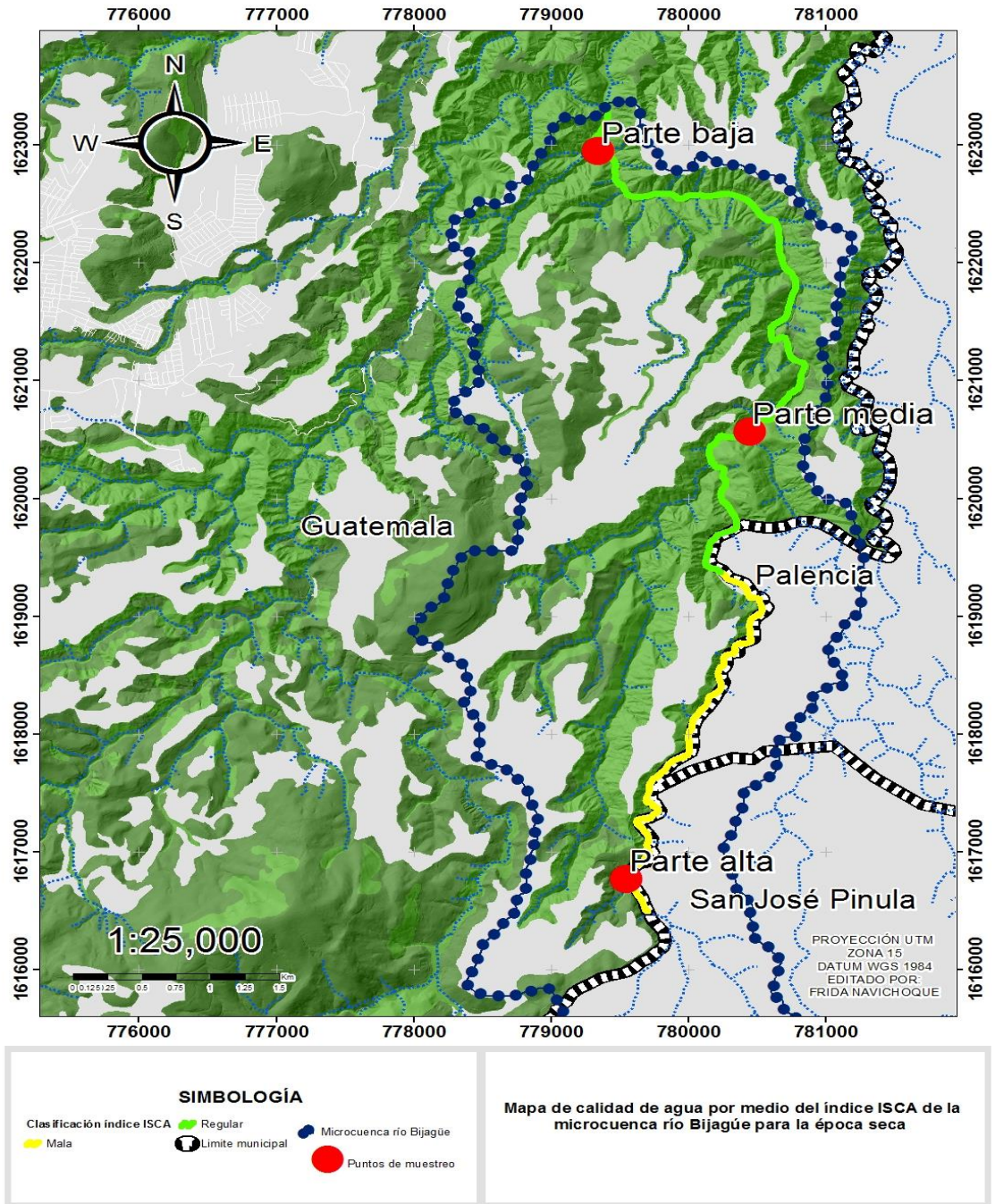
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resumen de los resultados del ISCA del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala**

Rango	Valor	Época seca			Época lluviosa		
		Parte	ISCA X	Resultado	Parte	ISCA X	Resultado
0-25	Pésima						
26-50	Mala	Alta	48,368	Mala	Alta	89,130	Buena
51-75	Regular	Media	59,253	Regular	Media	90,743	Buena
76-100	Buena	Baja	57,359	Regular	Baja	87,257	Buena

