



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

**EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA
POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE
CALIDAD DEL AGUA (ISQA)**

Rodolfo José Martínez Hurtado

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA
POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE
CALIDAD DEL AGUA (ISQA)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RODOLFO JOSÉ MARTÍNEZ HURTADO

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO 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 Christian 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. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
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 DEL RÍO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de mayo de 2016.

Rodolfo José Martínez Hurtado



Ciudad Universitaria, 3 de noviembre de 2017

Ingeniero
CARLOS SALVADOR WONG DAVI
DIRECTOR DE ESCUELA
Escuela de Ingeniería Química
Su Despacho

Respetable Señor Director:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el INFORME FINAL del Trabajo de Graduación del estudiante **RODOLFO JOSE MARTINEZ HURTADO**, quien se identifica con Documento Personal de Identificación (DPI) número 2322 39967 0101 y registro estudiantil número 201212673, trabajo que lleva por título "**EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA)**".

Siendo que los aspectos metodológicos y de forma se ajustan a lo requerido por el perfil de egreso de nuestra escuela, hago de su conocimiento que no tengo objeción en aprobar el referido informe, por lo que puede procederse con los trámites subsiguientes para obtener el grado de Ingeniero Químico.

Sin más por el momento, suscribo de usted

Atentamente,

Id y Enseñad a Todos

JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS
Ingeniero Químico, colegiado No. 685
Profesor Titular III
ASESOR

RECIBIDO
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CIUDAD UNIVERSITARIA
ZONA 12, GUATEMALA
NOV 05 2017





Guatemala, 07 de marzo de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.014.2018.

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 **021-2016** 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 el estudiante universitario: **Rodolfo José Martínez Hurtado**.
Identificado con número de carné: **2322 39967 0101**.
Identificado con registro académico: **2012-12673**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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

EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA)

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]
Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.014.2018

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 estudiante, **RODOLFO JOSÉ MARTÍNEZ HURTADO** titulado: **"EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA)"**. 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, julio de 2018

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale





DTG. 266.2018

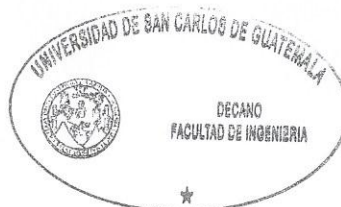
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO OCOTES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA POR MEDIO DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA)**, presentado el estudiante universitario: **Rodolfo José Martínez Hurtado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Porque está por encima de todas las cosas y sin su bendición nada sería posible.

Mi padre

Rodolfo Martínez Rodas, porque después de Dios, llegar hasta acá no habría sido posible sin su ardua labor de padre.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Porque me permitió terminar este camino y me bendijo inmensamente.
Mi padre	Rodolfo Martínez Rodas, por hacerse cargo él solo de nosotros y sacarnos adelante y nunca desfallecer en su tarea de padre.
Mis amigos de la Facultad	Porque hicieron de este viaje de los mejores recuerdos de mi vida.
Ing. Jorge Mario Estrada Asturias	Por ser un excelente guía y estar siempre disponible para compartir sus conocimientos.
Inga. Beatriz Ramírez	Por prestar su experiencia durante la elaboración de este trabajo.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi casa durante este tiempo y mostrarme el maravilloso mundo de la ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Calidad del agua.....	3
2.1.1. Parámetros físicos	3
2.1.1.1. Temperatura	3
2.1.1.2. Sólidos disueltos totales	4
2.1.1.3. Turbiedad.....	4
2.1.2. Parámetros químicos.....	5
2.1.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)	5
2.1.2.2. Oxígeno disuelto.....	5
2.1.2.3. Fosfatos.....	6
2.1.2.4. Nitratos y nitritos	7
2.1.3. Características biológicas del agua	8
2.1.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	8

	2.1.3.2.	Coliformes totales.....	8
2.2.		Índices de calidad	9
2.3.		Interpretación del WQI	10
	2.3.1.	Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)	12
2.4.		Contaminación hídrica.....	15
	2.4.1.	Principales contaminantes del agua.....	16
2.5.		Conceptos básicos sobre el cambio climático.....	17
	2.5.1.	Clima y tiempo atmosférico	17
	2.5.2.	Causas principales del cambio climático.....	18
	2.5.3.	Procesos naturales internos	19
	2.5.4.	Efectos antropogénicos	20
	2.5.5.	Deforestación	21
3.		METODOLOGÍA	23
	3.1.	Variables	23
	3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	23
	3.3.	Recursos humanos disponibles	24
	3.4.	Recursos materiales disponibles.....	25
	3.4.1.	Materiales.....	25
	3.5.	Técnica cuantitativa.....	25
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	26
	3.6.1.	Ubicación de la recolección.....	26
	3.7.	Proceso de recolección de muestras	26
	3.7.1.	Material.....	26
	3.7.2.	Preparación de envases para toma de muestras	27
	3.7.3.	Procedimiento para toma de muestra	27
	3.7.4.	Manejo de muestras.....	29
	3.7.5.	Identificación y control de muestras	29
3.8.		Cálculo del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)....	30

3.8.1.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	30
3.8.2.	Plan de análisis de los resultados.....	31
3.8.3.	Método y modelos de los datos según tipo de variables	32
3.8.4.	Programas a utilizar para análisis de datos	32
3.9.	Cronograma.....	33
3.10.	Presupuesto	34
3.11.	Análisis estadístico	34
4.	RESULTADOS	37
4.1	Índice Simplificado de Calidad del Agua.....	37
4.2	Mapas de representación de la calidad del agua por estación en la subcuenca del río Ocotés.....	38
4.3	Ánalysis estadístico.....	40
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
	CONCLUSIONES	45
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	APÉNDICES	51
	ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del río Ocotés	24
2.	ISQA para estación seca.....	38
3.	ISQA para estación lluviosa.	39

TABLAS

I.	Escala de clasificación del ICA	10
II.	Interpretación de los valores del índice ICA.....	11
III.	Interpretación y ponderación de ISQA.	14
IV.	Variables con sus respectivas unidades de medida.....	23
V.	Equipo personal para toma de muestras.....	25
VI.	Equipo para recolección de muestras	25
VII.	Datos de los parámetros analizados en cada muestra.....	30
VIII.	Cronograma general de actividades	33
IX.	Gastos necesarios para el desarrollo de la investigación.....	34
X.	Agrupación de resultados a comparar.....	35
XI.	Análisis de varianza en punto bajo.....	35
XII.	Análisis de varianza en punto alto.....	36
XIII.	ISQA en estación seca.....	37
XIV.	ISQA en estación lluviosa.	37
XV.	Análisis de varianza en punto bajo.....	40
XVI.	Análisis de varianza en punto alto.....	40

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CE	Conductividad eléctrica
DQO	Demanda química orgánica
°C	Grados Celsius
µs/cm	Micro <i>siemens</i> por centímetro
mg/l	Miligramo por litro
OD	Oxígeno disuelto
D	Parámetro del ISQA referente a CE
A	Parámetro del ISQA referente a DQO
C	Parámetro del ISQA referente a OD
B	Parámetro del ISQA referente a SST
E	Parámetro del ISQA referente a T
T	Temperatura

GLOSARIO

Afluente	Cualquier cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar sino en un río superior.
Calidad de agua	Determina el grado de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de acuerdo a valores puntuales.
Conductividad eléctrica	Aptitud del agua para conducir la electricidad.
ISQA	Índice Simplificado de Calidad del Agua. Proporciona una idea rápida de la calidad del agua, se obtiene a partir de una correlación de 5 parámetros fisicoquímicos.
Microcuenca	Terreno delimitado por las partes altas de una montaña, donde se concentra el agua de lluvia para desplazarse por el cauce y desembocar en una quebrada, río o lago.
Oxígeno disuelto	Expresa los niveles de oxígeno en aguas naturales y residuales.
SDT	Sólidos disueltos totales, suspendidos y sedimentables.