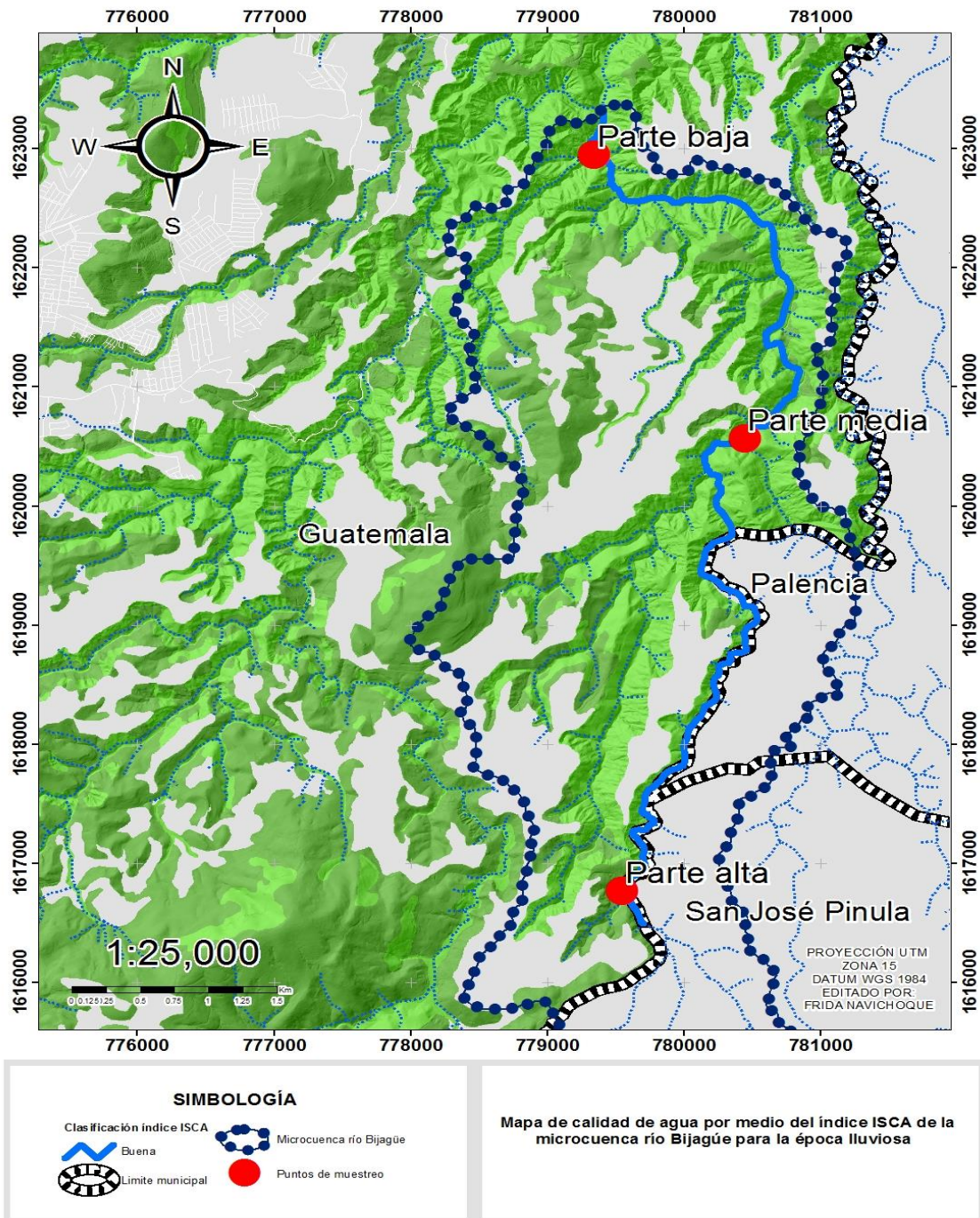
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Mapa del ISCA del río Bijagüe época seca



Fuente: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Medio Ambiente, base de datos de georreferencia.

Figura 7. Mapa del ISCA del río Bijagüe época lluviosa



Fuente: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Medio Ambiente, base de datos de georreferencia.

Tabla XI. **Análisis de varianza época seca**

ISCA época seca			
Muestreo	Alta	Media	Baja
1	35,62345133	59,544846	55,7828502
2	39,44262405	57,1702187	54,7240143
3	37,17547081	61,0628827	58,6530001
4	76,82935232	55,892799	54,8423015
5	52,7673883	62,5920066	62,7933254
<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
1,59288147	0,243482516	3,885293835	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis de varianza época lluviosa**

ISCA época lluviosa			
Muestreo	Alta	Media	Baja
1	91,04817087	93,548046	92,5591932
2	90,5856937	93,2041447	91,8389567
3	89,78145332	89,5230642	89,4761164
4	91,28118511	91,6802082	80,0466319
5	82,9532176	85,757186	82,3646988
<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
0,82940461	0,459843913	3,885293835	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Análisis de correlación lineal**

Época	Lluviosa	Seca
R	0,97898541	0,77307385
R <sup>2</sup>	0,95841242	0,59764317

Fuente: elaboración propia.



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A través de cinco muestreos en cada época del año que se realizaron para que los datos del muestreo fuera estadísticamente aceptables, realizándose primero los de la época seca (comprendida de mayo a junio del 2016) y posteriormente la época lluviosa (comprendida de septiembre a octubre del 2016) se determinaron los cinco parámetros correspondientes al ISCA siendo la temperatura, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctricas medidos de forma *in situ* con el multipamétrico, y la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales determinados en el laboratorio, con esto se obtuvieron las tablas VI y VIII.

A partir de estos parámetros antes mencionados se calculó las variables del índice simplificado de calidad del agua que son: A, B, C y D, las cuales se muestran en la tabla VII y IX. Se puede observar que en la tabla VII, la cual corresponde a los muestreos en la época seca, tres muestreos en la parte alta del río, el índice indica mala calidad del agua y en las partes media y baja la calidad del agua del río es regular; con esto se puede observar que existe una dilución natural de los contaminantes a medida que avanza el río en su cauce.

Por otro lado en la tabla IX correspondiente a la época lluviosa del año, el índice indica buena calidad del agua en todo el río por el efecto de dilución que tienen los contaminantes por escorrentía de la lluvia, ya que tienden a mejorarse en todos los puntos de muestreo en todas las estaciones.

Es importante mencionar que en los muestreos cuatro y cinco de la época lluviosa siendo estos de septiembre a octubre del 2016 se cambió el orden de la toma de muestras debido a derrumbes en la carretera, los cuales impedían el

paso ocasionados por las lluvias torrenciales; esto afecto medianamente al orden en el que se estaban presentando los resultados ya que al tomarlos en el orden de los puntos alto, medio y bajo se obtenían resultados en forma ascendente, y con el cambio del orden de muestreo esta tendencia se invirtió como se puede observar en la tabla VIII en las columnas de sólidos suspendidos, DQO y temperatura, lo cual parece relevante para próximos muestreos realizados para la institución.

En las figuras 12 y 13 se pueden observar los promedios de los resultados en la época seca (figura 12) y en la época lluviosa (figura 13) los cuales son mapas que presentan claramente la tendencia del río a medida que este avance en su cauce según su ubicación.