Temperatura

Parámetro que mide el calor en el agua.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar si existe alguna influencia estacional sobre la calidad del agua del Río Ocotes, en la Aldea Santa Lucía los Ocotes, en la zona 25 de la Ciudad Capital, por medio del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), se realizó un análisis estadístico entre los datos tomados de muestras en las estaciones seca y lluviosa. Esta investigación se desarrolló siguiendo un programa de muestreo que abarcaba dos puntos a lo largo del río, con la finalidad de obtener muestras que proporcionen datos fisicoquímicos que lleven a la determinación del ISQA. Se tomaron 10 muestras, 5 de ellas en estación seca y 5 en estación lluviosa, con el fin de caracterizar cada estación durante un año corriente.

La calidad del agua aumentó al pasar de estación seca a lluviosa, aunque no lo suficiente para ser considerada buena, siendo muy mala y mala respectivamente. En general el río se mantiene contaminado durante ambas estaciones, debido a que en este se desecha materia orgánica, desechos domésticos, carga microbiana alta y presenta procesos de fermentación y malos olores. El análisis estadístico mostró que sí hay variación entre la calidad del agua en estación seca y lluviosa, por lo que la calidad del agua se ve influenciada por las condiciones de cada estación.

OBJETIVOS

General

Determinar el Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA) del Río Ocotes en la Ciudad de Guatemala, en estaciones seca y lluviosa, para evaluar cualitativamente la influencia estacional.

Específicos

1. Determinar el ISQA en la parte baja y alta del Río Ocotes en función de la época seca.
2. Determinar el ISQA en la parte baja y alta del Río Ocotes en función de la época lluviosa.
3. Evaluar, por medio de análisis estadístico, si existen variaciones en el ISQA para las estaciones seca y lluviosa debido a la influencia estacional.
4. Realizar mapas de zonificación representando la calidad del agua por estación en la subcuenca del Río Ocotes, mediante un código de colores aceptado internacionalmente.

HIPÓTESIS

Por medio del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISCA) se puede determinar la calidad del recurso hídrico en el Río Ocotes, en Santa Lucía los Ocotes, esto con un nivel de confianza del 95 %.

Hipótesis nula:

No existe variación en la calidad del agua entre estación seca y lluviosa.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alternativa:

Existe variación en la calidad del agua entre estación seca y lluviosa.

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

INTRODUCCIÓN

La Dirección de Medio Ambiente de la Ciudad de Guatemala, en colaboración con la alcaldía auxiliar de la zona 25, realiza un proyecto de evaluación de la calidad de los recursos hídricos que abastecen de agua potable a las comunidades de la capital, en este caso sobre el Río Ocotes en la Aldea Santa Lucía los Ocotes. Para dicha evaluación se determinará el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA).

El ISQA es un índice multiparamétrico que analiza las siguientes variables: Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Disueltos Totales, Conductividad, Cambio de Temperatura y Oxígeno Disuelto, por lo que provee claridad de las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico, determinando su calidad e indicando los usos que se le pueden dar. Los valores de calificación se encuentran entre 0 y 100. Mientras más cercanos sean los valores a 100, la calidad del recurso hídrico es mejor.

Los afluentes naturales de la Ciudad Capital han sido fuertemente afectados por la contaminación que provocan las comunidades aledañas a los mismos y esto hace que escaseen y que lo poco que reciben esté contaminado. Es por ello que diversas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales se han preocupado por evaluar el impacto que la contaminación tiene sobre los recursos hídricos, a través del estudio de la naturaleza química, física y biológica del agua, mediante programas de monitoreo, tal como lo hace la Municipalidad de Guatemala.

Por tal razón, el presente proyecto de investigación busca analizar la calidad del agua en el Río Ocotes, para determinar la potabilidad del agua que abastece a la región norte de la capital, ejemplificando los procedimientos establecidos por la National Sanitation Foundation (NSF), basados en la metodología de Delphi, a partir de muestreos realizados sobre aguas superficiales, con la finalidad de implementar una técnica de muestreo real y concreta para mostrar valores reales del índice de calidad.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Queralt, en el año 1982, desarrolló el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña (España), el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano. Desde hace varios años se viene aplicando el ISQA desarrollado por la Agencia Catalana del Agua, en España. Este índice se aplica a recursos de agua urbanos y, a pesar de sus limitaciones en cuanto a los parámetros que incluye, ha demostrado cumplir con las condiciones requeridas para su utilización en los cuerpos de agua de Montevideo.

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

Solo hasta 1980 el Departamento de Calidad Ambiental de Oregon desarrolló su propio índice a partir del NSF, sin embargo, su aplicación fue discontinua dada la dificultad de su cálculo en computadores de primera generación. En el año 2008 se realizó la publicación *Índices de calidad del agua*

en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Para el caso Latinoamericano, en México se han desarrollado diversos índices de Calidad de Agua a medida que la normatividad se ha desarrollado¹.

La finalidad de la presente investigación es implementar una metodología de cálculo para el Índice de Calidad del Agua (ICA) aplicado al monitoreo ambiental en la Ciudad de Guatemala, puesto que únicamente se ha implementado los siguientes índices de calidad de agua: Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el BMWP-CR.

¹ ALDANA AGUILAR, Mónica Lisset. *Índice de calidad del agua en el río Cucabaj ubicado en el Municipio de Santa Cruz del Quiché y la influencia de los costos del tratamiento de potabilización.* 147 p.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad del agua

La determinación de la calidad del agua se basa en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Para poder evaluar el grado de contaminación en los recursos hídricos es necesario implementar el desarrollo de metodologías de cálculo para determinar el índice de calidad del agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación de los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado.

2.1.1. Parámetros físicos

Son las características del agua que se perciben por los sentidos y no involucran reacciones químicas o biológicas. Entre los parámetros físicos están: la temperatura, los sólidos disueltos totales y la turbiedad.

2.1.1.1. Temperatura

Parámetro que mide el calor en el agua; es importante porque incide en las propiedades, procesos e interacciones físicas, químicas y biológicas de los elementos presentes en el agua, como la solubilidad de sustancias químicas, las velocidades de reacción, la solubilidad de los gases en el agua y la actividad biológica. La temperatura del agua se mide en grados centígrados.

2.1.1.2. Sólidos disueltos totales

Son las partículas que incluyen a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en el agua. Los ST pueden ser tanto las sustancias orgánicas como las inorgánicas, y los microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla. Altas concentraciones impiden la penetración de la luz, disminuyen el oxígeno disuelto y limitan el desarrollo de la vida acuática. Los sólidos disueltos afectan negativamente la calidad del agua para consumo humano, altas concentraciones pueden ocasionar reacciones fisiológicas desfavorables en los consumidores. Los ST son los residuos de materia sólida, orgánica e inorgánica, contenidos en el agua que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su posterior secado en estufa a temperatura definida (103-105 °C).

2.1.1.3. Turbiedad

Se define como la dificultad del agua para transmitir la luz, debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos e incluso microorganismos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. El aporte al agua de vertimientos con altas concentraciones de sólidos en suspensión, coloidales o finos, aumenta la turbiedad, disminuye la transparencia, impidiendo la penetración de la luz y disminuyendo la incorporación del oxígeno disuelto por la fotosíntesis, y también afectando la calidad y productividad de los ecosistemas. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro nefelómetro. Los resultados se expresan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

2.1.2. Parámetros químicos

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 del estudio se determinarán las siguientes características químicas:

2.1.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH del agua natural depende de la concentración de CO₂. 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. Vertimientos ácidos, pH < 6 en corrientes de agua con baja alcalinidad, ocasionan disminuciones del pH del agua natural por debajo de los valores de tolerancia de las especies acuáticas (pH entre 5 y 9), lo mismo sucede con vertimientos alcalinos pH > 9. El vertido de pH ácido disuelve los metales pesados y el pH alcalino los precipita. El pH se mide como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno.