Posteriormente a estos resultados se realizó el análisis de varianza para la época seca (tabla XI) y para la época lluviosa (tabla XII), como parte de la prueba de las hipótesis en donde se determinó que en las dos épocas la  $F$  crítica es mayor que la  $F$  teórica de Fisher, por lo tanto se aprueba la hipótesis nula la cual dice existe una correlación lineal entre el índice fisicoquímico (ISCA) y los puntos de muestreo, que expliquen la calidad del agua del río Bijagüe por lo tanto al variar los puntos de muestreo varia el ISCA, ya que estas variables están correlacionadas entre sí independientemente de la época del año.

Complementario al análisis de varianza se realizó el análisis de correlación lineal con la prueba de la  $R$  de Pearson, el cual indica que tan significativa es la correlación, se puede observar en tabla VIII que la correlación es negativa para ambas épocas del año, sin embargo, la correlación existe alto grado de correlación lineal en la época lluviosa y mediano grado de correlación en la época seca, esto quiere decir que si se muestrea en el orden de los puntos

bajo, medio y alto (ascendente), el ISCA se comportará de manera inversa, siendo esta correlación más significativa en la época lluviosa que en la época seca.



## CONCLUSIONES

1. El índice simplificado de calidad del agua en la época seca del 2016 presenta mala calidad del agua en la parte alta, con un promedio de 48 y regular calidad del agua en las partes media y baja del río con promedio de 58.
2. El índice simplificado de calidad del agua en la época lluviosa del 2016 presenta buena calidad del agua en todo el cauce del río con un promedio de 89 debido a los efectos de dilución de la escorrentía.
3. Debido a que hay variación de los resultados del índice en las dos épocas del año, sí existe una influencia estacional del ISCA, siendo positiva, siempre que sea en el paso de época seca a época lluviosa ya que puede observarse que el agua se mejora en el cien por ciento de los casos.



## RECOMENDACIONES

1. Ejecutar un análisis más completo de los contaminantes presentes en la microcuenca de la época seca del año.
2. Efectuar una comparación de los resultados con otro tipo de índices biológicos, ya que se observó una cantidad significativa de seres vivos.
3. Realizar la toma de las muestras en un orden establecido de cada punto ya que, al variar los puntos varían los resultados como se puede observar en la tabla VIII en las columnas de DQO y SST en donde la tendencia del muestreo tres y cuatro varia con respecto a las demás, debido a que estos muestreos la toma de muestras se realizó invertida a la habitual.
4. Elaborar un plan de intervención en educación sanitaria para la parte alta del río ya que en la época seca esta parte del río posee mala calidad del agua.





## BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA CAMPOS, Esteban. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab, departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2013. 113 p.
2. AMBIENTUM. *Características físicas y organolépticas*. [en línea]. web:[http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/Caracteristicas\\_fisicas\\_y\\_organolepticas.asp#](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Caracteristicas_fisicas_y_organolepticas.asp#). Consulta: 5 octubre de 2017.
3. CARBOTECNIA. *Sólidos disueltos totales*. [en línea] - - - - - <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/solidos-disueltos-totales-tds/>. Consulta: 16 de octubre de 2017.
4. IARNA. *Calidad del agua*. [en línea] - - - - - [http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3\\_Calidad\\_del\\_agua.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf). Consulta: 4 de octubre del 2017.
5. INSPIRACTION. *Contaminación del agua*. [en línea] - - - - <https://www.inspiration.org/cambioclimatico/contaminacion/contaminacion-del-agua>. Consulta: 11 de octubre de 2017.
6. LENNTECH. *Nitratos*. [en línea] <http://www.lenntech.es/nitratos.htm>. Consulta: 9 de octubre de 2017.

7. MARTÍNEZ ROJAS, Oswaldo. *Determinación de la calidad físicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico*. Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2012. 146 p.
8. ONU. *Calidad del agua*. [en línea] 2016. - - - - -  
<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.  
 Consulta: 4 de octubre del 2017.
9. PRTR. *Carbono orgánico total (COT) (Como c total o DQO/3)*. [en línea] <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html>. Consulta: 12 de octubre de 2017
10. RIVERA MÉNDEZ, Jorge. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*. Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 162 p.
11. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua*. 3a ed. Escuela colombiana de ingeniería, Colombia, 2009. 136 p.
12. RWL, Water Group. *Parámetros físicoquímicos del agua*. [en línea] [http://www.unitek.com.ar/productos-lecho-mixto.php?id\\_lib\\_tecnica=6](http://www.unitek.com.ar/productos-lecho-mixto.php?id_lib_tecnica=6). Consulta: 6 de octubre de 2017.

13. SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico*. 1a ed. Universidad de Medellín-Colombia, 2011. 213 p.
14. SNET. *Índice de Calidad del agua, ICA*. [en línea] <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>. Consulta: 10 de octubre de 2017.
15. USGS. *A primer on water quality*. [en línea] <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/>. Consulta: 5 de octubre de 2017.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Metodología de cálculo

- Promedio:

$$\text{Promedio} = (\sum x_n) / n$$

Dónde:

$X_n$  = cantidad (n) de muestras

N = número de muestras

- Sólidos suspendidos totales:

Los sólidos suspendidos pueden ocasionar deposición de lodos y condiciones anaerobias, cuando los desechos no tratados son vertidos al medio acuático esto puede provocar adsorción de contaminantes orgánicos y metales pesados a través del sólido. La materia suspendida protege a los microorganismos patógenos de infecciones. Esto se determina a partir de una filtración con membrana de 45 micras como se explica a continuación utilizando los siguientes cálculos:

$$\begin{aligned} \text{sst} &= \text{mg de sólidos suspendidos totales} / \text{L} \\ &= (A - B) \times 1000 / \text{volumen de muestra, mL} \end{aligned}$$

Dónde:

A = peso del filtro + residuo seco, mg

B = peso del filtro, mg

Apéndice 2. **Cálculo del índice simplificado de calidad del agua (ISCA)**

Para este índice se necesita tener otros índices para completar una visión real de la situación. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$ISCA = E * (A + B + C + D)$$