2.1.2.2. Oxígeno disuelto

Se define como la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, expresado en mg de oxígeno por litro de agua. Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. Además, es función de la temperatura, la presión y la altura sobre el nivel del mar.

2.1.2.3. Fosfatos

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta-y poli fosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos. Es común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de las vidas acuáticas y limitantes del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etcétera. Para una buena interpretación de la presencia de fosfatos en las fuentes de aguas crudas es recomendable la diferenciación analítica de las especies químicas existentes en ellas.

La fuente principal de los fosfatos orgánicos son los procesos biológicos. Estos pueden generarse a partir de los ortofosfatos en procesos de tratamiento biológico o por los organismos acuáticos del cuerpo hídrico. Otra fuente importante de fosfatos en las aguas superficiales son las descargas de aguas que contienen como residuos detergentes comerciales. Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua. Las normas de calidad de agua no han establecido un límite definitivo. Sin embargo, es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua y su relación, así como aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua con la productividad biológica y los problemas que estos pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores.

2.1.2.4. Nitratos y nitritos

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

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

Aunque la toxicidad relativa de los nitratos es bien conocida, es difícil establecer cuál es el nivel de una dosis nociva. Los nitritos tienen mayor efecto nocivo que los nitratos, pero como generalmente en las aguas naturales no se presentan niveles mayores de 1 mg/L y la oxidación con cloro los convierte en nitratos, el problema prácticamente queda solucionado.²

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

2.1.3. Características biológicas del agua

El agua contiene suficientes nutrientes para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchos de estos microorganismos provienen del polvo transportado por el aire, animales, material en descomposición, fuentes minerales, plantas y materia fecal. La transmisión de microorganismos dañinos a la salud (patógenos) a través del agua ha sido uno de los medios de expansión de enfermedades graves causando pandemias. Algunos análisis necesarios para evaluar las características biológicas del agua son los siguientes:

2.1.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/l. Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores. Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo. El cálculo se efectúa mediante la determinación del contenido inicial de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante, conservada en un frasco cerrado a 20 °C. La diferencia entre los dos contenidos corresponde a la DBO5.

2.1.3.2. Coliformes totales

Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para constituir un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las enterobacteriáceas, que se

caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en un lapso de 24-48 horas y producir ácido y gas. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme: Klebsiella, Escherichia, Enterobacter, Citrobacter, Serratia. De este grupo, la Escherichia y ocasionalmente la Klebsiella tienen la capacidad de fermentar la lactosa no solo a las temperaturas indicadas, sino también a 44,5 °C. A los miembros de este grupo se les denomina coliformes termotolerantes (fecales).

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

2.2. Índices de calidad

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 un índice sea práctico 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 tendencias.

Existen diferentes índices de calidad del agua, entre los más conocidos se encuentran los índices biológicos, como el índice Saprobic, y los físicoquímicos. Los más conocidos son el Índice de Calidad del Agua (WQI en inglés) y el Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA). Para la presente investigación se

implementará únicamente la metodología de cálculo del Índice de Calidad del Agua (WQI).

2.3. Interpretación del WQI

El índice se basa en el resumen de nueve parámetros físicos, químicos y biológicos en una escala de 0 a 100 puntos, el resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación desarrollada por la NFS:

Tabla I. **Escala de clasificación del ICA**

Clasificación	Rango	Escala de color
Excelente	91-100	Azul
Buena	71-90	Verde
Media	51-70	Amarillo
Mala	26-50	Naranja
Muy Mala	0-25	Rojo

Fuente. *Índices de calidad (ICAS) y de contaminación (ICOS) del agua de importancia mundial*.
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/0_6082010/icatest_capitulo3.pdf. Consulta: 2017.

Tabla II. Interpretación de los valores del índice ICA

WQI	Categoría	Descripción
91-100	Excelente	El agua, tiene la capacidad de poseer una alta diversidad de vida acuática. Además es conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.
71-90	Buena	Presenta una leve contaminación. La calidad del agua ha disminuido la diversidad de la vida acuática.
51-70	Media	Las aguas tienen, generalmente, menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas.
26-50	Mala	Las aguas pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando, probablemente, problemas con la contaminación.
0-25	Muy mala	Las aguas pueden solamente apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y, normalmente, no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Fuente: *Cálculo de NSF Índice de Calidad del Agua*. http://www_water-research_net-waterqualindexindex.htm. Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences. Consulta: mayo de 2017.

De acuerdo con las características físicas, químicas y biológicas del agua, resumidas en el índice de calidad, Dinius³ presenta los resultados del índice según el uso que puede dársele al agua.

³ DINIUS, S. H. *Design of a Water Quality Index*. W:R: V23 #5 833-843. 87 p.

2.3.1. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

Es un índice que surge en España en 1982 para las cuencas de Cataluña que se basa en 5 parámetros fisicoquímicos planteados para el uso de 6 casos específicos, dentro de los cuales destaca el uso para consumo humano. Este índice proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad del agua y necesita ser complementado con otros índices para una visión más amplia. Los 5 parámetros fisicoquímicos para la determinación del ISQA son:

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

La ponderación del ISQA va de 0 (calidad mínima) hasta 100 (calidad máxima). Es muy fácil de utilizar y proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero precisa ser completado con otros índices para obtener una visión real de la situación. Se obtiene a partir de una sencilla fórmula que combina 5 parámetros fisicoquímicos:

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

En donde:

- E: temperatura del agua (T en °C). Puede tomar valores comprendidos
 - $E = 1$ si $T \leq 20$ °C

- $E = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125$ si $T > 20$ °C
- A: demanda química orgánica 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 $\text{DQO-Mn} \leq 10$ mg/l
 - $A = 21 - (0,35 \cdot \text{DQO-Mn})$ si $60 \text{ mg/l} \geq \text{DQO-Mn} > 10$ mg/l
 - $A = 0$ si $\text{DQO-Mn} > 60$ mg/l

Tradicionalmente esta ha sido la forma de obtener el parámetro A, pero a partir de 2003 se empezó a calcular mediante el carbono orgánico total (COT en mg/l), que también estima la cantidad de materia orgánica presente en el agua, pero de una manera más reproducible y fiable. En este caso el parámetro A puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

- $A = 30 - \text{COT}$ si $\text{COT} \leq 5$ mg/l
- $A = 21 - (0,35 \cdot \text{COT})$ si $12 \text{ mg/l} \geq \text{COT} > 5$ mg/l
- $A = 0$ si $\text{COT} > 12$ mg/l
- B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $B = 25 - (0,15 \cdot \text{SST})$ si $\text{SST} \leq 100$ mg/l
 - $B = 17 - (0,07 \cdot \text{SST})$ si $250 \text{ mg/l} \geq \text{SST} > 100$ mg/l
 - $B = 0$ si $\text{SST} > 250$ mg/l
- C: oxígeno disuelto (O_2 en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $C = 2,5 \cdot \text{O}_2$ si $\text{O}_2 < 10$ mg/l
 - $C = 25$ si $\text{O}_2 \geq 10$ mg/l

- D: conductividad (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C). Si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:
 - $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$
 - $D = 0$ si $CE > 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$

El ISQA va a oscilar entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima) de manera similar a como lo hace el ICG.