Donde:

- Temperatura del agua (E) (en °C), este puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:

$$E = 1 \text{ si } T \leq 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$E = 1 - ((T - 20) * 0,0125 \text{ si } T > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Demanda química de oxígeno (A) (DQO) según la oxidabilidad al permanganato (DQO-Mn en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

$$A = 30 - \text{DQO-Mn si } \text{DQO-Mn} \leq 110 \text{ mg/l}$$

$$A = 21 - (0,35 * \text{DQO-Mn}) \text{ si } 60 \text{ mg/l} \geq \text{DQO-Mn} \geq 10 \text{ mg/l}$$

- Sólidos en suspensión totales (B) (SST en mg/l), puede tomar valores comprendido entre 0 y 25 según:

$$B = 25 - (0,15 * \text{SST}) \text{ si } \text{SST} \leq 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 17 - (0,07 * \text{SST}) \text{ si } 250 \text{ mg/l} \geq \text{SST} > 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 0 \text{ si } \text{SST} > 250 \text{ mg/l}$$

Continuación del apéndice 2.

- Oxígeno disuelto (C) ( $O_2$  en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$C=2,5 * O_2 \text{ si } O_2 < 10 \text{ mg/l}$$

$$C= 25 \text{ si } O_2 \geq 10 \text{ mg/l}$$

- Conductividad (D) (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 según:

$$D = (3,6 - \log CE) * 15,4 \text{ si } CE \leq 4\ 000 \mu\text{S/cm}$$

$$D = 0 \text{ si } CE > 4\ 000 \mu\text{S/cm}$$

El ISQA va a encontrarse entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima)

Rangos de valoración del ISCA

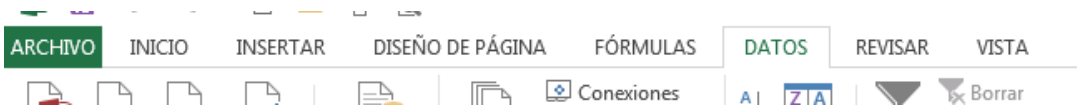
RANGO	VALOR
0-25	Pésima
26-50	Mala
51-75	Regular
76-100	Buena

Fuente: elaboración propia.

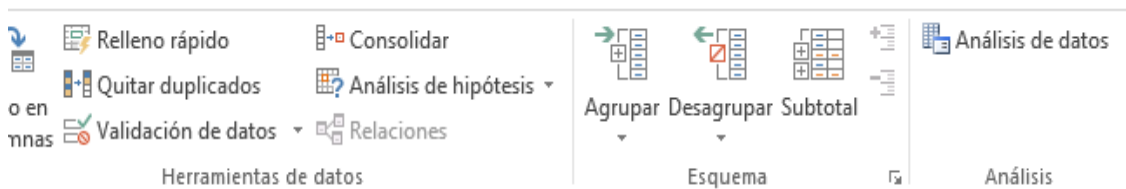
### Apéndice 3. Análisis de varianza

Para el análisis de varianza se utilizó el que presenta Microsoft Excel 2010 a partir de los siguientes pasos:

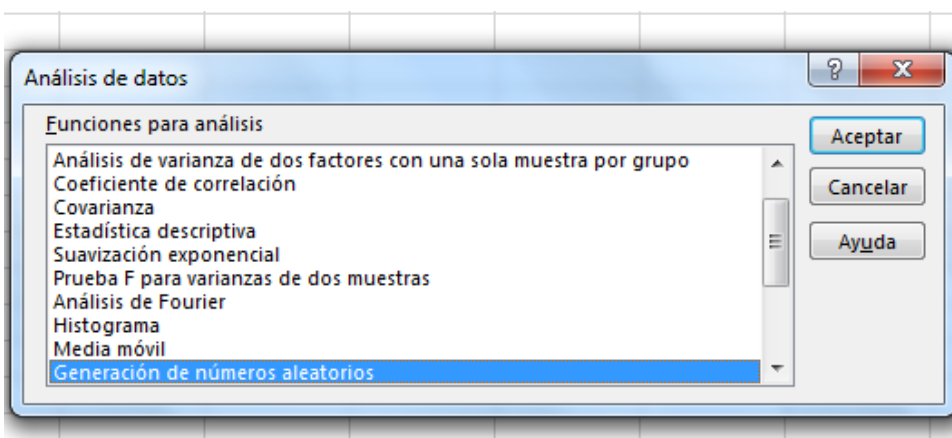
1) Seleccionar DATOS de la barra de herramientas:



2) En el cuadro de ANÁLISIS, seleccionar ANÁLISIS DE DATOS.



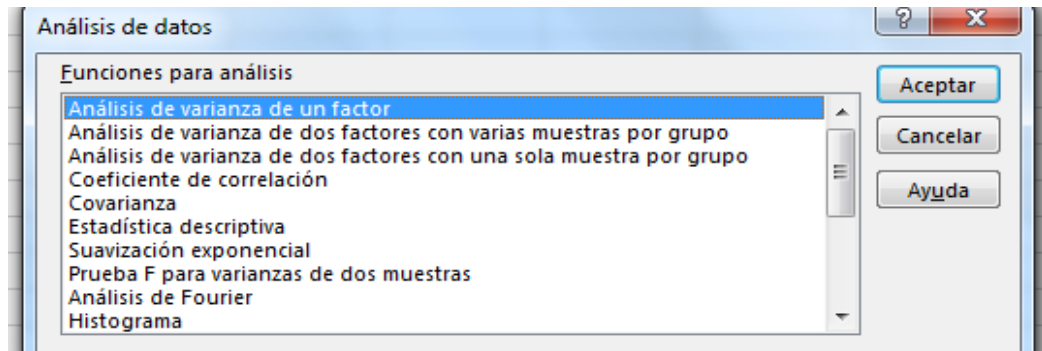
3) Posteriormente aparecerá un cuadro en el cual se presentan todas las funciones para análisis de datos.