Tabla III. **Interpretación ponderación de ISQA**

ISCA	Categoría	Interpretación
90-100	Excelente	La calidad del agua está protegida, se da por sentado una ausencia total de amenazas; las condiciones son cercanas a los niveles naturales.
80-90	Buena	La calidad del agua está protegida contra un menor grado de amenazas; las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.
70-80	Intermedia	La calidad del agua es ocasionalmente afectada; las condiciones a veces no cumplen con los niveles deseados.

Continuación tabla III.

		Deseados
0-60	Inadmisible	La calidad del agua es continuamente afectada; las condiciones no cumplen con los niveles deseados.

Fuente: *Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA)*.

http://mediambient.gencat.net/aca/es//aiguamedi/rius/indexs_qualitat.jsp. Consulta: mayo de 2017.

El ISCA es particularmente útil para evaluar la evolución de la calidad de agua en las diferentes estaciones y para cada curso de agua en función del tiempo.

2.4. Contaminación hídrica

La contaminación hídrica se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. Según la Organización Mundial de la Salud, el agua está contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se le hubiera destinado en su estado natural”⁴. El agua que procede de ríos, lagos y quebradas es objeto de una severa contaminación, muchas veces producto de las actividades del hombre.

El agua es un elemento esencial de la naturaleza, contribuye al bienestar general del hombre, de los animales y de las plantas. Es uno de los pocos elementos sin los cuales no podría mantenerse la vida en el planeta. Los residuos de plástico que son arrojados al mar matan a un millón de animales al año. La

1. ⁴BALL, R.; Church, R. *Water quality indexing and scoring*.64 p.

contaminación de pozos y acuíferos tiene consecuencias perjudiciales para la salud humana y degradan el medio marino. Muchos animales marinos y aves mueren al tragar desechos que flotan, porque creen que es comida.

Los ríos y mares poseen una elevada capacidad de reciclarse a sí mismos. Las bacterias que componen el agua descomponen los desechos orgánicos, que alimentan a peces y plantas. Gracias a su actividad estos seres vivos hacen que el oxígeno y el carbono retornen a la biosfera. Existen varias fuentes de contaminación hídrica a causa de actividades domésticas, industriales o agrícolas. Ríos y canales son contaminados por los desechos del alcantarillado, residuos industriales, detergentes y pesticidas que se escurren en tierras agrícolas.

A medida que crecen las poblaciones, se complican los ciclos ecológicos de las aguas. Los habitantes de zonas urbanas descargan sus residuos en ríos que en muchas ocasiones no son depurados y las industrias liberan sin control sustancias que las bacterias son incapaces de eliminar. Otro gran problema del agua es el mal uso que se le ha dado. Se utiliza agua potable para regar sembrados, para disfrute y recreación, y para diversos usos domésticos e industriales. Se olvida muchas veces que este es un recurso no renovable y vital para el hombre y los seres vivos.

2.4.1. Principales contaminantes del agua

- Los agentes patógenos: algunas bacterias, virus y parásitos, provenientes de desechos orgánicos.
- Los desechos que requieren oxígeno: algunos desperdicios pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Cuando existen grandes poblaciones de estas bacterias pueden llegar a agotar el oxígeno del agua, matando toda la vida acuática.

- Las sustancias químicas inorgánicas como los ácidos y los compuestos de metales tóxicos.
- Las sustancias químicas orgánicas como el petróleo, el plástico, los plaguicidas y los detergentes.
- Los nutrientes vegetales pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas. Estas mueren y se descomponen agotando el oxígeno del agua y provocando la muerte de varias especies marinas.

La mayor fuente de contaminación proviene de los sedimentos o materia suspendida que enturbian el agua. El aumento de la temperatura disminuye la cantidad de oxígeno en el agua, vulnerando la supervivencia de los organismos acuáticos. La contaminación del agua produce efectos nefastos en el medio ambiente. La contaminación hídrica perjudica de la misma manera a países pobres como a ricos. Pero la escasez de agua afectará de manera considerable a las comunidades más vulnerables.

2.5. Conceptos básicos sobre el cambio climático

Dichos conceptos son basados en la acción humana.

2.5.1. Clima y tiempo atmosférico

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Puede ser denominado como clima global, clima local o microclima, según se refiera al mundo, a una región o a una localidad concreta. En general existe la confusión entre los conceptos de clima y tiempo atmosférico, pero hay que destacar que se refieren a aspectos distintos de la dinámica atmosférica. La diferencia principal está en la escala de tiempo en la que se trabaja.

Cuando la escala de tiempo de los cambios a los que uno se refiere es de días, semanas, meses o unos pocos años se habla de tiempo atmosférico. A partir de una escala de décadas es cuando realmente empieza a hablarse de variaciones climáticas. Pero incluso este período de tiempo es demasiado breve para considerar el cambio. Normalmente hasta pasado un siglo no se puede apreciar la tendencia subyacente. El clima es un promedio, a una escala de tiempo dada, del tiempo atmosférico.

Esta frontera entre el tiempo y el clima es un tanto borrosa; no obstante, las variaciones del tiempo están sujetas a patrones regulares de corto plazo, básicamente las variaciones anuales o estacionales y a patrones caóticos de diferentes frecuencias de variación, que son los que hacen que de un año para otro, así como de un día para otro, el tiempo sea tan cambiante.

El clima presenta dos facetas: tendencias regulares que se empiezan a apreciar a las pocas décadas de realizar mediciones y oscilaciones de tipo caótico que subyacen en el fondo. A gran escala puede permanecer oculto un patrón regular como los ciclos de Milankovich. Sobre el clima influyen muchos fenómenos, consecuentemente, cambios en estos fenómenos provocan cambios climáticos.

2.5.2. Causas principales del cambio climático

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etcétera. Son debidos a causas naturales y, en los últimos siglos, también a la acción del hombre. El término suele usarse de forma poco apropiada para hacer referencia

tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático solo para referirse al cambio por causas humanas: "por 'cambio climático' se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables"⁵.

El cambio del clima producido por causas naturales se denomina variabilidad natural del clima. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión cambio climático antropogénico (temperatura en la superficie terrestre). Según qué tipo de factores dominen la variación del clima será sistemática o caótica. Esto depende mucho de la escala de tiempo en la que se observe la variación, ya que pueden quedar patrones regulares de baja frecuencia ocultos en variaciones caóticas de alta frecuencia y viceversa.

2.5.3. Procesos naturales internos

Son los factores no sistemáticos o caóticos que provocan cambios en el clima. En este grupo se encuentran los factores amplificadores y moderadores que actúan en respuesta a los cambios, introduciendo una variable más al problema; por lo tanto, al clima se le considera un sistema complejo, ya que no solo hay que tener en cuenta los factores que actúan sino también las respuestas que dichas modificaciones pueden conllevar. Dentro de los procesos naturales internos o influencias internas se tienen:

⁵ PEDRINACI, Emilio. *Procesos geológicos internos*. 18 p.

- Deriva continental
- Composición atmosférica
- Corrientes oceánicas
- Campo magnético terrestre
- Efectos antropogénicos
- Retroalimentaciones y factores moderadores
- Influencia antropogénica sobre el clima
- Deforestación

2.5.4. Efectos antropogénicos

Se llama influencia antropogénica a aquellos efectos producidos por las actividades humanas. El hombre es el último de los agentes climáticos de importancia, incorporándose a la lista hace relativamente poco tiempo. Su influencia comenzó con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, y ha llegado a la emisión abundante de gases que producen un efecto invernadero: CO₂ en fábricas y medios de transporte y metano en granjas de ganadería intensiva y arrozales. Actualmente, tanto las emisiones de gases como la deforestación se han incrementado hasta tal nivel que parece difícil que se reduzcan a corto y medio plazo, por las implicaciones técnicas y económicas de las actividades involucradas.

Los cambios en el clima derivados de la actividad humana se deben a la intensificación del efecto invernadero natural, al aumentar la concentración atmosférica de los gases radiactivamente activos y provocar lo que se conoce como un forzamiento radiactivo. Cerca del 60 % de este forzamiento es debido al CO₂, en tanto que el CH₄ contribuye en un 15 % y el N₂O en un 5 %, mientras que otros gases y partículas, como el ozono, los HFCs, PFCs y el SF₆, contribuyen con el 20 % restante.

Es necesario conocer también la importante relación que existe entre las emisiones y la estabilización de sus concentraciones y el largo período de tiempo necesario para alterar, aunque sea ligeramente, las tendencias. Así, centrandó el análisis en el CO₂, el gas con mayor influencia en las causas del cambio climático se comprueba que una molécula de este gas una vez emitida permanece en la atmósfera alrededor de cuatro años por término medio, antes de ser captada por un reservorio, aunque la Tierra en su conjunto necesita más de cien años para adaptarse a la alteración de sus emisiones y estabilizar de nuevo su concentración atmosférica. Una vez estabilizada la concentración atmosférica de CO₂, la temperatura media mundial en la superficie seguiría aumentando durante algunos siglos y el nivel del mar durante varios siglos o incluso milenios. Por lo tanto, la estabilización de la concentración de CO₂ en un determinado nivel y período de tiempo no significa que se acaben los cambios en el clima.

2.5.5. Deforestación

Las emisiones humanas aparecen desde las etapas preindustriales con la quema de bosques (CO₂) y el incremento de la ganadería (CH₄). Estas emisiones se dividen en dos grupos que actúan de formas contradictorias:

- Gases invernadero: contribuyen al calentamiento global.
- Aerosoles: contribuyen al oscurecimiento global y a la polución atmosférica.
- Detonaciones nucleares atmosféricas.

En cuanto a las anomalías térmicas durante el siglo XX, sobre las variaciones anuales se ha ajustado una media móvil de 5 años. Durante los años

60 y 70 se produce un freno en el calentamiento y posteriormente un descenso paulatino de las temperaturas. Este comportamiento coincide con el momento de máximo de apogeo nuclear. En las décadas siguientes la mayoría de pruebas son subterráneas y, por lo tanto, no tienen contribución alguna al efecto que se trata.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Las variables físicas, químicas y biológicas, con sus respectivas unidades de medidas, son:

Tabla IV. **Variables con sus respectivas unidades de medida**

Parámetro	Unidad de Medida)
Oxígeno Disuelto	% de saturación
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
Cambio de Temperatura	°C
Conductividad	µS/cm
Sólidos Disueltos Totales	mg/L

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio está limitado a los programas de monitoreo que realice la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, aplicando la metodología para el cálculo del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA).

Figura 1. Ubicación del río Ocotes



Fuente: Google Earth. Consulta: 10 de octubre de 2016.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Desarrollo del proyecto: Rodolfo José Martínez Hurtado, estudiante de ingeniería química.
- Asesor: Ingeniero Químico Jorge Mario Estrada.
- Asesora Técnico-Administrativa de la Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala: Ingeniera Civil Beatriz Ramírez.

3.4. Recursos materiales disponibles

Tabla V. **Equipo personal para toma de muestras**

No.	Equipo
1	Botas impermeables
2	Guantes de látex

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Equipo para recolección de muestras**

No.	Equipo
1	Recipiente esterilizado de plástico (capacidad: 1 galón)
32	Multiparamétrico

Fuente: elaboración propia.

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 ISQA.

3.5. Técnica cuantitativa

Con base en el presupuesto y recursos humanos, se determinó que una cantidad de diez muestreos es suficiente para representar el comportamiento del río a lo largo del año, de las cuales cinco muestras serán tomadas en estación lluviosa y cinco en estación seca, para obtener resultados aplicables.

Esta investigación será de carácter cuantitativo, capacitivo y experimental, ya que se realizarán muestreos de determinado recurso hídrico para obtener valores reales de los parámetros involucrados en el cálculo del ISQA.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Información general para la recolección de datos.

3.6.1. Ubicación de la recolección

La recolección de 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 Los Ocotes, ubicado en la zona 25 de la Ciudad de Guatemala.

3.7. Proceso de recolección de muestras

La metodología para la recolección de datos se llevará a cabo según la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993, Procedimientos Sanitarios para el Muestreo de Agua para Uso y Consumo Humano en Sistemas de Abastacimientos de Agua Públicos y Privados.

3.7.1. Material

Envases para toma de muestra:

- Para análisis físico-químico: envases de plástico o vidrio inertes al agua de 0,6L de capacidad como mínimo, con tapones del mismo material que proporcionen cierre hermético.

3.7.2. Preparación de envases para toma de muestras

- Para análisis bacteriológico:
 - Toma de muestra de agua sin cloro residual. Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a esta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.
 - Toma de muestra de agua con cloro residual. Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min, los cuales deben contener 0,1 ml de tiosulfato de sodio al 3 % por cada 125 ml de capacidad de los mismos. Debe colocarse un papel de protección al tapón del frasco, en forma similar a la indicada en el enunciado anterior.
- Para análisis físicoquímico los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

3.7.3. Procedimiento para toma de muestra

- Para análisis bacteriológico:

- En captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento, deben lavarse manos y antebrazos con agua y jabón.
- Debe quitarse el papel de protección evitando que se contamine.

- Sumergir el frasco en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir y enderezar a continuación con el cuello hacia arriba (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y, en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción). Si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección.
- Efectuada la toma de muestra, deben colocarse el tapón y el papel de protección al frasco.

- Para análisis físicoquímico:
 - En captación de un cuerpo de agua superficial, tanque de almacenamiento, pozo somero o fuente similar, debe manejarse el envase siguiendo las indicaciones comprendidas en el caso bacteriológico.

3.7.4. Manejo de muestras

- Las muestras tomadas como se indican en el punto 6 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 período máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis es:
 - Para análisis bacteriológico: 6 horas.
 - Para análisis físicoquímico el período depende de la preservación empleada para cada parámetro.

3.7.5. Identificación y control de muestras

Para la identificación de las muestras deben etiquetarse los frascos y envases con la siguiente información:

- Número de registro para identificar la muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Para el control de la muestra debe llevarse un registro con los datos indicados en la etiqueta del frasco o envase.
- Identificación del punto o sitio de muestreo.
- Temperatura ambiente y temperatura del agua.
- Tipo de análisis a efectuar.
- Técnica de preservación empleada.
- Observaciones relativas a la toma de muestra.
- Nombre de la persona que realiza el muestreo.

3.8. Cálculo del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

Con los resultados de los análisis de laboratorio se seleccionarán los parámetros requeridos para el cálculo del ISQA. Luego, para cada parámetro, se determinará el factor de calidad correspondiente y luego se determinarán los factores de ponderación. Con el factor de calidad, el factor de ponderación y la ecuación correspondiente se determinará el índice para cada muestreo realizado.

3.8.1. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos tabulados para cada parámetro son referentes a diez muestras que serán analizadas para el desarrollo de la metodología del ISQA.

Tabla VII. Datos de los parámetros analizados en cada muestra

Número de Muestra	
Parámetro	Resultado de análisis
Oxígeno Disuelto (% de saturación)	
DQO (mg/L)	
Cambio de Temperatura (°C)	
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	

Fuente: elaboración propia.

3.8.2. Plan de análisis de los resultados

El carácter cuantitativo de la investigación indica la utilización de ecuaciones diseñadas para el desarrollo de la metodología de cálculo para el ISQA, el cual se determinará a partir de la siguiente ecuación:

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

Basándose en un promedio geométrico ponderado.