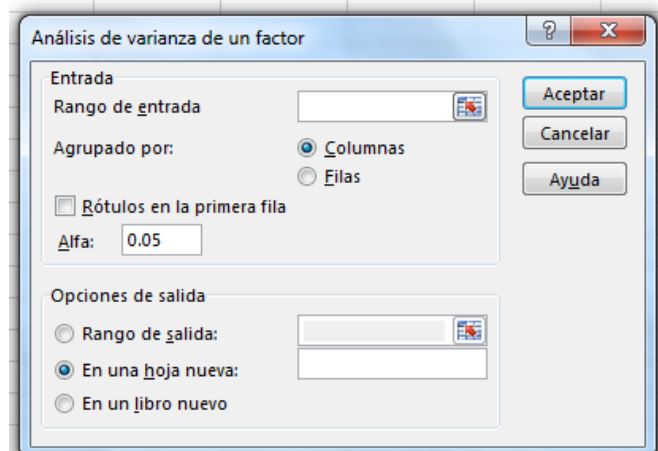
4) En el cuadro de ANÁLISIS DE DATOS, antes mostrado buscar y seleccionar la opción ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR.



Continuación del apéndice 3.



- 5) Después del paso anterior, aparecerá el menú de opciones del análisis de varianza de un factor. El valor de alfa debe estar fijado en 0,05, ya que para usos prácticos se utiliza un grado de confiabilidad del 95 %. En este se debe seleccionar un rango de entrada de datos.



- 6) El rango de entrada serán los valores obtenidos en cada una de las repeticiones, donde se realizaron cada uno de los tratamientos. Estos deben encontrarse ordenados de la siguiente manera, de la cual se selecciona la serie de datos de análisis.

Continuación del apéndice 3.

ISCA ÉPOCA SECA			
MUESTREO	Alta	Media	Baja
1	35.6234513	59.544846	55.7828502
2	39.4426241	57.1702187	54.7240143
3	37.1754708	61.0628827	58.6530001
4	76.8293523	55.892799	54.8423015
5	52.7673883	62.5920066	62.7933254

7) Ya seleccionado el rango de entrada, se marca la opción RÓTULOS EN LA PRIMERA FILA y también la opción EN UNA HOJA NUEVA, y luego se hace clic en ACEPTAR.

8) De esta manera se obtendrá, en una hoja nueva, una tabla similar a la siguiente:


RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
Columna 1	4	239	59.75	1246.91667	
Columna 2	4	268	67	403.333333	
Columna 3	4	224	56	80.6666667	
Columna 4	4	273	68.25	320.916667	
ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de la	Suma de cua	Grados de li	Promedio de F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	411.5	3	137.166667	0.26740314	0.84763944
Dentro de lo	6155.5	12	512.958333		3.49029482
Total	6567	15			

Los únicos valores de interés en la tabla obtenida son los valores de F, probabilidad y valor crítico de F. Los otros datos no son de interés para el análisis a realizar.

## Apéndice 4. Análisis de correlación lineal

Para el análisis de correlación lineal se utilizó Microsoft Excel 2010 y se realizó con base en el coeficiente de correlación R de Pearson, siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Para el uso del coeficiente R, en la celda que se requiere el valor, utilizar el comando =PEARSON.

R	=PEARSON
R^2	 PEARSON Devuelve el coeficiente de correlación producto o momento r de Pearson, r

- 2) Para utilizar el comando, se requiere que se seleccionen las columnas donde se encuentran los valores de X, Y. Primero, seleccionar el rango de valores X. Luego, separado por una coma, seleccionar el rango de valores de Y y presionar la tecla enter. Esto devuelve el valor del coeficiente de Pearson.

Datos de la Gráfica	
X	Y
0	30
0.2	34
0.4	38
0.6	45
0.8	65
1	76
1.2	89
1.4	91

R	=PEARSON(B5:B12,C5:C12)
R^2	PEARSON(matriz1, matriz2)

Continuación del apéndice 4.

- 3) Para obtener el valor del coeficiente de determinación, únicamente se debe elevar al cuadrado el valor del coeficiente de correlación o Pearson.

R	0.97792829
R^2	=C14^2

Apéndice 5. **Datos calculados**

- Cálculos de sólidos suspendidos totales época seca

Núm. Muestreo	Parte	FILTROS (mg)	Sólido y filtro (mg)	Volumen (ml)	SST (mg/L)
1	Alta	92,7	620	200	263,65
	Media	93,9	312	150	145,40
	Baja	93,5	347	160	158,43
2	Alta	92,2	635	200	271,40
	Media	92,9	303	140	150,071
	Baja	92,9	344	150	167,40
3	Alta	94	570	200	238,00
	Media	94,3	332	150	158,46
	Baja	94,2	354	150	173,20
4	Alta	93	493	200	200,00
	Media	93,5	329	150	157,00
	Baja	93,7	366	170	160,17
5	Alta	92,4	523	200	215,30
	Media	93,2	320	140	162,00
	Baja	93,5	293	140	142,50

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

- Cálculos de sólidos suspendidos totales época lluviosa

Núm. Muestreo	Parte	FILTROS (mg)	Sólido y filtro (mg)	Volumen (ml)	SST (mg/L)
6	Alta	92,7	97,9	200	2,6
	Media	93,9	99,9	128	4,6
	Baja	93,5	99,7	100	6,2
7	Alta	92,2	100,3	200	4,0
	Media	92,9	102,1	200	4,6
	Baja	92,9	104,6	200	5,8
8	Alta	94,0	100,0	200	3,0
	Media	94,3	104,1	200	4,9
	Baja	94,2	104,3	200	5,0
9	Alta	89,0	99,2	200	5,1
	Media	88,9	100,6	66	17,7
	Baja	89,7	102,9	35	37,7
10	Alta	111,9	115,6	200	1,8
	Media	111,8	114,5	200	1,3
	Baja	111,9	115,5	300	1,2