En donde:

- E: temperatura del agua (T en °C). Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:
 - $E = 1$ si $T \leq 20$ °C
 - $E = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125$ si $T > 20$ °C
- A: demanda química orgánica 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 $\text{DQO-Mn} \leq 10$ mg/l
 - $A = 21 - (0,35 \cdot \text{DQO-Mn})$ si $60 \text{ mg/l} \geq \text{DQO-Mn} > 10$ mg/l
 - $A = 0$ si $\text{DQO-Mn} > 60$ mg/l
- B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $B = 25 - (0,15 \cdot \text{SST})$ si $\text{SST} \leq 100$ mg/l
 - $B = 17 - (0,07 \cdot \text{SST})$ si $250 \text{ mg/l} \geq \text{SST} > 100$ mg/l
 - $B = 0$ si $\text{SST} > 250$ mg/l
- C: oxígeno disuelto (O₂ en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $C = 2,5 \cdot \text{O}_2$ si $\text{O}_2 < 10$ mg/l

- $C = 25$ si $O_2 \geq 10$ mg/l
- D: conductividad (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18°C). Si la conductividad se mide a 25°C , para obtener la conversión a 18°C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:
 - $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$
 - $D = 0$ si $CE > 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$

3.8.3. Método y modelos de los datos según tipo de variables

El método que se implementará para el ISQA será el desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF), basándose en el uso de la técnica de investigación de Delphi. Se determinará a partir de la siguiente ecuación:

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

Basándose en un promedio geométrico ponderado.

3.8.4. Programas a utilizar para análisis de datos

Para la ejemplificación de la metodología de cálculo del índice de calidad del agua se hará uso de los siguientes programas:

- Microsoft Word: redacción de resultados.
- Microsoft Excel: creación de gráficos, tablas de datos y resultados.

3.9. Cronograma

Tabla VIII. **Secuencia general de actividades**

Actividad	Semana														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Presentación de Proyecto de Investigación en Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala															
Muestreo 1, Estación seca															
Muestreo 2, Estación seca															
Muestres 3 Estación seca															
Muestreo 4, Estación seca															
Muestreo 5, Estación seca															
Muestreo 1, Estación lluviosa															
Muestreo 2, Estación lluviosa															
Muestreo 3, Estación lluviosa															
Muestreo 4, Estación lluviosa															
Muestreo 5, Estación lluviosa															
Presentación de resultados															

Fuente: elaboración propia.

3.10. Presupuesto

A continuación se detalla el presupuesto requerido para la realización del presente trabajo de investigación:

Tabla IX. **Gastos necesarios para el desarrollo de la investigación**

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Recipientes de muestras	20	Q8,00	Q160,00
Caja guantes de látex	1	Q100,00	Q100,00
Caja de viales de DQO'S		Q500,00	Q1 000,00
Impresión	6	Q60,00	Q360,00
Impresión CD	3	Q25,00	Q75,00
Encuadernado	6	Q30,00	Q180,00
		Total	Q1 875,00

Fuente: elaboración propia.

3.11. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó para determinar si existe varianza entre los resultados del ISQA en estación seca y lluviosa, para el punto bajo y alto del Río Ocotes.

Tabla X. **Agrupación de resultados a comparar**

Medición	ISQA punto bajo		ISQA punto alto	
	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa
1	18,74	29,58	1,61	35,77
2	28,56	35,83	2,5	44,36
3	39,2	46,53	32,08	45,05
4	13,53	44,07	10,59	41,57
5	30,97	58,35	21,18	62,03

Fuente. elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis de varianza en punto bajo**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Entre grupos	694,88896	694,88896
Dentro de los grupos	894,15468	111,769335
Total	1589,04364	
<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
6,217170031	0,037322463	5,317655072
Como $F > F$ crítico, se acepta hipótesis alternativa.		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis de varianza en punto alto**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Entre grupos	2586.30724	2586.30724
Dentro de los grupos	1059.5298	132.441225
Total	3645.83704	
<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
19.52796223	0.002229329	5.317655072
Como $F > F$ crítico, se acepta hipótesis alternativa.		

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1 Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

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

Tabla XIII. **ISQA en estación seca**

Muestreo	ISQA bajo	Punto	Calidad	ISQA alto	Punto	Calidad
1	18,74		Muy mala	1,62		Muy mala
2	28,56		Muy mala	2,51		Muy mala
3	39,2		Mala	32,09		Mala
4	13,54		Muy mala	10,6		Muy mala
5	30,97		Muy mala	21,18		Muy mala
Promedio	25,2		Muy mala	13,6		Muy mala

Fuente: elaboración propia.

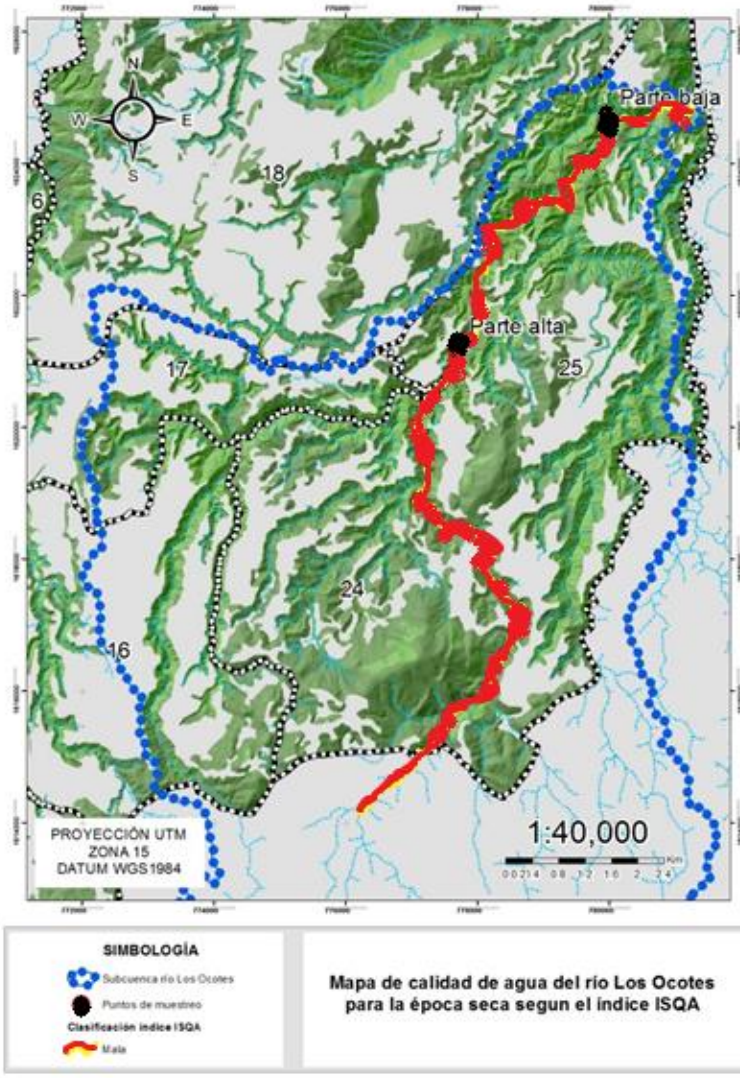
Tabla XIV. **ISQA en estación lluviosa**

Muestreo	ISQA bajo	Punto	Calidad	ISQA alto	Punto	Calidad
1	29,58		Mala	35,77		Mala
2	35,83		Mala	44,36		Mala
3	46,53		Mala	45,05		Mala
4	44,07		Mala	41,57		Mala
5	58,35		Media	62,03		Media
Promedio	42,87		Mala	45,75		Mala

Fuente: elaboración propia.