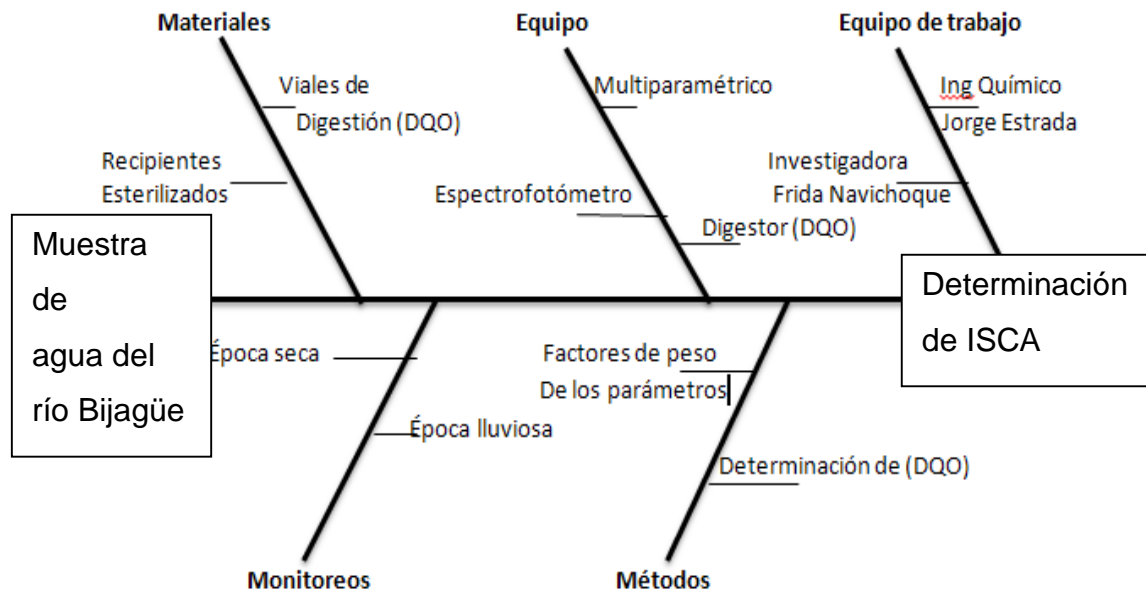
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 6. Requisitos académicos

Carrera	Área	Curso	Tópico específico	Temática a resolver
Ingeniería Química	Química	*Análisis cuantitativo *Química Ambiental	*Solubilidad *Muestreos *Contaminación	Manejo de distintos parámetros químicos e interpretación y análisis.
	Fisicoquímica	*Fisicoquímica 2 y sus respectivo laboratorio	*Conductividad *Temperatura *Espectrofotometria	Métodos de determinación e interpretación
	Complementaria	*Matemática básica 1  *Estadística 1	*Ecuaciones algebraicas, graficas de funciones.	Utilización de ecuaciones algebraicas, graficas de funciones
			*Estadística descriptiva *Variables aleatorias	Cálculo de medias aritméticas y proporcionar elementos matemáticos que expliquen los fenómenos
		*Calidad del agua	*Índices de calidad del agua *	Aplicación de metodología e interpretación de datos sobre la calidad del agua. Puntos de muestreo y captación de los mismos.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Diagrama de Ishikawa





## Apéndice 8. Normativo NOM-014-SSA1 1993

DETERMINACION	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (ml)	PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO ALMACENA-MIENTO
Alcalinidad total	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Arsénico	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Bario	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Boro	p	100	No requiere	180 d
Cianuros	p,v	1000	Adicionar NaOH a pH>12; refrigerar de 4 a 10° C en la oscuridad.	14 d
Cloro residual	p,v	---	Analizar inmediatamente	---
Cloruros	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Color	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Conductividad	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Dióxido de carbono	p,v	100	Analizar inmediatamente	---
Dureza total	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Fenoles	p,v	300	Adicionar h2so4 a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fluoruros	p,v	300	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fosfatos	v	100	Enjuagar el envase con ácido nítrico 1:1. Refrigerar de 4 a 10° C	48 h
Magnesio	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Metales en general	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d

Continuación apéndice 8.

Nitrógeno amoniacal	p,v	500	refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Nitrógeno orgánico	p,v	500	Adicionar H2SO4 a pH<2 refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Olor	---	---	Detectar inmediatamente	---
Oxígeno consumido en medio ácido	p,v	300	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
pH	p,v	---	Analizar inmediatamente	---
Plaguicidas	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual.	7 d
Sabor	---	---	Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	---
Sabor	---	---	Detectar inmediatamente	---
Sodio	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sólidos	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sulfatos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sustancias activas al azul metileno	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Temperatura	p,v	---	Determinar inmediatamente	---
Trihalometanos	s	25	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	---
Turbiedad	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h

p plástico

pH potencial de hidrogeno

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1 1993.