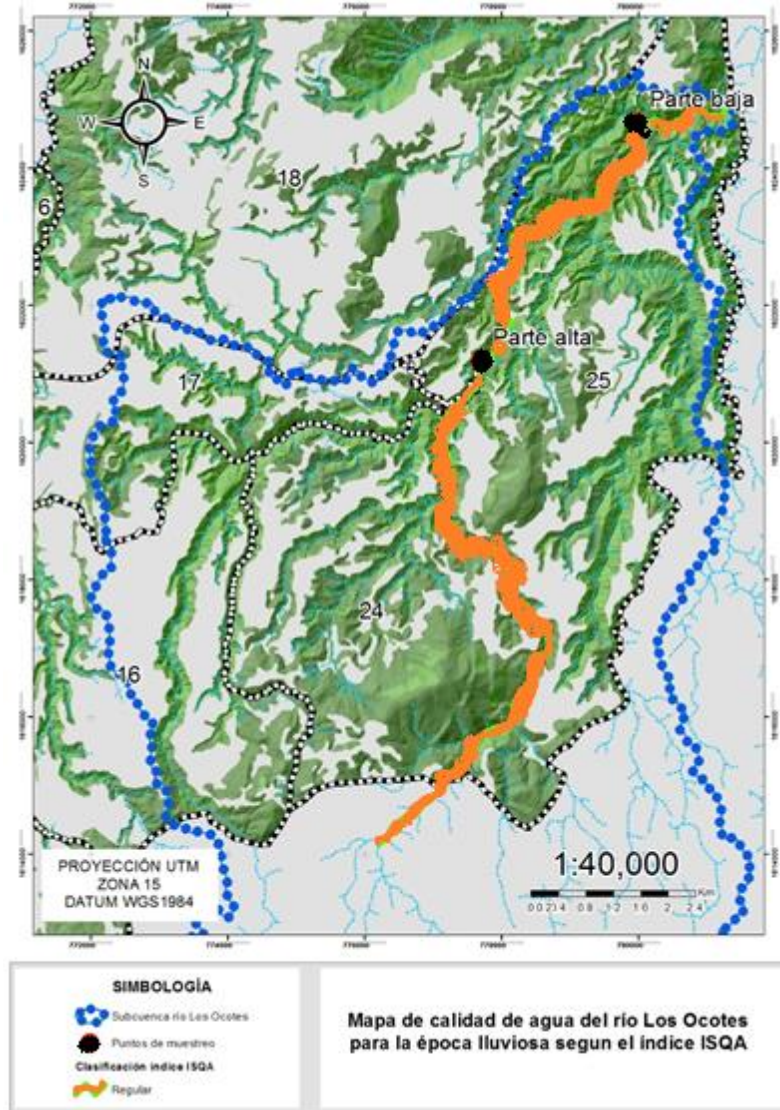
4.2 Mapas de representación de la calidad del agua por estación en la subcuenca del río Ocotes

Figura 2. ISQA para estación seca



Fuente: elaboración propia, empleando programa ArcGIS.

Figura 3. ISQA para estación lluviosa



Fuente: elaboración propia, empleando programa ArcGIS.

4.3 Análisis estadístico

Tabla XV. Análisis de varianza en punto bajo

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Entre grupos	694,88896	694,88896
Dentro de los grupos	894,15468	111,769335
Total	1589,04364	
<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
6,217170031	0,037322463	5,317655072
Como $F > F$ crítico, se acepta hipótesis alternativa.		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Análisis de varianza en punto alto

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Entre grupos	2586,30724	2586,30724
Dentro de los grupos	1059,5298	132,441225
Total	3645,83704	
<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
19,52796223	0,002229329	5,317655072
Como $F > F$ crítico, se acepta hipótesis alternativa.		

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las tablas XXI y XXII muestran los resultados obtenidos del Índice Simplificado de Calidad del Agua para la estación seca y la estación lluviosa. Los índices de calidad del agua obtenidos para la estación seca indican que la calidad del río es “muy mala” y, comparado con los resultados obtenidos para la estación lluviosa, se observa una leve mejoría de la calidad siendo esta “mala”.

La calidad del agua para la estación lluviosa mejora debido a que las lluvias limpian naturalmente los cuerpos de agua, aumentando su caudal y removiendo la materia orgánica que se encuentra en el cauce del río. Sin embargo, resulta no ser suficiente para lograr una limpieza más profunda, ya que en la escala de clasificación de la calidad del agua solamente aumenta una clasificación.

Las tablas XVII y XVIII muestran los índices obtenidos para el cálculo del ISQA en estación seca y las tablas XIX y XX muestran los índices obtenidos para el cálculo del ISQA en estación lluviosa. El índice A, relacionado con la demanda química orgánica, es muy bajo en estación seca, la mayoría tiende a 0, lo que indica valores altos de materia orgánica presente en el río, como por ejemplo presencia de heces y plásticos desechados (envases de PET y PVC), y esto constituye un alto nivel de contaminación, mientras que en la estación lluviosa este parámetro se mantuvo entre 8 y 25, lo que indica que la carga de materia orgánica disminuyó un poco.

El índice B, relacionado con los sólidos en suspensión, es de 0 en todas las muestras, lo que indica una fuerte presencia de sólidos suspendidos en

estación seca, y en estación lluviosa el parámetro aumentó hasta un máximo de 21,55, indicando una disminución de sólidos suspendidos en el río.

El índice C se relaciona con el oxígeno disuelto en el río, en estación seca hay valores entre 0 y 16 de este parámetro, lo cual indica una cantidad muy grande de vida microbiana y organismos anaerobios que contaminan el río. En estación lluviosa los valores aumentan ligeramente a un rango entre 6 y 23, pero no lo suficiente para dejar de concluir que sigue existiendo contaminación por estos organismos.

El índice D se relaciona con la conductividad eléctrica, esta debida a presencia de minerales contaminantes en el río. Tanto en estación seca como lluviosa los valores son muy bajos, tendiendo a 0, esto indica una alta presencia de minerales en el río, los cuales no disminuyen su concentración a pesar de las lluvias. Este comportamiento es el esperado, puesto que indica que no hay afluentes externos de sustancias contaminantes ingresando al río.

El índice E se relaciona con la temperatura del río al momento de la medición, en estación seca la temperatura del río varió entre 20°C y 25°C, y en estación lluviosa todos los valores apenas superaron los 20°C, por lo que los valores del parámetro fueron bastante similares, lo cual indica que la temperatura no influyó mucho sobre el ISQA.

La figura 2 es un mapa de zonificación que representa la calidad del agua durante la estación seca, la cual es muy mala y se representa con el color rojo, y sirve para comparar con la figura 3, que representa la calidad del agua durante la estación lluviosa, la cual es mala y se representa con el color naranja, por lo que gráficamente puede verse la leve mejoría cuando se cambia de estación de acuerdo al código de colores.

El análisis estadístico realizado en las tablas XV y XVI muestra que sí existe variación entre los resultados obtenidos por medio del ISQA para estación seca y lluviosa. El análisis estadístico está basado en una diferencia de medias pareadas, quedando el estadístico de prueba en la región de aceptación, con un nivel de confianza del 95 %.