## Apéndice 9. Partes del multiparamétrico

- Descripción

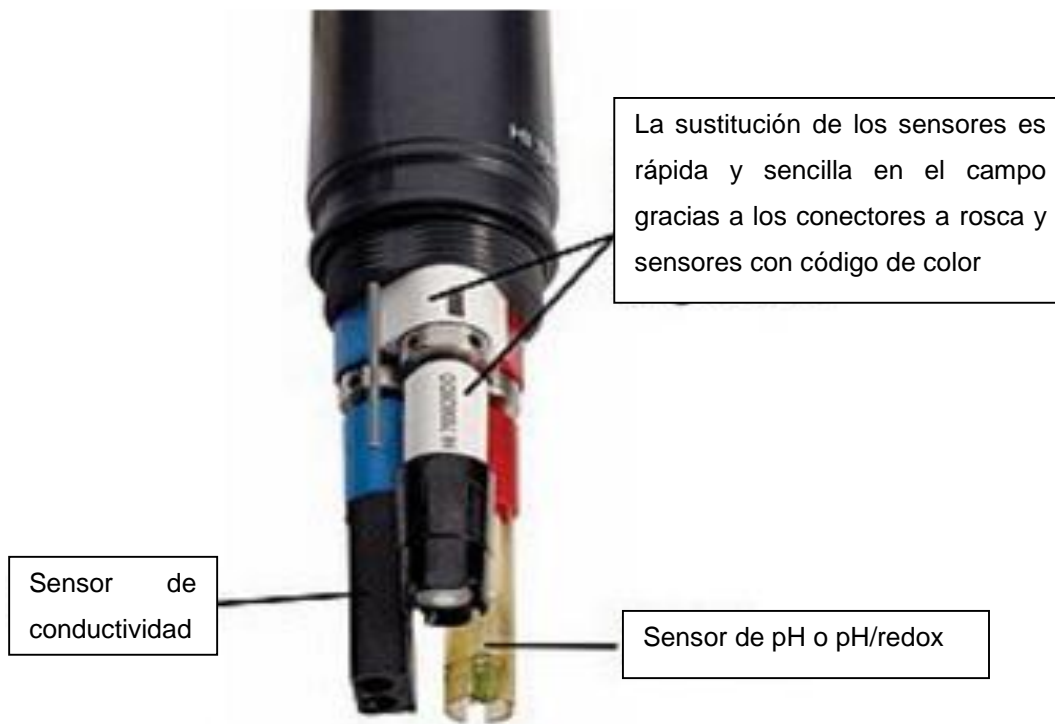
Cargador: carga por medio de electricidad la batería del equipo y el único cargador disponible posee la entrada para cargar por medio de carro. Este se coloca en la misma entrada del sensor.

- Sonda inteligente

Es la parte más delicada del Multiparamétrico ya que en esta parte se encuentran los dispositivos para los parámetros *in situ* y otros lo cual es de cuidado. Con una sola sonda el medidor Multiparamétrico controlar hasta 14 parámetros relevantes de la calidad del agua. El medidor Multiparamétrico HI 9829 es robusto y resistente al agua, y ha sido diseñado especialmente para mediciones al aire libre. La gran pantalla gráfica, con iluminación de fondo, permite un manejo sencillo. Para garantizar una larga duración Este sensor posee una parte que es de protección la cual se encuentra enroscada y se debe quitar después de la toma de una muestra para su limpieza con agua destilada.

Continuación del apéndice 9.

- Sensor del multiparamétrico

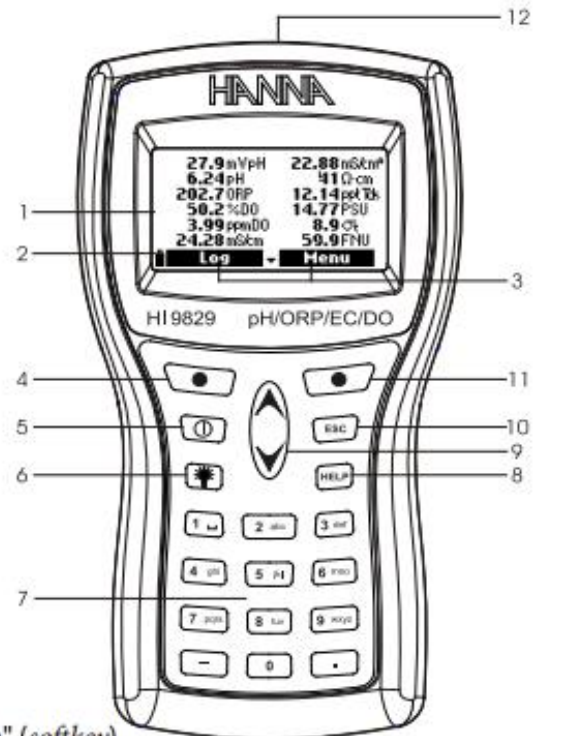


Fuente: Hanna instruments Guatemala. [En línea] Disponible en web:  
<http://www.hannainst.com.gt>. Consulta 15 de marzo del 2018.

Continuación del apéndice 9.

- Controlador

#### DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA Y EL TECLADO



1. LCD gráfico
2. Indicador de nivel de pila
3. Funciones de "tecla-función" (*softkey*)
4. Tecla-función izquierda: función definida en la pantalla
5. Tecla de encendido y apagado: apaga y enciende el medidor
6. Tecla de luz: apaga y enciende la luz de fondo
7. Teclado alfanumérico: sirve para introducir códigos alfanuméricos
8. Tecla AYUDA: muestra información sobre la pantalla actual
9. Teclas de flecha: permiten desplazar las opciones o mensajes mostrados
10. Tecla ESC: regresa a la pantalla anterior
11. Tecla-función derecha: función definida en la pantalla
12. Lector de etiquetas

Fuente: Hanna instruments Guatemala. [En línea] Disponible en web:  
<http://www.hannainst.com.gt>. Consulta 15 de marzo del 2018.

Continuación del apéndice 9.

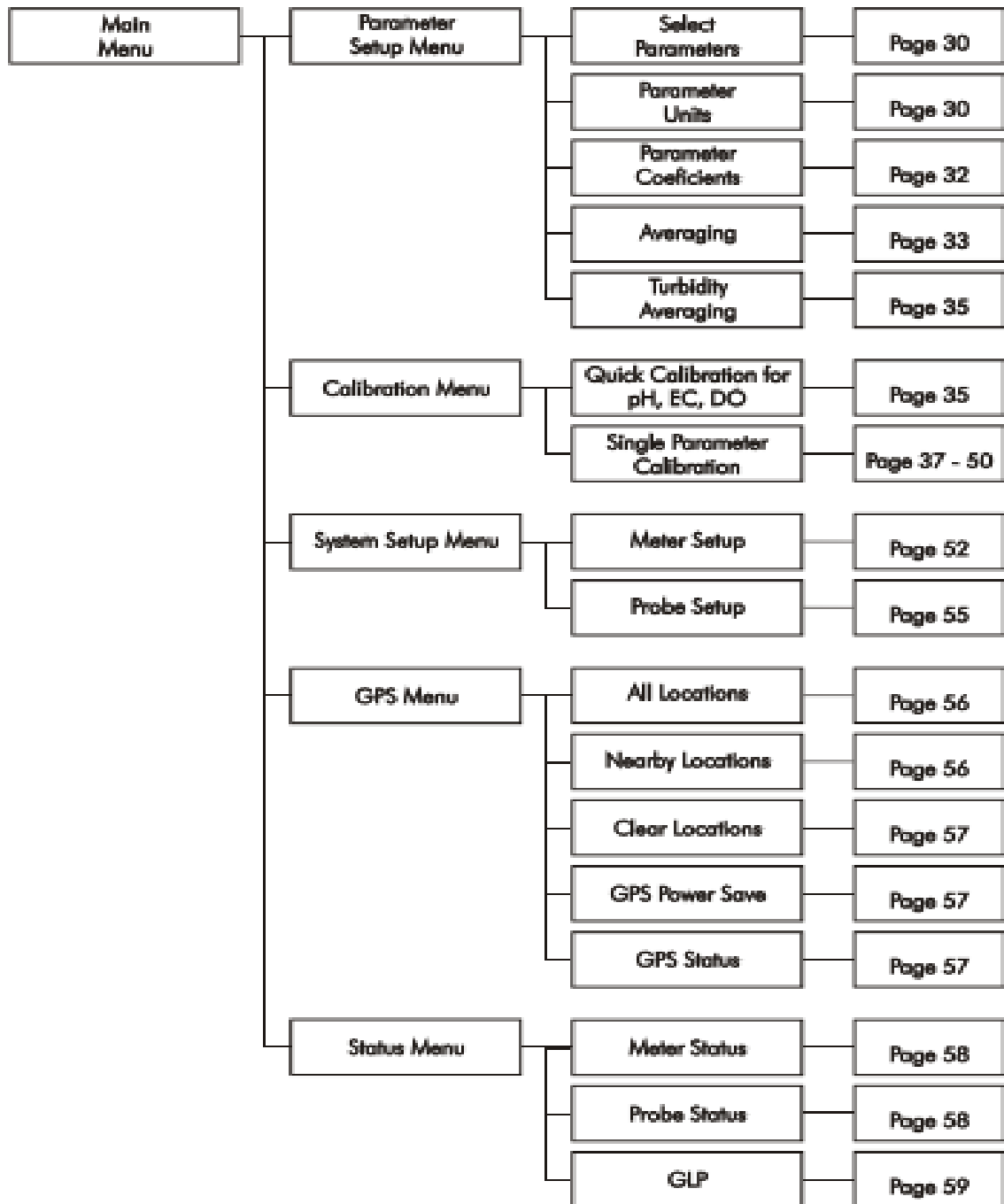
- Partes del multiparamétrico



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 9.

- Esquema del menú de configuración



Fuente: Hanna instruments Guatemala. [En línea] Disponible en web:  
<http://www.hannainst.com.gt>. Consulta 15 de marzo del 2018.

## Apéndice 10. **Procedimiento de utilización del multiparamétrico**

- Nombre de la muestra:

Debido a que la fase de muestreo consta de tres ubicaciones o puntos de muestreo del río y cinco repeticiones en cada estación del año (seca y lluviosa), por tanto es indispensable manejar una buena nomenclatura de las muestras, ya que el multiparamétrico proporciona la opción de nombrar la muestra pero con limitados caracteres se debe colocar el nombre de la muestra corto.

Por ejemplo: se realizará la captación de una muestra en el río Motagua, siendo la primera repetición y dicha muestra será en la parte alta del río, se deberá colocar el siguiente nombre: *Motag a1*

- Procedimiento de utilización del multiparamétrico:
  - 1) Presionar el botón rojo para encender el equipo.
  - 2) Revisar si tiene carga.
  - 3) Seleccionar donde dice registrar.



Continuación del apéndice 10.



Fuente: elaboración propia.

- 4) Seleccionar donde dice iniciar registro de medidor.



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.

5) Seleccionar donde dice nuevo.



Fuente: elaboración propia.

6) Escribir el nombre de la muestra y presionar aceptar.



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.



Fuente: elaboración propia.

- 7) Presionar en ok cuando se halla seleccionado el nombre que se escribió en el paso anterior.



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.

8) Agregar comentario o no, queda a discreción de la persona.



Fuente: elaboración propia.

9) Colocar la parte del sensor del multiparamétrico, en el agua.



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.

10) Seleccionar saltar.

11) Esperar hasta que el conteo llegue a 10.

12) Registrar.



Fuente: elaboración propia.

13) Seleccionar la opción "Parar el registro del medidor".



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.

14) Seleccionar la opción que dice buscar registros.



Fuente: elaboración propia.

15) Pulsar donde dice ver.



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.

16) Seleccionar donde dice lotes.



Fuente: elaboración propia.

17) Buscar el nombre de la muestra (usualmente es el último, presionar la flecha para arriba).



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 10.

18) Ver que todos los parámetros sean coherentes.



Fuente: elaboración propia.

19) Apagar.

20) Desenroscar el protector del medidor.



Fuente: elaboración propia.



21) Verter agua destilada en el sensor, medidor.

22) Enroscar el protector.

Continuación del apéndice 10.



Fuente: elaboración propia.

23) Guardar el multiparamétrico.