CONCLUSIONES

1. El Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), en la parte baja y alta del Río Ocotes, durante la estación seca, indica que el río se encuentra en un nivel de calidad muy mala, quiere decir que tiene coloración no natural, mal olor, fuerte actividad microbiana y desechos orgánicos.
2. Los valores del ISQA en la parte baja y alta del Río Ocotes durante la estación lluviosa indican que el río se encuentra en un nivel de calidad mala, quiere decir que, a pesar de que su aspecto natural mejoró, cuenta con fuerte actividad microbiana, mal olor y desechos orgánicos.
3. Estadísticamente sí existe variación entre las medias de los valores del ISQA en estación seca y lluviosa, por lo que el resultado sí se ve influenciado estacionalmente.
4. El código de colores que representa la calidad del agua en los mapas realizados representa una calidad del agua muy mala, en color rojo para la estación seca, y una calidad mala en color naranja para la estación lluviosa.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mediciones de la calidad del agua en por lo menos 5 puntos de muestreo localizados a una distancia tal que se pueda evaluar el río estudiado en toda su prolongación.
2. Realizar una medición semanal de los parámetros fisicoquímicos que conforman el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), para obtener una tendencia más sólida de la calidad del agua del río a evaluar.
3. Comparar los resultados del ISQA con los del Índice de Calidad del Agua (ICA), puesto que este último abarca más parámetros que evalúan de forma más completa la calidad del agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALDANA AGUILAR, Mónica Lisset. *Índice de calidad del agua en el río Cucabaj ubicado en el Municipio de Santa Cruz del Quiché y la influencia de los costos del tratamiento de potabilización*. Artículo científico. Universidad San Carlos de Guatemala, 2014. 14p.
2. ARRIAGA-GAONA, M. L. *Monitoreo de la calidad del agua del Río Tecolutla desde Coyutla hasta Gutiérrez Zamora, Veracruz*. Artículo científico. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. México, 2013. 147p
3. ARRIOLA, Ana. *Índices de calidad de agua en el Río Pinula, cuenca del lago de Amatitlán*. Trabajo de graduación de la Escuela de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2012. 56p.
4. BALL, R.; Church, R. *Water quality indexing and scoring*. Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 106, EE4, 1980, pp. 757-771
5. BEHAR G., Roberto. *Análisis y valoración del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la NSF: caso Ríos Cali y Meléndez*. Artículo científico. Universidad del Valle, Colombia, 1997. 37p.

6. DE VARGAS, Lidia. *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida. Tomo I.* Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente, Perú. 2014. 22 p.
7. DEVORE, Jay L. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* Séptima edición. Estados Unidos: Cengage Learning, 2008. 325p.
8. FAO Corporate Document Repository. *Water quality evaluation.* [en línea]. <http://www.fao.org/docrep/003/T02_34E01.htm#ch1.4>. [Consulta: 14 de noviembre de 2016].
9. LEÓN, Guillermo. *Parámetros de calidad para el uso de aguas residuales.* <[en línea]. <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep184/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>>.[Consulta: 14 de noviembre de 2016].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Campos de conocimiento	Área	Curso	Tema específico	Técnica a resolver
Ingeniería Química	Ingeniería y Tecnología	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis Cualitativo • Análisis Cuantitativo • Análisis Instrumental • Química Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> o pH o Solubilidad o Valoración de métodos o Impacto Ambiental 	Manejo de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos. Interpretación de análisis.
		Área de especialización	<ul style="list-style-type: none"> • Microbiología 	<ul style="list-style-type: none"> o Tipos de Bacterias o Grupos que conforman los coliformes. 	Metodos de determinación de presencia de microorganismos y medios de reproducción.
		Área de ciencias básicas y complementaria	<ul style="list-style-type: none"> • Mate básica 1 	<ul style="list-style-type: none"> o Ecuaciones algebraicas. o Graficas Polinomiales 	Cálculo de medias aritméticas. Interpretación de gráficas
			<ul style="list-style-type: none"> • Estadística 1 	<ul style="list-style-type: none"> o Estadística Descriptiva o Variables Aleatorias 	Proporcionar elementos matemáticos que expliquen fenómenos.
			<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del Agua 	<ul style="list-style-type: none"> o Indices de Calidad de agua. o Métodos de preservación. o Plan de Monitoreo de Ambiental. 	Aplicación de metodología e interpretación de datos sobre la calidad del agua. Puntos de muestreo y captación de los mismos.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa y árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Índices para cálculo de ISQA en estación seca

Variables	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3
	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo
A	13.93	0	12.25	0	25
B	0	0	0	0	0
C	3.825	0.675	15.375	1.575	13.35
D	1.072215482	0.945342245	1.059120184	0.942045877	1.018118579
E	0.99575	0.997	0.99575	0.996375	0.99575

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Índices para cálculo de ISQA en estación seca

Variables	Muestreo 3	Muestreo 4		Muestreo 5	
	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto
A	25	0	0	15.155	10.08
B	0	0	0	0	0
C	6.225	14.45	9.525	14.825	10.275
D	1.043287526	1.1104071	1.048501208	1.125172074	0.932304284
E	0.994375	0.87	1.00205	0.99575	0.995

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Índices para cálculo de ISQA en estación lluviosa

	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3
Variables	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo
A	8.05	10.85	16.8	25	14.35
B	0	4.4	0	0	8.2269
C	20.4	19.375	17.975	18.175	22.85
D	1.258961368	1.257261583	1.216795229	1.353747688	1.303773713
E	0.99575	0.997	0.99575	0.996375	0.99575

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Índices para cálculo de ISQA en estación lluviosa

	Muestreo 3	Muestreo 4		Muestreo 5	
Variables	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto
A	16.135	11.2	14	15.4	25
B	6.654	17.8	6.57	21.55	17.8
C	21.25	20.4	19.7	20.4	18.35
D	1.272804595	1.258961368	1.219897345	1.258961368	1.198633928
E	0.994375	0.87	1.00205	0.99575	0.995

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros medidos durante estación seca

Muestreo estación seca	1		2		3	
Fecha	14/04/2016		21/04/2016		28/04/2016	
Fuente	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto
DQO (mg/l)	20,2	115	25	123	15	15
Sólidos totales (mg/L)	3200	2825	2997	2835,54	3105	2750
Temperatura (°C)	25,86	22,08	20,63	22,82	21,6	22,5
DO (mg/l)	1,53	0,27	6,15	0,63	5,34	2,49
EC (µS/cm)	337,12	451,5	347,44	454,94	381,84	360,34

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina.

Anexo 2. Parámetros medidos durante estación seca

Muestreo	4		5	
Fecha	05/05/2016		12/05/2016	
Fuente	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto
DQO (mg/l)	181	204	16,7	31,2
Sólidos totales (mg/L)	3100	2737,5	3100	2737,5
Temperatura (°C)	21,82	22,24	21	23
DO (mg/l)	5,78	3,81	5,93	4,11
EC (µS/cm)	308,74	356,04	298,42	465,26

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina.

Anexo 3. Parámetros medidos durante estación lluviosa

Muestreo estación lluviosa	1		2		3	
Fecha	24/08/2019		13/09/2016		21/09/2016	
Fuente	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto
DQO (mg/l)	37	29	12	15	19	13,9
Sólidos totales (mg/L)	356	180	305	290	125,33	147,8
Temperatura (°C)	20,34	20,24	20,34	20,29	20,34	20,45
DO (mg/l)	8,16	7,75	7,19	7,27	9,14	8,5
EC (µS/cm)	219,3	220,16	241,66	176,3	197,8	212,42

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina.

Anexo 4. Parámetros medidos durante estación lluviosa

Muestreo	4		5	
Fecha	06/10/2016		13/10/2016	
Fuente	Punto bajo	Punto Alto	Punto bajo	Punto Alto
DQO (mg/l)	28	20	16	15
Sólidos totales (mg/L)	48	149	23	48
Temperatura (°C)	30,4	19,836	20,34	20,4
DO (mg/l)	8,16	7,88	8,16	7,34
EC (µS/cm)	219,3	239,94	219,3	251,98

Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina.