

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MOTAGUA, 2002-2013  
TESIS DE GRADO

**MELLANY ISABEL DIAZ SANTIZO**  
CARNET 10227-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2015  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MOTAGUA, 2002-2013  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**MELLANY ISABEL DIAZ SANTIZO**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2015  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLECCER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

LIC. MANUEL DE JESUS IXQUIAC CABRERA

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. MARÍA DEL PILAR NEGREROS PRATDESABA

MGTR. VIRGINIA MOSQUERA SALLES

ING. JAIME LUIS CARRERA CAMPOS

Guatemala 19 de mayo del 2015

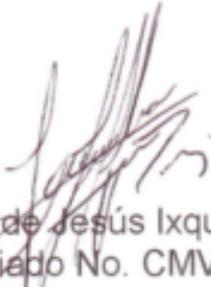
Consejo de Facultad  
Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación de la estudiante Mellany Isabel Díaz Santizo, carné 10227-09, titulada: "Análisis de la Calidad de Agua en la Cuenca Media del Río Motagua, 2002-2013".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Lic. Manuel de Jesús Ixquiac Cabrera  
Colegiado No. CMVZ 796  
Cod. URL13023



**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante MELLANY ISABEL DIAZ SANTIZO, Carnet 10227-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 0641-2015 de fecha 30 de abril de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MOTAGUA,  
2002-2013

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 7 días del mes de mayo del año 2015.

  
\_\_\_\_\_  
ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## AGRADECIMIENTO

**A:**

Dios por ser el guía de mi vida.

Mis padres, Isabel Santizo y Rubén López por darme la oportunidad de llevar a cabo mis Licenciatura en esta casa de estudios.

La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por la formación que recibí a lo largo de estos años.

Lic. Manuel de Jesús Ixquiac por su seguimiento y asesoría en la presente investigación.

Catedráticos especialmente a Licda. Cristina Bailey, Inga. Martis Ríos, Lic. Hayro García, Licda. Rosario Luna, Ing. Jaime Carrera, Licda. Xiomara Juarez, Ing. Walter Mayen, Inga. Nancy Girón, Ing. Jorge Sanchez, Licda. Lucrecia de MacVean, Licda. Claudia Calderón, Ing. Jerson Quevedo y Licda. Pilar Negreros, por su apoyo, las giras, pero sobre todo por sus enseñanzas.

Jackeline Zamora por efectuar mis trámites académicos con la mayor brevedad.

## DEDICATORIA

**A:**

**Padres:** Isabel, Rubén y René, por ser mi inspiración cada día. Por enseñarme que siempre debemos ser la mejor versión de nosotros mismos y nunca darme por vencida, las piedras no son impedimentos o las pateamos o las saltamos pero nunca me deben impedir hacer algo. Por y para ustedes, los amo. Gracias por recibir a mis amigos todas las semanas en casa y ser tan "Chilers".

**Hermanos:** Diego, Rodolfo y Payunchis por desesperarme pero a la vez llenarme de amor, mis días sin ustedes no serían lo mismo, pilas pues que ya les falta poco, los amo.

**Abuelos:** Mamamita y Papalito, gracias por su apoyo, sus atenciones pero sobre todo el amor que me demuestran día con día. A mi Abuelita Carmencita (Q.E.P.D.) y Abuelita Dinna (Q.E.P.D.) y doña Blanca por su amor.

**Tíos y Primos:** Mayri por tus consejos y ser una guía en mi formación académica. A mi tío Byron, Manuel, Gustavo, Judith y Claudia. A mis primos que viven en Guatemala como los que viven en Estados Unidos.

**Mi Novio:** Dieguito, por el amor, la motivación, el tiempo y ánimo que has puesto en cada paso que doy en mi vida, este es solo el inicio de muchos éxitos, te amo.

**Amigos:** Yilma, Pedro, Salvador, Darío, Sandra, Josué, Diego Vincent, Diego Morales, Maribel, Wendy, JuanFra, Diego Incer, Pancha, Pussy y a Picolito, por todo lo compartido dentro y fuera de la Universidad, por su compañía y apoyo, los quiero mucho.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
SUMMARY .....	2
I. INTRODUCCIÓN .....	3
II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL .....	5
2.1 Cuencas Hidrográficas .....	5
2.1.1 Partes de una cuenca hidrográfica .....	6
2.1.2 Manejo Integrado de la cuenca hidrográfica .....	6
2.2 Calidad de Agua.....	6
2.2.1 Factores que determinan la calidad del agua .....	7
2.2.2 Constituyentes de la Calidad de Agua .....	8
2.2.3 Oxígeno Disuelto .....	8
2.2.4 Potencial de Hidrógeno (pH):.....	8
2.2.5 Nitratos .....	8
2.2.6 Temperatura .....	9
2.2.7 Sólidos Disueltos Totales.....	9
2.2.8 Demanda Química de Oxígeno.....	9
2.3 Índice de Calidad de Agua .....	10
2.3.1 Procedimiento general para la formulación de un índice de calidad de agua .....	10
2.3.2 Criterios de diseño para la elaboración de un índice de calidad de agua ..	12

2.4	Precipitación.....	12
2.4.1	Anomalías positivas .....	13
2.4.2	Anomalías negativas.....	13
2.5	Descripción del área de estudio .....	13
2.5.1	Descripción de la cuenca.....	13
2.5.2	Geomorfología .....	15
2.5.3	Uso actual del río.....	15
2.5.4	Capacidad agrícola.....	15
2.5.5	Fuentes de contaminación.....	16
2.6	Situación actual de la cuenca del Río Motagua.....	17
2.6.1	Legislación Ambiental .....	18
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
IV.	OBJETIVOS.....	23
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	23
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
V.	METODOLOGÍA.....	24
5.1	Unidad de análisis .....	24
5.1.1	San Agustín Acasaguastlán, El Progreso .....	24
5.1.2	Gualán, Zacapa .....	25
5.2	Tipo de investigación.....	26
5.3	Instrumentos.....	27

5.3.1	Fórmulas para la determinación de Índices de Calidad de Agua .....	28
5.3.1.1	Oxígeno Disuelto .....	30
5.3.1.2	pH.....	31
5.3.1.3	Nitratos .....	32
5.3.1.4	Cambio de Temperatura.....	33
5.3.1.5	Sólidos Totales Disueltos .....	34
5.3.1.6	Demanda Química de Oxígeno: .....	35
5.4	Procedimiento .....	37
5.4.1	Recopilación de información.....	37
5.4.2	Toma de muestras .....	38
5.4.3	Análisis de la información .....	39
5.4.4	Elaboración del Índice de Calidad de Agua- ICA-.....	39
6.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	41
6.1	Oxigeno Disuelto.....	41
6.2	pH .....	42
6.3	Nitratos.....	42
6.4	Cambio de Temperatura .....	43
6.5	Sólidos Totales Disueltos.....	43
6.6	Demanda Química de Oxígeno.....	43
6.7	Índice de Calidad de Agua .....	44
7.	CONCLUSIONES .....	57

8. RECOMENDACIONES..... 59

9. BIBLIOGRAFÍA..... 60

10. ANEXOS..... 63

    10.1 Como Utilizar ICAtest:..... 63

## **INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1: Calificación de la Calidad de Agua .....	11
Cuadro 2: Pesos relativos para cada parámetro del "ICA y sus Unidades de medidas.	29
Cuadro 3: Especificaciones técnicas de equipo Hach Hidrolab Sension 156. ....	38
Cuadro 4: Índice de Calidad de Agua y precipitación promedio mensual en El Puente Orellana y Gualán. ....	50
Cuadro 5: Índice de Calidad de Agua para el mes de Octubre, Puente Orellana y Gualán. ....	53
Cuadro 6: Relación de la precipitación e ICA en mes de Octubre, Puente Orellana y Gualán. ....	54
Cuadro 7: Parámetros Físico Químicos a evaluar en las estaciones de muestreo, Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa. ....	67
Cuadro 8: Subíndices de cada parámetro Físico Químico en Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa. ....	69
Cuadro 9: Índices de Calidad de Agua para Puente Orellana y Gualán, años 2002, 2003,2004, 2006 y 2013. ....	71
Cuadro 10: Relación de la Precipitación y el Índice de Calidad de Agua en Puente Orellana, El Progreso. ....	72
Cuadro 11: Relación de la Precipitación y el Índice de Calidad de Agua en Gualán, Zacapa. ....	73

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Partes de una cuenca hidrográfica (MARN, 2008) .....	5
Figura 2: Localización de la Cuenca del Río Motagua en Guatemala .....	14
Figura 3: Ubicación geográfica del Municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso sobre la cuenca del río Motagua. ....	24
Figura 4: Ubicación geográfica del Municipio de Gualán, Zacapa sobre la cuenca del río Motagua. ....	25

Figura 5: Puntos de referencia para realización de ICA en la cuenca media del Río Motagua. ....	26
Figura 6: Valoración de la calidad de agua en función al oxígeno disuelto. ....	31
Figura 7: Valoración de la calidad de agua en función al pH.....	32
Figura 8: Valoración de la calidad de agua en función a los Nitratos. ....	33
Figura 9: Valoración de la calidad de agua en función al cambio de Temperatura. ....	34
Figura 10: Valoración de la calidad de agua en función a los Sólidos Disueltos Totales. ....	35
Figura 11: Valoración de la calidad de agua en función a la Demanda Química de Oxígeno.....	36
Figura 12: Análisis de comportamiento del Índice de Calidad de Agua para Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa. ....	45
Figura 13: Análisis del Índice de Calidad de Agua para Gualán en la época de invierno y estiaje, 2002-2006. ....	47
Figura 14: Análisis del Índice de Calidad de Agua para Puente Orellana en la época de invierno y estiaje, 2002-2006.....	48
Figura 15: Precipitación en Puente Orellana, San Agustín Acasaguastlán, El progreso 2002-2013. ....	49
Figura 16: Precipitación en Gualán, Zacapa 2002-2013. ....	50
Figura 17: Relación entre el Índice de Calidad de Agua y la Precipitación mensual para Puente Orellana, El Progreso.....	51
Figura 18: Relación entre el Índice de Calidad de Agua y la Precipitación mensual para Gualán, Zacapa. ....	52
Figura 19: Índice de Calidad de Agua durante el mes de octubre e los años 2003, 2004, 2006 y 2013.....	53
Figura 20: Introducción de datos Físico Químicos al programa.....	63
Figura 21: Generador de índice de calidad de agua.....	64
Figura 22: Modelo de programa ICA test, cuenca media del Río Motagua. ....	66
Figura 23: Toma de muestras en Gualán, Zacapa. ....	66
Figura 24: Toma de muestras en El Puente Orellana, El Progreso. ....	66

# **ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MOTAGUA, 2002-2013**

## **RESUMEN**

La presente investigación se realizó en la cuenca media del Río Motagua, en las estaciones de muestreo Puente Orellana, El Progreso y Gualán en Zacapa. Se evaluó la adaptación de los Índices de calidad de agua: ICA, NSF, Oregon y AMOEBA. Ya que únicamente se utilizaron seis parámetros fisicoquímicos: oxígeno disuelto, DQO, pH, TDS, temperatura y nitratos. El índice que mejor funcionó fue el ICA, que asigna un valor de 0 (muy mala) a 100 (excelente) para calificar la calidad de agua. El análisis permite evaluar la relación que existe entre la calidad de agua y la precipitación mensual en las unidades de muestreo. Los datos fisicoquímicos y de precipitación fueron obtenidos del INSIVUMEH del periodo 2002 al 2013. Se llevo a cabo una toma de muestra de agua y análisis de calidad de agua en las estaciones antes mencionadas, en octubre del año 2013. La información permitió evaluar la fluctuación en la calidad de agua y su relación con el ciclo anual de lluvia. El resultado de la investigación refleja que el río por su paso en El Puente Orellana registra valores entre 25.8 durante febrero del año 2004 hasta una máxima de 87.3 en mayo del año 2006. En el caso de la estación ubicada en Gualán el ICA mínimo es de 30.9 durante mayo del año 2002 y una máxima de 81.9 catalogada como "Buena" en mayo del año 2003. Se estableció que las variantes en los datos pueden estar asociadas al incremento en la precipitación, por lo que la calidad de agua en los cuerpos tiende a aumentar debido a la disolución y oxigenación del agua en su curso por la cuenca.

# **ANALYSIS OF WATER QUALITY IN THE MIDDLE WATERSHED of MOTAGUARIVER, 2002-2013**

## **SUMMARY**

This research was conducted in the middle of the basin of Motagua River, in the sampling stations Orellana's Bridge, El Progreso and Gualán in Zacapa. It was evaluated an adaptation of the following water quality index: NSF, Oregon and AMOEBA. Six physicochemical parameters were used: Dissolved oxygen, COD, pH, TDS, temperature and nitrates. The index that performed best was the NSF, which assigns a value of 0 (very poor) to 100 (excellent) to assess the quality of water. The analysis assesses the relationship between water quality and the precipitation. The physicochemical and precipitation data of the period 2002 to 2013, were obtained from INSIVUMEH. Sampling and analysis of water quality was conducted in October, in the same sampling stations. By analyzing the information was identified that there is a relationship between water quality and annual cycle of the rain. The result of research shows that the river passing Orellana's Bridge recorded values of water quality, between 25.8 during February 2004 to a high of 87.3 in May 2006. In the station located in Gualán, water quality had a minimum of 30.9 in May 2002 to a high of 81.9 ranked as "Good" in May 2003. It was established that the variations in the data may be associated with increased rainfall, so the quality of water in the river tends to increase due to the dissolution and oxygenation of water in its course through the watershed.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación física, química y biológica del recurso hídrico es uno de los principales problemas ambientales que posee actualmente Guatemala. Por ello es importante realizar análisis de calidad de agua en las distintas cuencas del país y generar herramientas para la interpretación de dichos análisis. En el presente estudio se analizó la cuenca media del río Motagua. La importancia de analizar la cuenca del río Motagua se debe a que la cuenca abastece a 14 departamentos y 95 municipios, distribuyendo alrededor de 6,500 millones de m<sup>3</sup> anuales (IARNA, 2006). El problema se centra en que la calidad del agua varía conforme el recorrido del río a lo largo de la cuenca, teniendo fluctuaciones en el comportamiento a través del tiempo.

El análisis se realizó en la cuenca media del río Motagua, en las estaciones de muestreo establecidas por el INSIVUMEH como Puente Orellana y Gualán. Para la interpretación de los datos fisicoquímicos generados se utilizó como base la herramienta ICA test, elaborada por Brown en 1970 y se adecuó a los parámetros generados en los últimos años por INSIVUMEH y muestras obtenidas en octubre 2013. Para la obtención y realización de la base de datos se utilizaron datos generados por el INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), el cual estableció puntos de muestreo en, Gualán y El Rancho, por lo que se extrajeron datos tanto de calidad de agua como de precipitación de los años 2002, 2004, 2005, 2006 y 2013. Siendo el fin determinar la variación de la calidad del agua en la cuenca media y su relación con la precipitación mensual.

La herramienta que se generó utiliza el análisis de los parámetros fisicoquímicos, oxígeno disuelto, cambio de temperatura, pH, sólidos disueltos, nitratos y la demanda química de oxígeno. Por lo que analizar y procesar información sobre los parámetros antes mencionados genera información capaz de utilizarse para la interpretación de resultados de calidad de agua a través de valores numéricos asignados desde 0-100%, siendo 0% muy mala calidad y 100% la mejor calidad.

Así como para la toma de decisiones para llevar a cabo proyectos que beneficien a las poblaciones adyacentes al río, tanto en el sector público como privado.

Dados los resultados comparativos que se generaron en la investigación, se recurrió a evaluar de una forma integral la calidad del agua que recorre la cuenca del Río Motagua, así como determinar la variación de la misma a través del tiempo y como ello influye en el desarrollo local y a los asentamientos humanos y biota del área analizada.

La importancia de medir la calidad del agua en la cuenca del Río Motagua surge de la relevancia de que tiene por ser una de las cuencas de mayor extensión territorial en el país.

Se considera que al analizar los datos de calidad de agua de 11 años (2002-2013) tendría la capacidad de evidenciar el estado en el que se encuentra la cuenca media del Río Motagua. Esta información se analizó anualmente y se generaron resultados que de manera integral brindaron información no solo de dos estaciones de muestreo establecidos por el INSIVUMEH, situados en la parte media de la cuenca, por lo que se generaron resultados de la interacción del agua durante su recorrido por la cuenca media del Río Motagua.

## II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

### 2.1 Cuencas Hidrográficas

Es una zona geográfica drenada por una corriente de agua (FAO, 2009). Una cuenca hidrográfica es una unidad natural, cuyos límites físicos se definen por las divisiones superficiales de las aguas, conocidas como “parteaguas”. También conocido como el territorio delimitado por una línea divisoria de las aguas el cual es conformado por un sistema hídrico que conduce agua a otro cuerpo de agua como un lago, el mar o bien un río. En dicho concepto se abarca la cobertura sobre el terreno, el entorno de las aguas así como las profundidades del terreno. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2008) señalan la presencia de recursos naturales e infraestructura creada por el hombre, en las cuales se desarrollan actividades económicas y sociales. En la figura 1 se muestra como se distribuyen las partes de la cuenca y como es su relacion en cuanto a disposicion de vegetación.

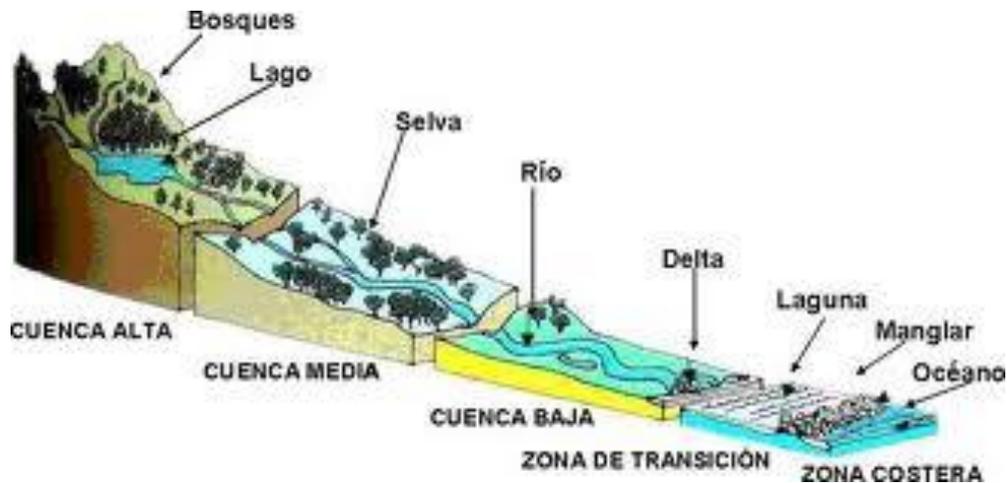


Figura 1: Partes de una cuenca hidrográfica (MARN, 2008)

### **2.1.1 Partes de una cuenca hidrográfica**

Una cuenca se compone por distintas partes, alta, media y baja. Las cuales se clasifican por su altura, relación climática, topografía del terreno, estructura del suelo y formas del terreno. En el momento de identificar la cuenca es importante el análisis de las variables anteriores ya que la parte alta de la cuenca es el área de recarga hídrica, mientras que la parte baja de la cuenca es el punto en el cual drena el cauce principal (MARN, 2008).

### **2.1.2 Manejo Integrado de la cuenca hidrográfica**

Conjunto de acciones que se realizan para manejar, utilizar, proteger, restaurar, conservar y recuperar los recursos naturales a lo largo de la cuenca hidrográfica de acuerdo al enfoque social, ambiental e integral de la cuenca como recursos integrados de la cuenca. Con él se busca la sostenibilidad ecológica, ambiental y social de la cuenca en relación a los recursos naturales. Se busca la interacción humana, así como cubrir con sus necesidades y responsabilidades en cuanto al riesgo y desastres naturales principalmente de índole hidro-meteorológico (Del Cid, 2012)

## **2.2 Calidad de Agua**

Se refiere a la condición en la que se encuentra el agua con respecto a las características físicas, químicas y biológicas en su estado natural y después de ser utilizada en un proceso antrópico. Dicha calidad es determinada por estándares nacionales e internacionales que indican el estado del recurso y que puede ser determinante para el uso que se le pueda dar en un futuro (Lenntech, 2006).

Es considerada como buena calidad del agua cuando la misma está exenta de sustancias y microorganismos que puedan generar peligro para los seres vivos. La importancia de conocer la calidad del agua se centra en que este es el medio de

transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos, por ello es de suma importancia conocer los parámetros físico-químicos de los cuerpos de agua (Ott, 1978).

En Guatemala, el INSIVUMEH cuenta con estudios de la calidad del agua superficial, por lo que asignaron estaciones de muestreo de calidad de agua en algunos departamentos del país. En la presente investigación únicamente se utilizara la información de la cuenca media, en las estaciones de muestreo El Puente Orellana en El Progreso y Gualán en Zacapa.

### **2.2.1 Factores que determinan la calidad del agua**

#### **a) Factores físicos**

Se identifica cuando el aspecto del agua es modificado en su aspecto físico, por lo que presenta cambios en parámetros como la temperatura, sólidos en suspensión, la turbidez o el color (Lenntech, 2006).

#### **b) Factores químicos**

Se identifica cuando existe modificación en el aspecto químico del agua, es decir que presenta variaciones en parámetros como metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio, cromo, nitratos y nitritos (Lenntech, 2006).

#### **c) Factores biológicos-microbiológicos**

Es identificado cuando el cuerpo de agua presenta variaciones en la cantidad de organismos presentes en ella. Las bacterias son uno de los principales contaminantes del agua, los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica, por lo que la bacteria *Escherichia coli* es la más utilizada como indicador efectivo para conocer si el cuerpo de agua posee descargas de heces fecales tanto de animales como de humanos. Existen otros contaminantes como los virus, algas, protozoos y hongos (Lenntech, 2006).

## 2.2.2 Constituyentes de la Calidad de Agua

### 2.2.3 Oxígeno Disuelto

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra libre en el agua, este no se encuentra combinado con el hidrógeno ni con los sólidos que están dentro del agua y tiene gran importancia como indicador de calidad de agua. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual tiene la capacidad de difundirse por la turbulencia que se da en los cuerpos de agua, así como la actividad fotosintética en la misma. La medición de este parámetro determina la productividad primaria y el nivel de eutrofización del cuerpo de agua (Sole, 2005). Este no es calificado como un contaminante, sin embargo su exceso o escasez dan como resultado condiciones no favorables para el cuerpo de agua, por ello los niveles de oxígeno que permiten poseer vida acuática se da entre los valores de 7 a 9 mg/L (Pérez, 2003).

### 2.2.4 Potencial de Hidrógeno (pH):

Indicador de acidez o basicidad en una sustancia, es la concentración del ion hidrógeno en el agua, la medición de pH está determinado por una consideración entre el número de protones (iones  $H^+$ ) y el número de iones hidróxido ( $OH^-$ ). El número de su valor define la capacidad de autodepuración de una corriente, así como su materia orgánica (DQO, DBO) y metales pesados (Pérez, 2003). Este parámetro tiene influencia sobre ciertos procesos químicos y biológicos, por lo que es capaz de definir la vida acuática. El estándar de calidad de agua para el pH, se encuentra entre 6.0 – 9.0 (Canales, Hernández, Meraz, & Peñalosa, 1999).

### 2.2.5 Nitratos

Compuesto inorgánico formado por la combinación de un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O), simbología de  $NO_3$ . Dicho compuesto no es peligroso, a menos que este sea reducido a nitrito ( $NO_2$ ) (Samper, Sahuquillo, Capilla, & Hernández, 1999). La contaminación por nitratos se da principalmente por fuentes no puntuales, asociadas mayormente a actividades agrícolas y ganaderas, aunque en determinadas

áreas, también pueden estar relacionadas a ciertas actividades industriales, especialmente las del sector agrícola. También se puede encontrar por la descomposición bacteriana (González & Yañez, 2005).

Se ha comprobado que altas concentraciones de nitratos en el agua produce cianosis o metahemoglobinemia, que afecta especialmente a los niños menores de 6 años. Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados (Orellana, 2005)

### **2.2.6 Temperatura**

Medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad de agua, como el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y de otras variables fisicoquímicas. Es importante conocer que el uso de la temperatura promedio para uso de referencia es de 20 °C, ella utilizada como estándar en varias pruebas de laboratorio y en la determinación de constantes de reacción, como lo es la constante de DBO (Sole, 2005).

### **2.2.7 Sólidos Disueltos Totales**

Parámetro que mide la disolución en una forma homogénea en el líquido. Las sustancias disueltas se hallan presentes en el líquido, ellos puede permanecer en suspensión o ser removidos por filtración. El estándar de calidad para este parámetro se define por los sólidos provenientes de fuentes de aguas usadas. (Sole, 2005).

### **2.2.8 Demanda Química de Oxígeno**

Es considerada como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, es decir la cantidad de oxígeno que necesita ser consumido para la oxidación total de los

constituyentes orgánicos a productos inorgánicos (Canales, Hernández, Meraz, & Peñalosa, 1999).

### **2.3 Índice de Calidad de Agua**

El Índice de Calidad de Agua (ICA) o WaterQualityIndex (WQI), fue desarrollado por la NationalSanitationFoundation (NSF) de los Estados Unidos (Ball & Church, 1980). Es un índice multiparamétrico basado en el análisis de 9 variables con mayor importancia: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, temperatura, turbidez, sólidos totales, demanda biológica de oxígeno, nitratos y fosfatos.; los rangos se evalúan a partir de una curva de comportamiento de cada variable. A cada variable se le asignó un rango de 0 a 100 que los ubican en distintos niveles de las variables abscisas (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007).

#### **2.3.1 Procedimiento general para la formulación de un índice de calidad de agua**

Para la selección del Índice de Calidad de Agua es necesario tomar en cuenta las siguientes variables:

- Selección de parámetros.
- Determinación de los valores para cada parámetro: subíndices.
- Determinación del Índice por la agregación de los subíndices.

En primera instancia, para la selección de parámetros se pueden considerar entre dos y un número infinito de los mismos. La opción para la consideración de éstos, se da acorde con las circunstancias, estándares y criterios de tiempo y localización, además del concepto de un experto en la materia (Brown, 1970).

Tomando en cuenta el Índice a utilizar, es necesario determinar los subíndices para la evaluación numérica que determina la calidad del agua, ello en función de (Brown, 1970):

- Asignar un valor numérico, para compararlo con el valor del parámetro y un valor estándar o criterio.
- Convertir el parámetro en un número dimensional por medio de diagramas de calibración. En este caso se debe desarrollar para cada parámetro su propio diagrama, en el que se indique la correlación entre el parámetro y su valor en la escala de calidad.
- Desarrollar para cada parámetro una formulación matemática, con el fin de convertir los valores del parámetro de acuerdo con varias escalas, con lo cual los valores del parámetro conservan sus unidades originales.

Se requiere que el Índice de Calidad de Agua dé una respuesta como sistema de integración de los subíndices que lo conforman. Cada uno de los parámetros es representado de forma gráfica con una curva, la cual representa la variación de la calidad de agua causada por distintos grados de contaminación. Dichas curvas son conocidas como “Curvas de función”. El cálculo del índice de calidad de agua se estableció con la aplicación de la suma ponderada en donde se califica con valores de 0 a 100 en donde 0 representa una mala calidad de agua y 100 una excelente (Ott, 1978), tal como se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1:** Calificación de la Calidad de Agua

Calidad	Rango	Color
Excelente	91-100	
Buena	71-90	
Media	51-70	
Mala	26-50	
Muy Mala	0-25	

(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

Con la escala de clasificación ICA se determina la calidad del agua dependiendo en que rango se encuentre, este puede ser identificado por distintos colores (Cuadro 1). El índice se determina a partir de la evaluación de los distintos parámetros físico-químicos

y biológicos, siendo ellos el factor principal en la variación de la calidad en los cuerpos de agua (Ott, 1978).

### **2.3.2 Criterios de diseño para la elaboración de un índice de calidad de agua**

Para realizar el diseño de un Índice es necesario tomar en cuenta tres pasos. El primero se da en el momento de la selección de las variables ya que se valoran en las muestras del agua. En el segundo, se define un subvalor como la medida capaz de asignar un vector de control (debe haber un conjunto de valores deseados para el vector de calidad de agua). Finalmente, el resultado es un valor para un índice de calidad de agua, derivado de la agregación de una serie de observaciones o de un grupo de valores (Ball&Church, 1980).

Para la selección de los parámetros es importante que ellos sean significativos ya que un valor que se encuentre en rangos erróneos puede alterar la muestra de manera que el valor no sea representativo de una muestra particular tomada en un tiempo y lugar particular.

Fernández y Solano(2008),indican que en el momento de realizar una muestra de agua, en un lugar establecido y en un periodo de tiempo, se puede estimar la calidad de agua, por medio del promedio de los valores del índice.

## **2.4 Precipitación**

La precipitación constituye la fuente de entrada de agua al sistema, proveniente de la atmósfera. Esta puede tomar varias formas como la lluvia, granizo o nieve y varía en el espacio y en el tiempo. Las precipitaciones en forma líquida están compuestas de lluvia o llovizna. La lluvia se compone de gotas de agua superior a 0,5 mm de diámetro, con velocidades superiores a 200 cm/s. El rocío consta de diámetros más pequeños, distribuidos uniformemente en gotas de agua de 0,1 a 0,5 mm, con una velocidad de 25-200 (cm/s) que parecen flotar (Van Dijk, 2003).

### **2.4.1 Anomalías positivas**

Las anomalías positivas producen disminución de la convectividad, lo cual coincide especialmente en eventos máximos de precipitación (Menendez, 2014).

### **2.4.2 Anomalías negativas**

Las anomalías negativas de la precipitación indican aumento de la actividad convectiva en determinada región topográfica (Menendez, 2014).

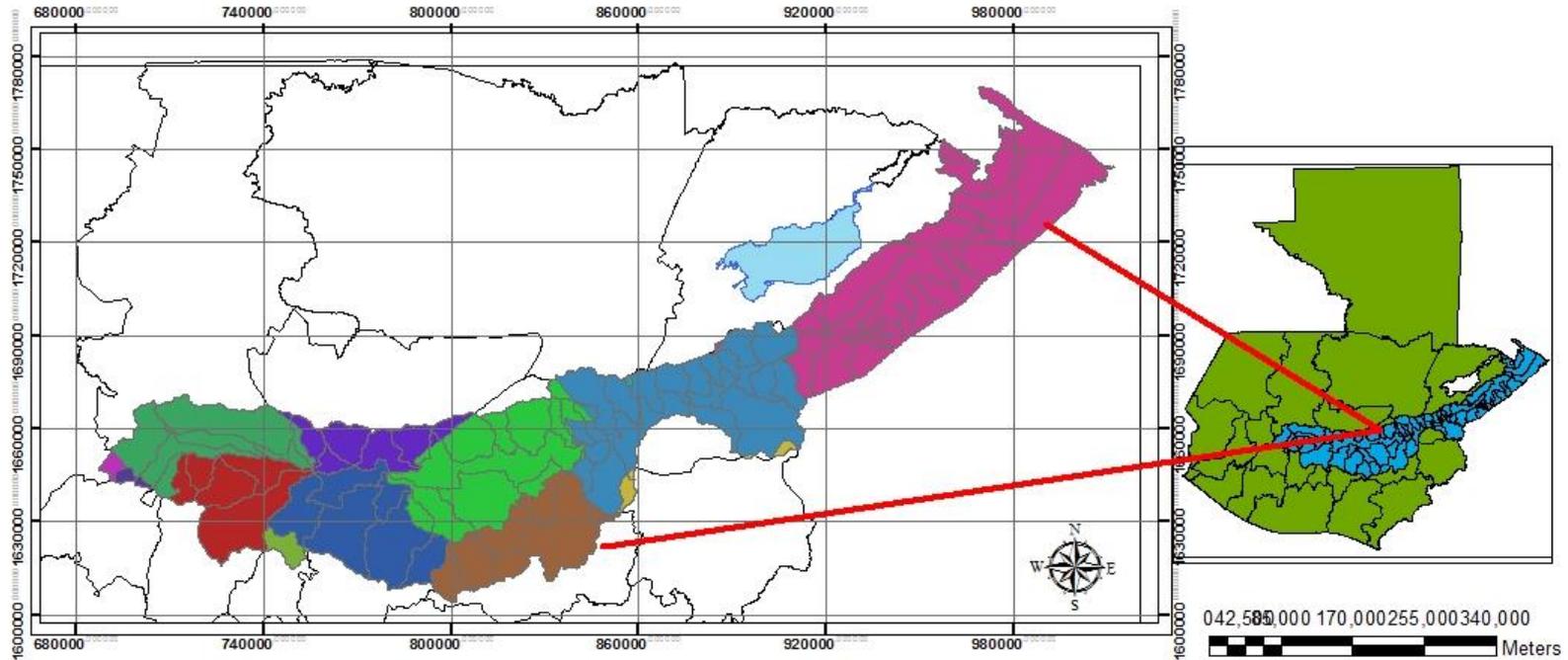
## **2.5 Descripción del área de estudio**

### **2.5.1 Descripción de la cuenca**

El Río Motagua es el cauce principal de la cuenca del mismo nombre, la cual tiene un área de 12,719 km<sup>2</sup> y ocupa alrededor del 8.5% del total del país, extendiéndose de occidente a oriente; es considerada una de las cuencas más grandes del país, dado a que su longitud es aproximadamente de 400 kilómetros. Su nacimiento se da en el municipio de Chiché, ubicado en el altiplano del país en el departamento de Quiché, continuando su curso hacia el noreste el Río Motagua (León, 2003). La figura 3, representa el área que abarca la Cuenca del Motagua en el territorio guatemalteco.

A partir de Gualán el curso del río se vuelve más lento debido a la gran profundidad de las aguas, así como el ensanchamiento del mismo en su recorrido hasta llegar al mar. Posee una pendiente promedio de 0.51%. Con una profundidad variable entre 2 y 5 metros y una anchura promedio de unos 60 metros que puede llegar a aumentar a 200 metros en su salida al mar. Se caracteriza por poseer suelos arenosos a lo largo del cauce (León, 2003).

## Representación de la Cuenca del Río Motagua



### Departamentos que ocupa la Cuenca del Río Motagua

Alta Verapaz	Guatemala	Sololá
Baja Verapaz	Izabal	Totonicapán
Chimaltenango	Jalapa	Zacapa
Chiquimula	Quiché	
El Progreso	Sacatepéquez	

### Universidad Rafael Landívar

Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Elaborado por: Mellany Díaz  
Guatemala mayo 2014

Figura 2: Localización de la Cuenca del Río Motagua en Guatemala

Fuente: Elaboración Propia, 2014.

### **2.5.2 Geomorfología**

Cuenta con un 36% del área de la cuenca con material paleozoico, es decir de la época cuaternaria en la cual predominan las rocas paleozoicas, rocas metamórficas, filitas, esquistos cloríticos y graníferos, esquistos y gneisses de cuarzo, mica, feldespatos, mármol y migritas. El 22% del área se compone por material del período terciario consistente en rocas volcánicas sin dividir, predominantemente mio-plioceno el cual incluye tobas, coladas de lava, material lahárico. Y únicamente un 16% del área se conformada por material geológico de aluviones del período cuaternario, y en menor porcentaje, se encuentra material geológico de rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso del mismo período. La cuenca del Motagua es la única donde existen yacimientos de jadeita, que se explotan desde las antiguas civilizaciones que poblaron estas áreas (León, 2003).

### **2.5.3 Uso actual del río**

Es utilizado para riego agrícola, sin embargo, sus aguas actúan como cuerpo receptor de aguas residuales de las comunidades situadas en la cuenca y subcuenca del Motagua, incluyendo parte de la ciudad de Guatemala. Siendo este un cuerpo receptor, lleva contaminantes hacia las poblaciones asentadas en la parte baja del cauce del río y sobre los recursos ictiológicos del mismo (León, 2003).

### **2.5.4 Capacidad agrícola**

Los suelos superficiales poseen una profundidad promedio de 25 cm, con pendientes que varían desde los 32 a 45%, lo que favorece la alta susceptibilidad a la erosión, principalmente cuando se asocia a cultivos anuales. La estructura del suelo es de bloque sub angulares, su textura es franca y franca arcillosa y su consistencia es suave a friable en seco, y friable a ligeramente dura en condiciones de humedad (León, 2003).

El drenaje superficial de las aguas es rápido dado a las pendientes que allí se encuentran, su drenaje interno es normal, el grado de erosión va demoderado a alto con gran susceptibilidad a la misma. Los suelos no son aptos para cultivos anuales, pero utilizables para vegetación permanente; debido a las limitaciones en la vocación de los suelos, su uso es adecuado mediante prácticas intensivas de conservación (León, 2003).

### **2.5.5 Fuentes de contaminación**

Las poblaciones descargan sus aguas de origen doméstico e industrial sin ningún tipo de tratamiento en el Motagua. Durante la época lluviosa, las escorrentías de la cuenca arrastran productos agroquímicos, además de que algunos municipios en la cuenca aún tienen costumbre de descargar los desechos sólidos en el río o en sus afluentes. Esto provoca contaminación en el cuerpo de agua y degradación la materia orgánica y sobrecargando los niveles microbiológicos en el cauce. Así como el río Las Vacas, río tributarios que posee el Río Motagua, se constituye mayormente por aguas residuales de las viviendas e instalaciones industriales ubicadas en la vertiente norte del valle de La Ermita, aportando un 60% del total del caudal de descargue de la ciudad capital y algunos municipios aledaños (León, 2003).

Los ríos que descargan sus aguas residuales en el cauce principal, del río Motagua son: Chinautla, Mixco, San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez, San Lucas Sacatepéquez, San Raymundo, San Pedro Ayampuc, Palencia y el sector norte de la Ciudad de Guatemala (León, 2003).

La explotación de materiales para la construcción es uno de los problemas que causa mayor déficit en la calidad del agua ya que fluye, arena y tierra en suspensión, por lo que la demanda biológica de oxígeno incrementa su porcentaje, dando como resultado en la época de verano que los ríos estén mayormente contaminados. Sin embargo en invierno los parámetros en la época de invierno tienden a disminuir (León, 2003).

## **2.6 Situación actual de la cuenca del Río Motagua**

De la cuenca del Río Motagua se han generado distintos informes sobre la situación actual que presenta, así como el desarrollo de la misma en años anteriores pero hasta el momento no se han analizado los datos de una manera integral para la cuenca. Sin duda alguna el agua es de vital importancia para todos los seres vivos pero la importancia que se le ha dado a la misma ha sido muy pobre. Tanto su disponibilidad, su composición química, física y biológica en el momento de que el cuerpo de agua este muy contaminado este provocará que la sostenibilidad de la misma disminuya notoriamente. Por lo que la importancia que la calidad del agua tiene en el ambiente es sobre la sostenibilidad de la salud y la calidad de vida que puedan poseer las personas, para ello se requiere asegurar la protección y el apoyo a la gestión sostenible de la cuenca. El poseer datos de muestreo no son suficientes si ellos no se integran para determinar la situación actual que presentan el cuerpo de agua en los distintos puntos de la cuenca y como ella al desarrollarse beneficia o perjudica la calidad de todo el cuerpo de agua.

En Guatemala se han realizado análisis de la calidad de un cuerpo de agua por individual, tal ha sido el caso de las distintos puntos de muestreo que realiza el INSIVUMEH. Pero no se cuenta con informes que analicen integralmente al río Motagua (Cordon, 2003).

Mensualmente el INSIVUMEH emite boletines en los cuales se describen los parámetros fisicoquímicos y biológicos que caracterizan a la cuenca (boletines encontrados en la web, así como en las instalaciones de la institución), pero aun teniendo la información nadie ha realizado un análisis integral de la calidad de la cuenca, así como análisis a través del tiempo de la misma. Dichos boletines se han emitido para más de 20 puntos de muestreo a lo largo de la república de Guatemala, a pesar de ello ninguno de los datos ha sido analizado. A pesar de que el río sufre contaminación por descargas residuales y desechos sólidos. Como los procesos acelerados de la deforestación que provocan la erosión de los suelos, así como deslaves en las partes más altas, con lo que provoca sedimentación y daños en la

infraestructura. Además la falta de ordenamiento territorial y ambiental dentro de la cuenca así como que las industrias y hogares descarguen sus aguas residuales en los ríos tributarios afectan la calidad de agua de la cuenca.

Instituciones como la Fundación para la conservación de los recursos naturales y ambiente en Guatemala, han generado información sobre generalidades del estado actual del río Motagua, basándose en las acciones que deben tomarse para aplicar un buen manejo de cuencas hidrográficas, orientadas a el aprovechamiento de los recursos naturales que pueden propiciar el crecimiento económico de Guatemala. Utilizando esta información, se conocerán las principales actividades llevadas a cabo dentro de la cuenca del río Motagua.

### **2.6.1 Legislación Ambiental**

El verdadero problema en Guatemala se da en el momento en que no se posee ley que proteja o respalde el buen uso del agua en el país. Se han realizado iniciativas de ley para resguardar y proteger a los cuerpos de agua que existen en el país pero hasta el momento no se ha aprobado ella, estos esfuerzos iniciaron el 17 de junio del 2008. En el año 2009 la autoridad para el manejo sustentable de la Cuenca del Río Motagua, realizó en conjunto con el sector público y privado se dedicaron a la recopilación de información con la cual se pudiera respaldar de una mejor forma la iniciativa de ley antes propuesta. Con ello también se buscaba impulsar el Modelo de Gestión Integrada de Recurso Hídricos por microcuencas (FCG, 2012).

Fue hasta el año 2012 en el cual se busca la aprobación de la iniciativa de Ley, Creación de la autoridad para el manejo sustentable de la Cuenca del Río Motagua. Iniciativa que nace con el fin de proteger los recursos naturales que se encuentran dentro de la cuenca. En el artículo 13 ellos buscan establecer que “La Dirección Ejecutiva y su Unidad Ejecutora, con el apoyo de las Coordinadoras Regionales de Occidente, Central y Oriente, elaborará, en un plazo no mayor a un año, el Plan de Manejo Integrado de la Cuenca del Río Motagua y lo ejecutará bajo el enfoque operativo de micro cuencas prioritarias, tomando en cuenta las capacidades existentes

en cada una de las partes de la cuenca y los diagnósticos ambientales disponibles” (FCG, 2012).

En el artículo 97 de la constitución política de Guatemala, el cual trata del Medio Ambiente y equilibrio ecológico donde termina: “El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. El cual puede ser utilizado como respaldo para el uso racional del agua a lo largo de la cuenca.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Motagua es el cauce principal de la cuenca que posee el mismo nombre, ella cuenta con una área total de 12,719 km<sup>2</sup>, ocupando 8.5% del territorio total del país. Dicha cuenca se extiende desde occidente hasta oriente; siendo considerada una de las más grandes en el país. La longitud del río se estima en unos 400 kilómetros. El nacimiento de dicha cuenca está ubicado en el municipio de Chiché, ubicado en el altiplano del departamento de Quiché, hasta el departamento de Izabal en donde desemboca, es decir que abarca a la mayoría de departamentos del país. (León R. d., 2003).

Ya que la cuenca del Río Motagua recorre gran parte del territorio guatemalteco es necesario conocer la calidad de agua que esta lleva a lo largo de los 400 kilómetros que tiene de longitud el curso del mismo. Datos de calidad de agua se han generado a lo largo del tiempo, pero ninguno ha integrado la información existente y de esa manera generar comparadores anuales sobre el agua que transporta la cuenca. Es por ello que nace el interés de integrar todos esos datos generados por distintas organizaciones y siendo estas líneas base para la generación sobre la evolución del estado del Río Motagua y como ha sido su comportamiento a lo largo del tiempo en cuanto a parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad de agua presente en la cueca.

Dado a que actualmente el mal uso del agua ha provocado en nuestro país que la calidad de la misma disminuya, trayendo como consecuencia escases del recurso, contaminación de aguas superficiales y subterráneas; y depreciación de la misma. Según IARNA(2002) la calidad del agua es un factor que limita a la disponibilidad del recurso para los diversos fines, es necesario un estudio de los efectos de contaminación en el volumen de agua total disponible.

Se cuenta con información importante de algunos puntos de muestreo a lo largo de la cuenca (Puente Orellana y Gualán), de los cuales se poseen análisis de agua superficial. Algunos de los análisis más importantes para determinar la calidad del cuerpo de agua son: Potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, demanda química

de oxígeno, turbiedad, nitrógeno y fosforo total así como conductividad, estos entre otros parámetros detallados en el siguiente trabajo. Ellos permiten evaluar los constituyentes que afectan la calidad del agua para sus distintos usos, proporcionando un valor numérico que refiere y representa la calidad del cuerpo de agua, además de permitir la comparación de la calidad del agua en distintos puntos de muestreo.

El Índice de Calidad de Agua (ICA) generado, a partir de seis parámetros fisicoquímicos, permite determinar el estado en que se encuentra la calidad del agua. La calidad de agua se podrá determinar a partir de la utilización de la herramienta tecnológica ICAtest, herramienta capaz de determinar el estado actual de los cuerpos de agua.

Dado que Guatemala no cuenta con planes de seguimiento en la toma de muestras de calidad de agua, se opto por utilizar la base de datos que posee el INSIVUMEH, en donde se aplico y ajusto la metodología NSF, Amoeba y Oregon. Ello con el fin de generar una herramienta específica para la cuenca media del Río Motagua, tomando en cuenta los datos fisicoquímicos con los que ya se contaban. Cabe mencionar que los resultados generados, oscilaran entre el 0 y el 100, siendo cero la peor calidad de agua y cien la mejor.

Es por ello que con la integración de los datos fisicoquímicos de la calidad de agua se desean realizar datos comparadores y a partir de ello proponer soluciones para el desarrollo ecológico del sistema, en donde la protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales tengan la capacidad de proporcionar un desarrollo óptimo y sostenible en el recorrido del Río a lo largo de la cuenca. Además de lograr enfatizar desde donde inicia el problema y como poder prevenir esta dificultad con medidas de manejo integrado de cuencas hidrográficas, tomando en cuenta los distintos límites máximos permisibles vigentes en Guatemala sobre la calidad de la misma, en un cuerpo de agua. Los datos que se tomaran en cuenta serán del periodo 2002-2013, once años representativos y con datos completos proporcionados por el INSIVUMEH, que servirán para determinar las variaciones que puedo haber experimentado el cuerpo de agua.

Y con ello proponer soluciones para evitar la degradación futura de la cuenca, ya que el manejo integrado de la misma puede mejorar la calidad ambiental a lo largo de la cuenca. El presente trabajo pretende evaluar la información generada y así utilizarla para implementar o diseñar políticas de administración y gestión del recurso hídrico.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la calidad del agua, adaptando índices de calidad de agua para la cuenca media del Río Motagua durante el periodo 2002-2013.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Adaptar el Índice de Calidad de Agua de acuerdo a metodologías disponibles para analizar los datos del Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa.
- Analizar el efecto de la precipitación en la calidad de agua en la cuenca media del Río Motagua durante su ciclo anual.

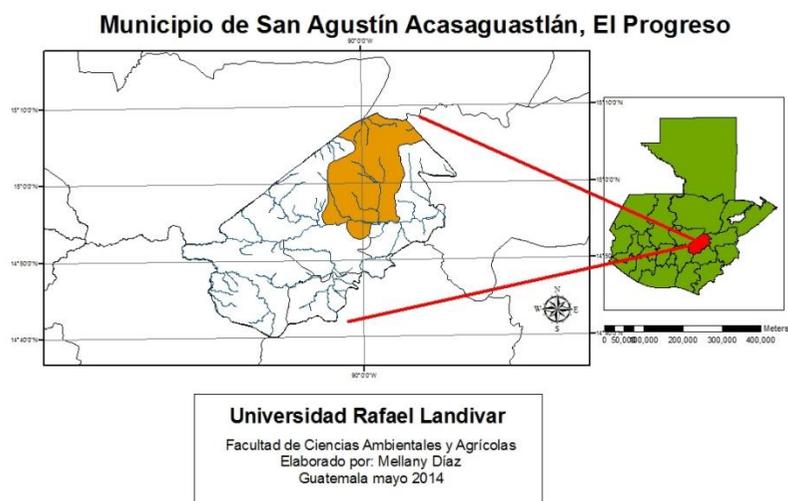
## V. METODOLOGÍA

### 5.1 Unidad de análisis

El análisis del Índice de Calidad de Agua, se llevó a cabo en dos estaciones de la parte media de la cuenca del Río Motagua. Caracterizándose por cuenca media la región entre El Puente Orellana ubicado a 290 msnm y Gualán, Zacapa a 136 msnm.

#### 5.1.1 San Agustín Acasaguastlán, El Progreso

Localizado al noreste del Puente Orellana, Sus coordenadas geográficas son: Latitud  $14^{\circ}55' 09''$  y Longitud  $90^{\circ}00' 07''$ . A una distancia de 83 km de la capital de Guatemala,, a una elevación de 290msnm, Figura.

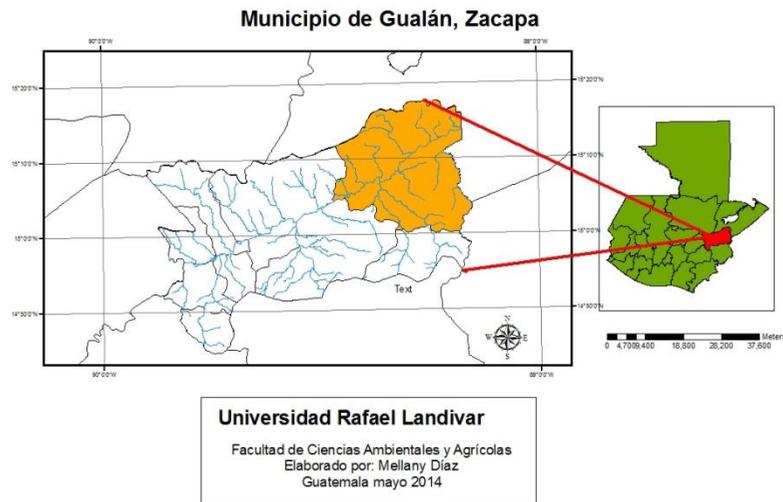


**Figura 3: Ubicación geográfica del Municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso sobre la cuenca del río Motagua.**

**Fuente: Elaboración Propia, 2014**

### 5.1.2 Gualán, Zacapa

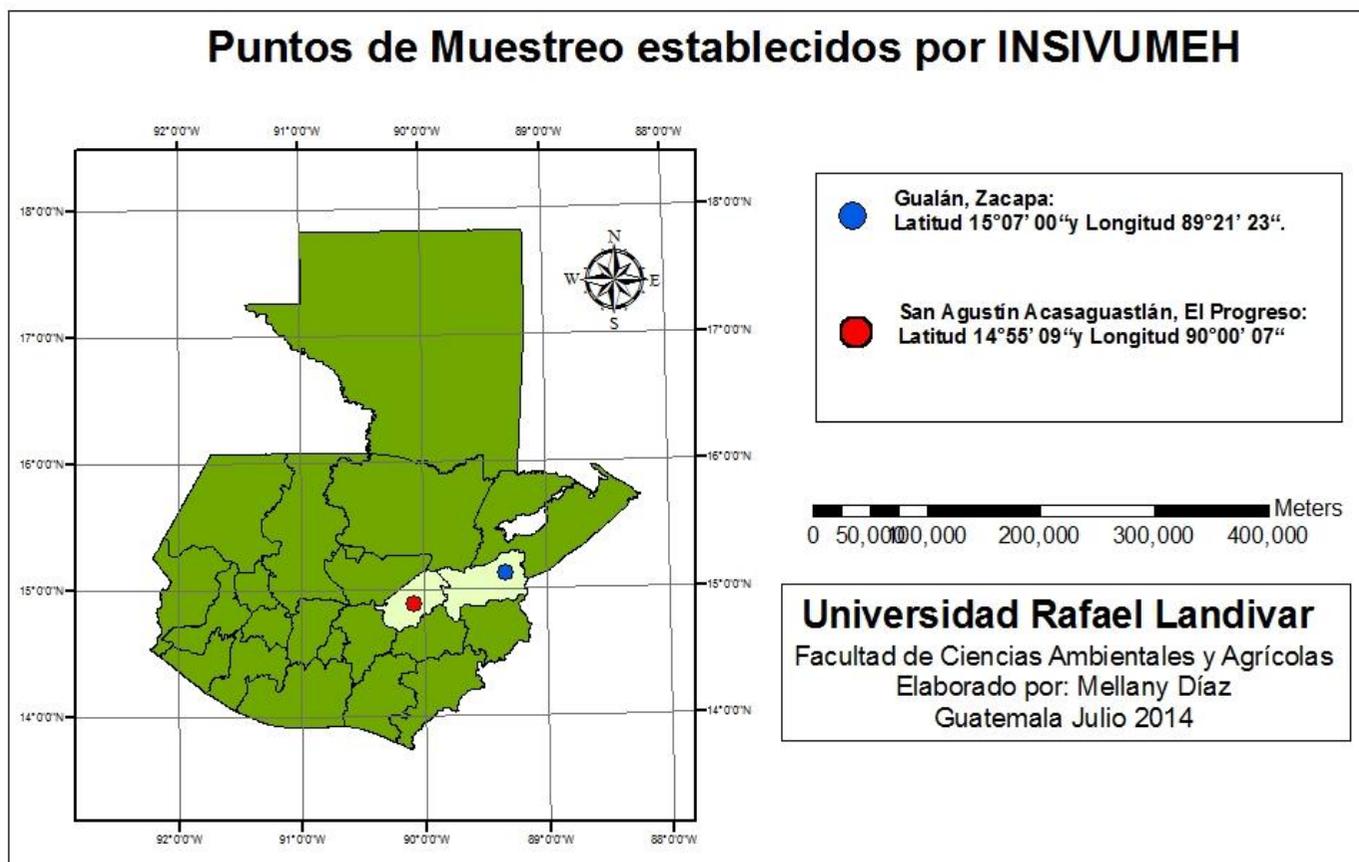
Localizado al noreste del puente que da acceso a la población de Gualán, Zacapa. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 15°07' 00"y Longitud 89°21' 23". A una distancia de 173 Km de la capital de Guatemala y 48 km de la cabecera departamental de Zacapa, a una elevación de 136msnm (INSIVUMEH, 2003) (Figura 6).



**Figura 4: Ubicación geográfica del Municipio de Gualán, Zacapa sobre la cuenca del río Motagua.**

**Fuente: Elaboración Propia, 2014**

Las estaciones de muestreo del presente estudio se muestran en la Figura 7, los puntos geográficos son descritos identificados dentro del mapa. El presente estudio se desarrolló dentro de la región del corredor seco del país, el cual ha sufrido variaciones considerables en los ciclos de precipitación y ha aumentado el uso de las fuentes de agua para fines domiciliarios, agrícolas e industriales. Aspectos que influyen en el manejo de la cuenca en esta área, pueden considerarse el moderado crecimiento poblacional con respecto al país y la presencia de áreas protegidas en el recorrido de la cuenca.



**Figura 5: Puntos de referencia para realización de ICA en la cuenca media del Río Motagua.**

**Fuente: Elaboración Propia, 2014**

## 5.2 Tipo de investigación

La investigación realizada es de tipo descriptivo, ya que utilizando datos históricos generados por el INSIVUMEH en los años 2002 al 2013 se evaluó la calidad de agua de la cuenca media del río Motagua en dos estaciones, a manera de conocer la fluctuación de los parámetros de calidad de agua integrados en un índice numérico y la relación con la precipitación mensual en la región así como las fluctuaciones en el tiempo durante el periodo 2002-2013.

### 5.3 Instrumentos

La investigación se realizó tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos y meteorológicos que registra el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) durante el periodo 2002 al 2013, con el fin de analizar las fluctuaciones de los parámetros de calidad de agua a través del tiempo. Se actualizó la serie de datos, realizando un muestreo en el mes de octubre del 2013 en las estaciones de Gualán, Zacapa y la otra en el Puente Orellana, El Progreso; estas muestras de agua se analizaron por el laboratorio de Concalidad, el cual se encuentra en Universidad Rafael Landívar.

Para generar el índice de calidad de agua del Río Motagua se tomó como herramienta principal el Índice de Calidad de Agua propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF), como comparador de eficiencia analítica de la calidad de agua, utilizando las ecuaciones para la ponderación de los parámetros pH, oxígeno, los parámetros de TSD, DBO5 fueron generados con las ecuaciones sugeridas en el modelo de Oregon, así el DQO, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> se generó a partir de la ecuación de AMOEBA (A General Method of Ecological and Biological Assessment) y la temperatura se basó en criterio personal a partir de la temperatura media histórica del río ya que los valores sugeridos en otros modelos no se ajustan a nuestro medio. Con estas herramientas se procedió a hacer el análisis de los parámetros obtenidos por INSIVUMEH y la toma de muestra personal y con ello crear una herramienta más eficiente para utilizar como indicador en la cuenca del Río Motagua. Por último para la interpretación de la información se utilizó el programa Excel®, Microsoft Office.

En resumen se utilizaron seis parámetros (pH, Cambio de T°C, O<sub>2</sub>, TDS, DQO, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>), 3 índices (NSF, OREGON y AMOEBA) y una ecuación propia para la temperatura de agua.

### 5.3.1 Fórmulas para la determinación de Índices de Calidad de Agua

Para calcular el índice de calidad de agua agregado, se utilizó suma lineal ponderada de los subíndices o una función de agregación del producto ponderado, la elección de utilizar promedio aritmético ponderado fue por ser la más adecuada al ICA, siendo esta ajustada ante la ausencia de algún parámetro fisicoquímico . El resultado de su aplicación es un número entre 0 y 100. Las fórmulas para su determinación se representan a continuación:

La fórmula del promedio Aritmético ponderado es:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde:

WQI: Índice de Calidad de Agua

SI<sub>i</sub>: Subíndice del parámetro i

W<sub>i</sub>: Factor de ponderación para el Subíndice i

Se utilizaron 6 parámetros fisicoquímicos en el presente índice de calidad de agua del Rio Motagua fueron: Oxígeno Disuelto (mg/L), pH (Unidades), Demanda Química de Oxígeno (mg/L), Temperatura (°C), Nitritos + Nitratos (mg/L) y Sólidos Totales (mg/L). La razón por la cual se utilizan únicamente 6 parámetros en relación a los 9 parámetros que propone la NSF se debe a que el INSIVUMEH sólo ha generado información de los 6 parámetros propuestos en la siguiente metodología, por lo que se han realizado ajustes para el análisis de la información generada, asignándoles una nueva ponderación a cada uno de los parámetros según la importancia que se asigna en el ICA test NSF. Esta nueva ponderación, asignada a cada uno de los parámetros fisicoquímicos correspondientes, generó para cada uno parámetros sub-índices a partir

del peso reportado para cada parámetro en otros índices de calidad de agua y se realizó una media para dar en % la incidencia de cada parámetro en la determinación de la calidad de agua del río Motagua en específico.

Fórmula para la determinación de porcentaje:

$$\varphi\% = \frac{\varphi_i}{\sum i - \sum ix}$$

$\varphi$  = Parámetro fisicoquímico

$i$  = Valores de % asignados por NSF

**Cuadro 2:** Pesos relativos para cada parámetro del "ICA y sus Unidades de medidas.

Parámetros	Unidades	ICA	% ICA	Wi (ajuste)
Oxígeno Disuelto	mg/L	NSF	18%	25.4%
Ph	Unidades	NSF	17%	16.4%
Cambio de Temperatura	°C	NSF	10%	15%
Nitratos NO <sub>3</sub>	mg/L	AMOEBAS	12%	14.9%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	OREGON	15%	16.4%
Sólidos Totales	mg/L	NSF	13%	11.9%

**Fuente:** Elaboración Propia, 2014.

### 5.3.1.1 Oxígeno Disuelto

Índice utilizado para indicar la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, se expresa en miligramos por litro y en porcentaje de saturación, este parámetro de gran importancia para la vida que se encuentra dentro de Río. De esta manera, si el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto es menor que el 100%, el subíndice está basado en la concentración; y si es mayor al 100%, se basa en la sobresaturación.

$$\text{DO Saturación}(\text{DO}_S) \leq 100\%$$

$$\text{DO Concentración}(\text{DO}_C) \leq 3.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} : \text{SI}_{\text{DO}} = 10$$

**SI<sub>DO</sub>** = Subíndice de la demanda de oxígeno.

**DO<sub>s</sub>** = demanda de oxígeno disuelto

**DO<sub>c</sub>** = demanda de oxígeno disuelto en concentración

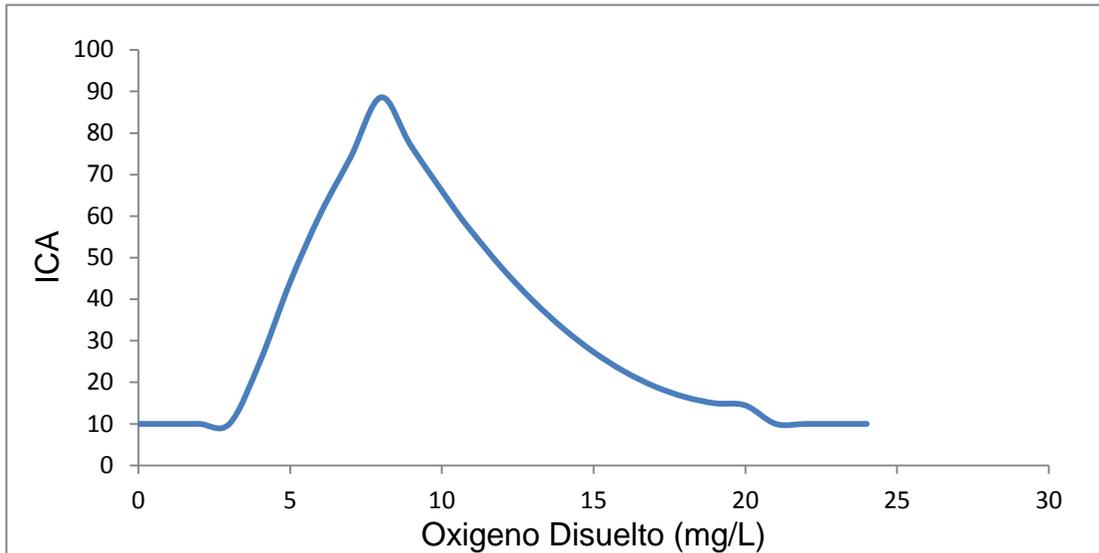
$$3.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} < \text{DO}_C < 10.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} : \text{SI}_{\text{DO}} = -80.28954 + 31.88249 * \text{DO}_C - 1.400999 * \text{DO}_C^2$$

$$10.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \leq \text{DO}_C : \text{SI} = 100$$

$$100\% < \text{DO}_S \leq 275\% : \text{SI}_{\text{DO}} = 100^{((\text{DO}_S - 100) * -1.197429^2)}$$

$$275\% < \text{DO}_S : \text{SI}_{\text{DO}} = 10$$

El comportamiento estándar del Oxígeno disuelto en cualquier unidad de análisis, se representa a continuación.



**Figura 6: Valoración de la calidad de agua en función al oxígeno disuelto.**

(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

### 5.3.1.2 pH

Índice utilizado para indicar el potencial de hidrogeno que se encuentra en el cuerpo de agua y como ello puede afectar a la biota vive en él.

pH<4:            S<sub>pH</sub> = 10

4≤pH<7:            S<sub>pH</sub> = 2.628419 x exp (pH x 0.520025)

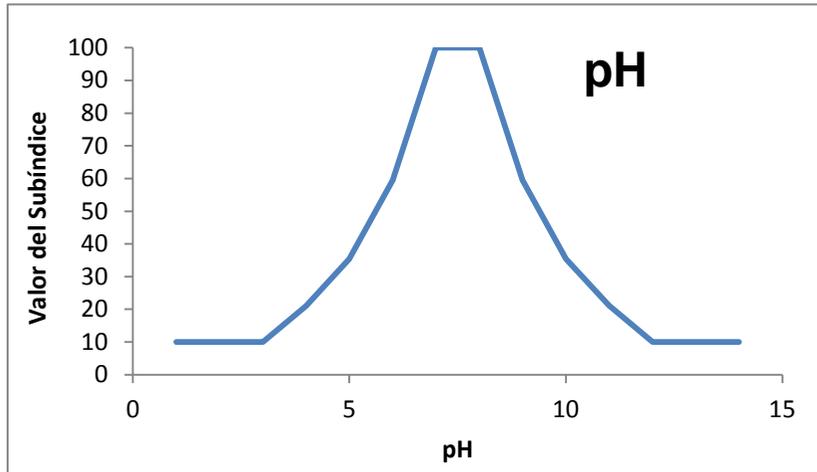
7≤pH=8:            S<sub>pH</sub>= 100

8<pH=11:            S<sub>pH</sub>= 100 x exp ((pH-8) x 0.5187742)

11<pH:            S<sub>pH</sub>= 10

**S<sub>pH</sub>**=Subíndice de pH

El comportamiento estándar del Potencial de Hidrogeno en cualquier unidad de análisis, se representa a continuación.



**Figura 7: Valoración de la calidad de agua en función al pH.**

(Elaboración Propia, 2015)

### 5.3.1.3 Nitratos

Índice utilizado para indicar la cantidad de nutrientes nitrogenados presentes en un cuerpo de agua.

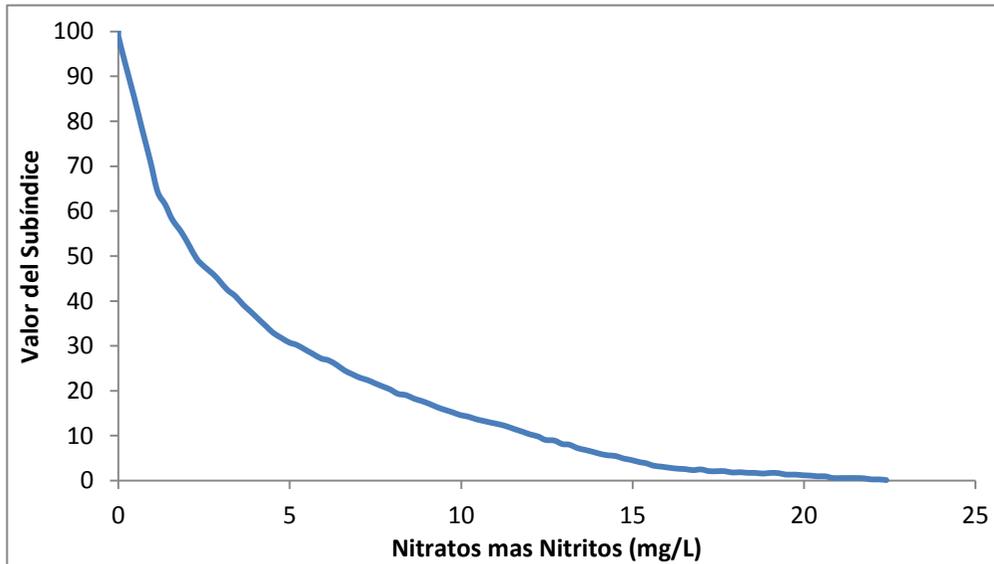
$$N \leq 3 \text{ mg/L:} \quad \text{SIN} = 100 \times \exp. (N \times (-0.22))$$

$$3 \text{ mg/L} < N: \quad \text{SIN} = 10$$

**N**= Nitrato

**SIN**= Subíndice de los Nitratos

El comportamiento estándar del Nitrato en cualquier unidad de análisis, se representa a continuación.



**Figura 8: Valoración de la calidad de agua en función a los Nitratos.**

(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

### 5.3.1.4 Cambio de Temperatura

Índice utilizado para indicar la temperatura que posee el cuerpo de agua y como ello influye en la calidad que pueda tener el cuerpo de agua.

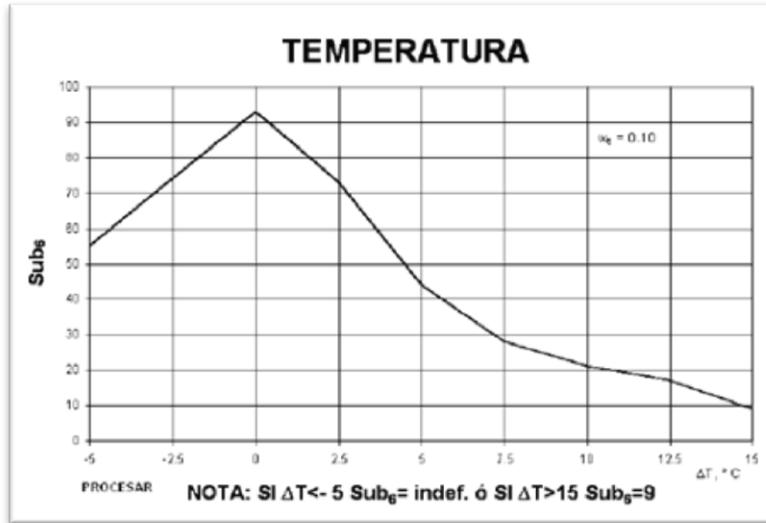
$$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C}: \text{Distribución Normal (Temp } ^\circ\text{C, Media Temp } ^\circ\text{C, Constante)* Constante}$$

$$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C}: \text{DISTR. NORM (Temp } ^\circ\text{C, 25.281944, 2.649917,0)*664.235861}$$

$\Delta T$ =Temperatura actual del cuerpo

$^\circ\text{C}$ = Grados Centígrados

El comportamiento standard de la temperatura en cualquier unidad de análisis, se representa a continuación.



**Figura 9: Valoración de la calidad de agua en función al cambio de Temperatura.**

(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

### 5.3.1.5 Sólidos Totales Disueltos

Índice utilizado para indicar la cantidad de sólidos disueltos en el cuerpo de agua.

$$TS \leq 40 \frac{\text{mg}}{\text{L}}: \quad \text{SIST} = 100$$

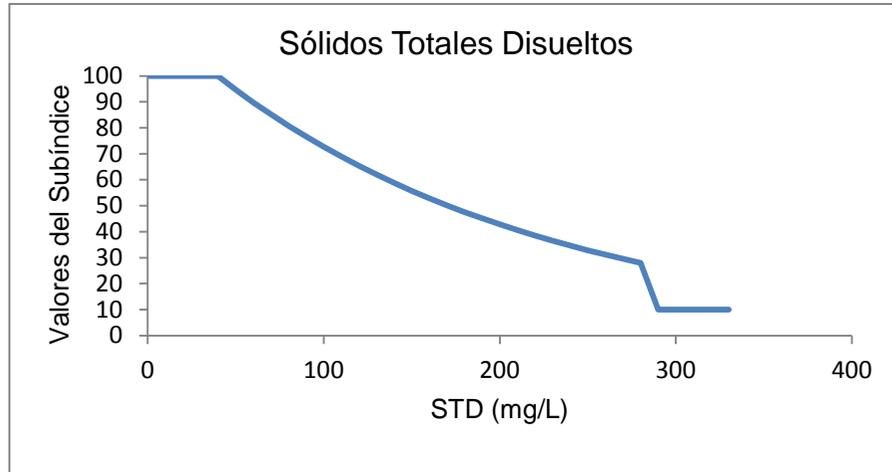
$$40 \frac{\text{mg}}{\text{L}} < TS < 280 \text{ mg/L}: \quad \text{SIST} = 123.43562 \times \exp(TS \times -5.29647E - 3)$$

$$280 \text{ mg/L} < \quad \text{ST: SIST} = 10$$

**SIST**= Subíndice de sólidos totales

**ST**= Sólidos totales

El comportamiento estándar de los Sólidos Totales Disueltos en cualquier unidad de análisis, se representa a continuación.



**Figura 10: Valoración de la calidad de agua en función a los Sólidos Disueltos Totales.**

(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

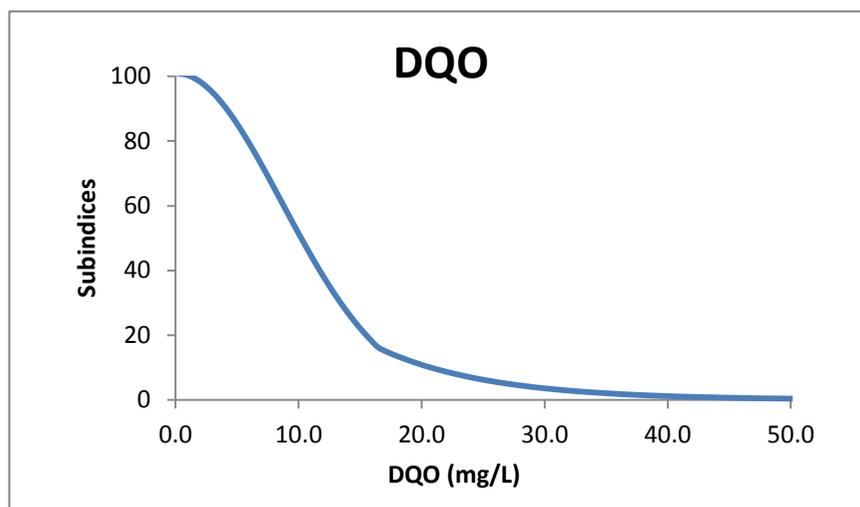
### 5.3.1.6 Demanda Química de Oxígeno:

Índice utilizado para indicar la cantidad de componentes químicos encontrados en un cuerpo de agua.

$$DQO \leq 0 = [(DQO * 8.6145) * (2181.15)] (100^{DQO} - 0.110942764801005)$$

**DQO**= Demanda química de oxígeno

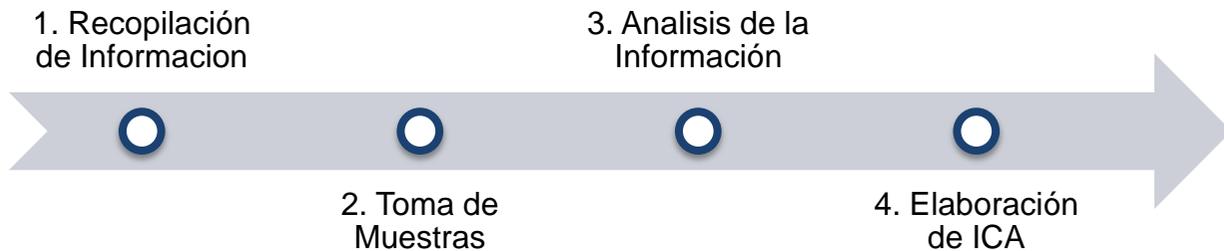
**SI**= Subíndice de la demanda química de oxígeno (ir a tabla)



**Figura 11: Valoración de la calidad de agua en función a la Demanda Química de Oxígeno.**

(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

## 5.4 Procedimiento



### 5.4.1 Recopilación de información

La investigación se basó en la utilización de datos del INSIVUMEH, generados en el año 2002 hasta el año 2006, tomando muestras en octubre del año 2013 para contar con una muestra realizada como fase de campo en la siguiente investigación. Las muestras se tomaron en dos puntos de muestreo específicos que el INSIVUMEH tiene como referencia (Gualán, Zacapa y Puente Orellana, El Progreso) y con ello conocer el comportamiento del cuerpo de agua a través del tiempo. La información utilizada fue generada por el INSIVUMEH en los boletines que emiten mes con mes, ellos brindan información de parámetros fisicoquímicos y de precipitación que se utilizaron como unidad comparadora en la investigación.

Dichos boletines se pueden obtener en la página web de la Institución y de manera física en la oficina de Hidrología dentro de las oficinas centrales del INSIVUMEH ubicados en la 7a. Avenida, 14 -57, zona 13, Colonia Nueva Aurora, facilitando la información para propiciar la investigación en el país.

La segunda fase de recopilación de información se realizó a entidades privadas del país, ubicadas cerca de los puntos de muestreo determinados por el INSIVUMEH pero el acceso a la información es limitado por lo que no se pudieron obtener más resultados de parámetros fisicoquímicos del agua en la cuenca.

## 5.4.2 Toma de muestras

Para la toma de muestras se usó como referencia la metodología planteada por la cadena de custodia establecida para la toma de muestras en cuerpos de agua, la cual indica la manera adecuada para llevar a cabo la toma de muestra y el traslado de la muestra a laboratorios de análisis. Conjunto con ello se tomó como referencia el Acuerdo Ministerial 105-2008 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en el documento especifica la preparación del estudio técnico para la toma de muestras.

La toma de muestras se dividió en dos fases:

- Medición *in situ*: Para obtener información precisa sobre las condiciones que presenta el cuerpo de agua, se realizaron análisis en el campo. Estos análisis fueron la Temperatura y pH. De manera de que la temperatura de la muestra no se viera afectada por el proceso de enfriamiento en el momento del traslado. La medición se realizó con equipo de laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar, este fue el equipo Hach 5465011 Sension 156 Multiparámetro.

**Cuadro 3:** Especificaciones técnicas de equipo Hach Hidrolab Sension 156.

Parámetros	Especificaciones
Temperatura	pH/conductividad: -10 a 110°C
pH	± 0,002. Temperatura: ± 0,3°C a 0-70°C; ± 1,0°C con 70-11°C.

Fuente: <http://www.hach-latinoamerica.com/docs/089-112-LAB-CAT-09.pdf>

- Medidas en Laboratorio: Para tomar la muestra inicio obteniendo galones plásticos esterilizados, previamente lavados con agua destilada y al momento de obtener la muestra el recipiente se lavó dos veces consecutivas con el agua a muestrear.

Dichas muestras fueron debidamente identificadas y almacenada a una temperatura menor a los de 4 grados Centígrados. Lista las muestras se trasladaron al laboratorio de Concalidad ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Rafael Landívar, campus central, primer nivel del edificio T. En donde se realizó el respectivo análisis físico químico de las muestras obtenidas según la metodología Bacteriological Analytical Manual: 8<sup>a</sup> ed. Revisation A/1998. AOAC. U.S. Food & Drug Administration APHA-AWWA-WEB Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19<sup>th</sup> edition, 1997.

### **5.4.3 Análisis de la información**

Obtenida la información por parte del INSIVUMEH y la toma de muestras del cuerpo de agua se optó por analizar los datos que se obtuvieron a través de los años de análisis de interés. Por lo que se hizo como denominador común la mayor cantidad de parámetros que se hayan tomado mensualmente y anualmente. Ya que INSIVUMEH brinda gran variedad de parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua pero no todos ellos se pueden analizar debido a que no se tomó con periodicidad dicha información.

En el caso de la precipitación se hizo la relación mensual y anual de los datos y con ello conocer el comportamiento del cuerpo de agua según las distintas estaciones meteorológicas de Guatemala (estiaje e invierno).

### **5.4.4 Elaboración del Índice de Calidad de Agua- ICA-**

Para la elaboración del Índice de Calidad de Agua de la cuenca media del río Motagua, se utilizo el programa de Microsoft Excel, con el fin de definir un modelo de análisis de la calidad de agua, esta herramienta se basa en la utilización de datos generados por el INSIVUMEH e información obtenida a través del análisis de calidad del agua en los dos puntos de muestreo asignados por el INSIVUMEH.

Para ello también se tomaron muestras de calidad de agua de dichos puntos asignados por INSIVUMEH, la información se tomo en el mes de octubre del año 2013. Esto con

el fin de obtener información del cuerpo de agua para este año ya que el INSIVUMEH no generó datos de calidad de agua, así como empresas privadas no facilitaron el acceso a la información por lo que tomar como referencia una toma de muestra da lugar a observar cómo se encuentra en ese momento el estado de la calidad del agua. Luego de ello se generó una base de datos que obtuviera la información de cada punto de muestreo mensualmente en los años 2002, 2003, 2004, 2006 y 2013 (únicamente octubre).

Se aplicaron las fórmulas dentro del programa Excel con el fin de que la herramienta facilitara la obtención de resultados ICA para cada uno de los meses analizados. A su vez facilita el análisis de la información ya que no es necesario tener 9 parámetros fisicoquímicos como lo establece ICA NSF si no que únicamente 6 parámetros fisicoquímicos que tienen la capacidad de determinar el ICA específicamente para la cuenca media del río Motagua. Se tomaron únicamente 6 parámetros para el análisis ya que INSIVUMEH únicamente genera 6 de los 9 parámetros de la metodología NSF, en el caso del DQO se realizó un ajuste en la fórmula de DBO para poder analizar el comportamiento de la curva de dicho parámetro.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

Se analizo y evaluó cada uno de los parámetros fisicoquímicos mensuales, con el fin de conocer el comportamiento de la cuenca media del río Motagua (Gualán, Zacapa y San Agustín Acasagustlán, El Progreso) en cuanto a su calidad de agua y como la precipitación ha jugado un papel muy importante en la calidad de agua que presenta la cuenca media. El comportamiento que se obtuvo de cada parámetro fisicoquímico se detalla a continuación:

### 6.1 Oxigeno Disuelto

Siendo este el parámetro con mayor incidencia en la elaboración del Índice de Calidad de Agua, la medición de este parámetro ayudo a determinar la concentración de oxígeno en las unidades de muestreo. La relevancia en evaluar este parámetro es conocer tanto la presencia como su concentración. La presencia es esencial para sustentar las formas superiores de vida, como también para evaluar los efectos de agentes contaminantes. El oxígeno disuelto se presentó en un rango de 2.27 y 8.87 mg/L.

El análisis de los subíndices para la determinación del índice de calidad de agua con el análisis de diferentes concentraciones de oxígeno disuelto. El comportamiento del oxigeno disuelto genera una curva de comportamiento la cual fue enunciada anteriormente en la figura 6. El comportamiento del cuerpo de agua fue de forma ascendente, permitiendo que los resultados finales del ICA crecieran significativamente. Sin embargar la carencia de resultados no permite analizar completamente el comportamiento del cuerpo de agua.

## **6.2 pH**

La utilización de este parámetro es importante por estar relacionado con la estabilidad de la alcalinidad o acides que presente el cuerpo de agua. Ella refleja el contenido de compuestos alcalinos como el carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, o bien la presencia de compuestos ácidos como el boratos, silicatos, nitratos y fosfatos, influyendo en los procesos biológicos del cuerpo de agua. Es por ello que fue de suma importancia su análisis en el Índice de Calidad de Agua de Puente Orellana y Gualán.

Las aguas dulces presentan un pH entre 6.5 y 8.7, sin embargo las unidades de muestreo en la Cuenca media del Rio Motagua, presenta 6.88 y 8.23 por lo cual las aguas muestreadas no poseen problemas de alcalinidad o acides.

El análisis de los subíndices para la determinación del índice de calidad de agua con el análisis de diferentes concentraciones de pH, genero la curva representada en la siguiente figura, en donde cumple con la curva generada por Brown sobre el comportamiento que tiene el pH en los cuerpos de agua.

## **6.3 Nitratos**

El análisis de los nitratos se realizó a partir de la sumatoria de Nitritos + Nitratos y con estos datos se determino que las concentraciones de nitratos en las estaciones de muestreo son propias de aguas que poseen contaminación. La cantidad de nitratos fluctuó entre 0,024 y 22.383 mg/L. Ello puede indicar la acción directa de la agricultura, fertilización o la presencia de pozos sépticos cercanos al Río.

El análisis de los subíndices para la determinación del índice de calidad de agua con el análisis de diferentes concentraciones de nitratos. Por lo que para la realización del Índice de Calidad de Agua la presencia de Nitratos tiene importancia trascendental para la evaluación tanto de la calidad de agua como para darle aprovechamiento a dicho recurso según su estado.

## **6.4 Cambio de Temperatura**

La temperatura en las aguas superficiales varía ligeramente en su promedio anual y fluctuara de acuerdo con las estaciones del año, por ello se tomaron en cuenta los datos de la temperatura del agua en los puntos de muestreo y se relacionó la precipitación y con ello conocer el comportamiento de la temperatura según la estación meteorológica. En este caso la temperatura tiene un rango de 18.3 a 31.4 °C, siendo la menor en la época de invierno y la mayor en época de estiaje.

## **6.5 Sólidos Totales Disueltos**

Valores mayores a 1 y menores a 330 mg/L. En donde los datos ayudan a determinar el Índice de Calidad de agua según la cantidad de partículas disueltas en las unidades de muestreo. Este parámetro fisicoquímico fue de beneficio para conocer cuanta materia orgánica se encontraba disuelta en las unidades de muestreo influyendo en el Índice a interpretar.

El análisis de los subíndices para la determinación del índice de calidad de agua con el análisis de diferentes concentraciones de sólidos totales disueltos, se cumple tanto para Puente Orellana como en Gualán. Es importante recalcar que en los años 2003 y 2004 en Puente Orellana y 2005 en Gualán no se obtuvieron todos los datos mensuales por lo que la curva no termina como el modelo metodológico lo establece.

## **6.6 Demanda Química de Oxígeno**

En este caso la información se utilizó para conocer la cantidad de oxígeno ocupado para oxidar toda la materia orgánica como mineral. Los puntos de muestreo presentaron valores entre 0.1 mg/L y 101.01 mg/L. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 mg/ L o superiores. Las aguas residuales domésticas suelen contener entre 250 y 600 ppm (Orrego, 2002).

Para este parámetro no se poseen datos del año 2006 ya que INSIVUMEH dejó de generar información sobre este parámetro para dicha estación de muestreo. A partir del análisis de los subíndices para la determinación del índice de calidad de agua con el análisis de diferentes concentraciones de demanda química de oxígeno, se generó una curva de comportamiento para el DQO en ambos puntos de muestreo.

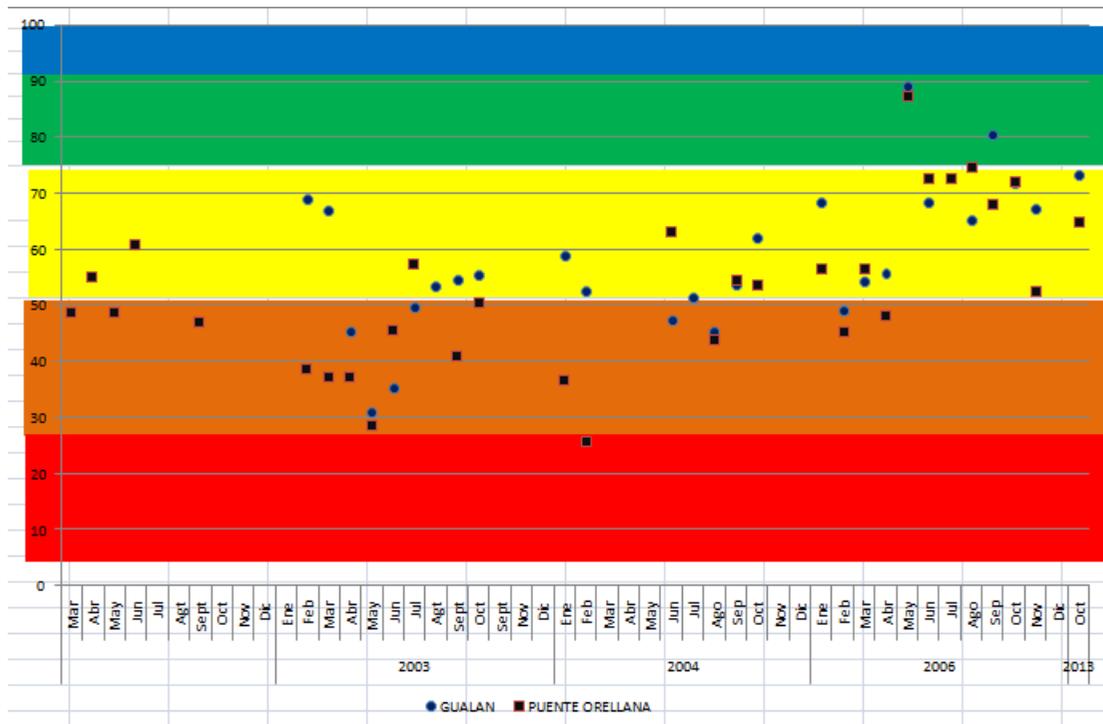
La figura 11 representada anteriormente, refleja el comportamiento que posee el DQO en los cuerpos de agua, en donde el análisis realizado determina que el cuerpo de agua actúa de la misma manera que lo establece la metodología. En el caso de Gualán se realizó un análisis para los años 2003 y 2004 en donde el comportamiento también cumple con la metodología planteada.

En el caso del mes de octubre del año 2013 no obtuvo una curva de comportamiento, esto se debe a que únicamente se posee una muestra (octubre), por lo que no se tiene antecedentes que permitan comparar la calidad de agua para este año.

## **6.7 Índice de Calidad de Agua**

El índice de calidad de agua del Río Motagua presentó variaciones considerables en la ponderación de sus parámetros, el índice fluctuó entre 25.8 y 89.0 para las estaciones Gualán y Puente Orellana para el periodo de muestreo de Febrero 2002 a Noviembre 2006 y Octubre 2013. El Puente Orellana presentó los valores más bajos del índice de calidad de agua del Río Motagua en comparación con los parámetros de la misma fecha registrados para la estación Gualán.

En la siguiente figura se evalúa el comportamiento del Índice de Calidad de Agua – ICA - para cada uno de los puntos de muestreo de la cuenca media del Río Motagua. Se obtuvo un valor mensual de ICA y se identificó con colores en degradé entre el color naranja, amarillo y el verde, esto basándose en el cuadro 2 en donde se asigna una calificación de 0-100 para identificar el Índice de Calidad de Agua.



**Figura 12: Análisis de comportamiento del Índice de Calidad de Agua para Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa.**

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2015)

En la figura anterior vemos como las dos estaciones meteorológicas, estiaje iniciando en el mes de Noviembre hasta Abril e invierno iniciando en el mes de Mayo hasta Octubre (Sánchez, 2014), tiene la capacidad de afectar de manera positiva y negativamente el Índice de Calidad de Agua en las unidades de muestreo.

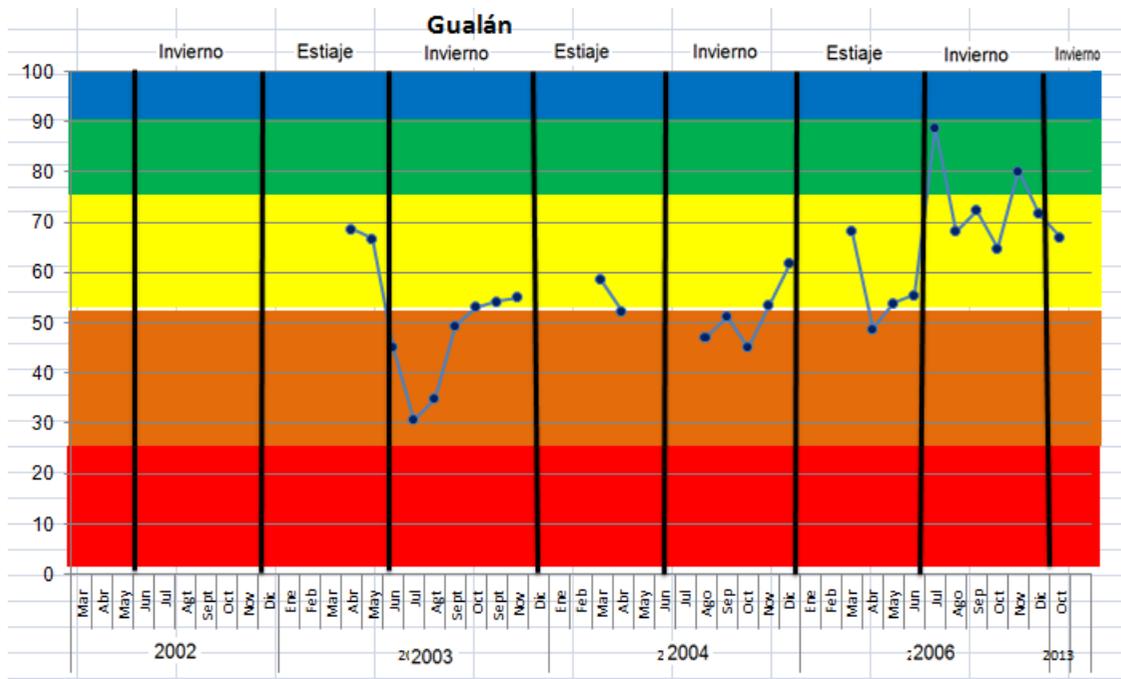
Durante la época de estiaje el porcentaje del Índice de Calidad de Agua disminuye ante la ausencia de precipitación, por lo que la relación entre la precipitación y el aumento del ICA se ve reflejado por la presencia de la precipitación, esos cambios se reflejan el siguiente mes, posterior al inicio de la precipitación en el cuerpo de agua.

En el caso de la Figura 12, se esperaría que a través del tiempo el ICA disminuyera, esto a consecuencia de la perdida de la cobertura forestal, el incremento de la población en zonas aledañas a lo largo de la cuenca medio del Río Motagua, así como el incremento de industrias a lo largo de la cuenca. Cabe resaltar que pese a ello el ICA

tuvo un comportamiento totalmente distinto ya que se mantuvo en “Medio”, lo que quiere decir que a pesar de que existen indicadores que nos conducen a determinar en qué estado se encuentra la calidad de agua de un cuerpo, es necesario evaluar los parámetros fisicoquímicos para determinar el estado actual del cuerpo de agua.

Dicha gráfica también demuestra que pese a que Puente Orellana (290msnm) se encuentra en un punto más alto que Gualán (136msnm) y con una distancia significativa de 90 kilómetros, la calidad de agua de Gualán fue mayor que en Puente Orellana la mayoría de meses.

En las siguientes figuras se aprecia el comportamiento de cada uno de los puntos de muestreo, de manera que se analiza de mejor el incremento o disminución de la calidad de agua en cada una de las estaciones de muestreo, según la estación meteorológica en la que se encuentre.



**Figura 13: Análisis del Índice de Calidad de Agua para Gualán en la época de invierno y estiaje, 2002-2006.**

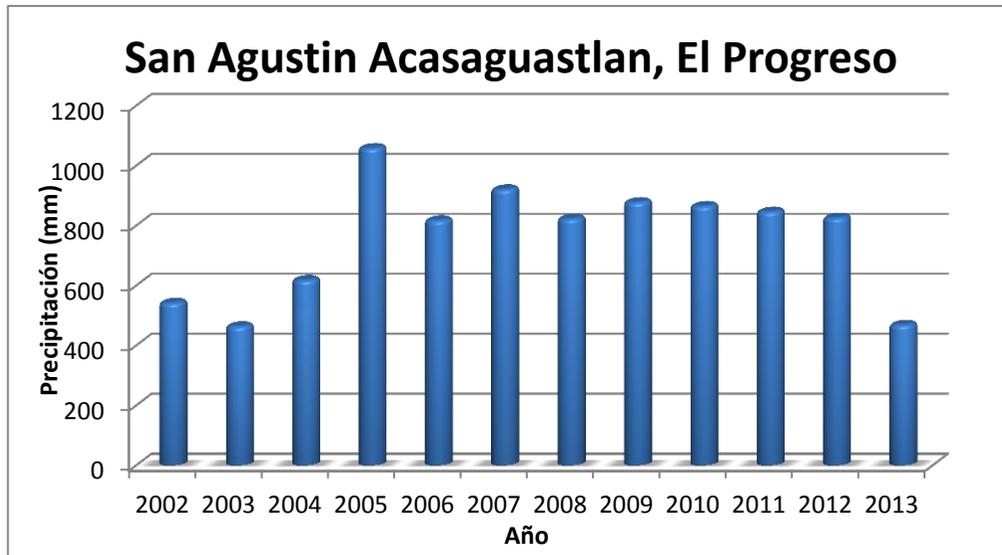
Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2015)

La figura 13 representa la variación de la calidad de agua en relación a la precipitación mensual que presenta la unidad de análisis. En el año 2003 durante la época de estiaje el ICA disminuye drásticamente de 68.8 a 45.3 mientras que durante la época de invierno este tiende a incrementar de un 30.9 a 55.2. Esto quiere decir que durante la época de estiaje disminuye el ICA en los cuerpos de agua, mientras que en invierno incrementa dada la presencia de la precipitación.

El incremento más marcado en la calidad del agua se presenta en la época de invierno del año 2006 en donde los valores incrementaron el mes de mayo con 89 como resultado del ICA, cabe resaltar que el incremento de lluvias se llevaron a cabo a partir de la segunda semana de abril y tuvo una baja en la tercera semana de mayo, lo que pudo hacer que la calidad disminuyera significativamente.

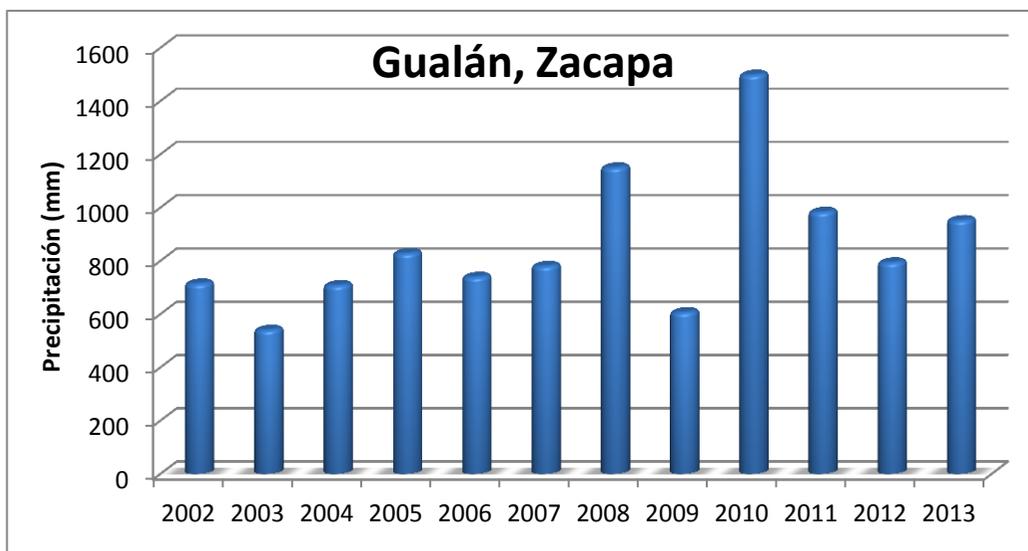


cuenta con 55 áreas protegidas, siendo estas el 16.52% de las áreas protegidas presentes en el país, presentándose en una extensión territorial de 188, 502 ha (CONAP, 2011). El poseer tal cantidad de áreas protegidas en la cuenca más importante del país es de suma importancia ya que no solo son áreas de atracción turística, sino que nos brindan varios servicios ambientales, como lo es la provisión de agua para consumo humano, agrícola, generación de energía eléctrica y distintos tipos de actividades económicas con fines de desarrollo comunitario. En el caso del Índice de Calidad de Agua, durante el invierno los parámetros fisicoquímicos tienden a mostrar una mejor calidad de agua. A ello se atribuye que en las áreas protegidas se encuentran las mayores porciones de tierra destinadas como zonas de recarga hídrica, por lo que la relación de precipitación versus caudal es: a mayor cantidad de precipitación, mayor será el caudal que fluya en la cuenca, dando como resultado un cambio positivo en la calidad de agua en las dos unidades de análisis.



**Figura 15: Precipitación en Puente Orellana, San Agustín Acasaguastlán, El progreso 2002-2013.**

Fuente: (INSIVUMEH, 2013).



**Figura 16: Precipitación en Gualán, Zacapa 2002-2013.**

Fuente: (INSIVUMEH, 2013).

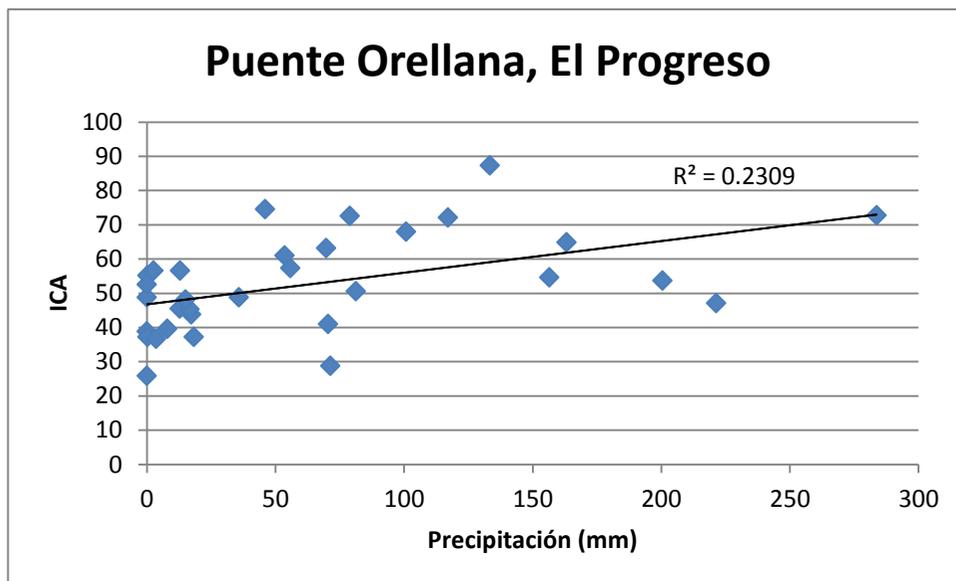
**Cuadro 4:** Índice de Calidad de Agua y precipitación promedio mensual en El Puente Orellana y Gualán.

MES	GUALAN		PUENTE ORELLANA	
	ICA	PRECIPITACION (mm)	ICA	PRECIPITACION (mm)
Enero	59.76	59.48	46.36	45.19
Febrero	55.65	60.01	37.46	46.40
Marzo	55.37	64.33	43.46	56.19
Abril	44.80	68.99	44.28	88.23
Mayo	55.99	61.59	52.92	68.13
Junio	49.52	65.00	58.29	76.74
Julio	56.08	95.82	59.94	68.58
Agosto	53.02	50.53	56.17	73.18
Septiembre	59.50	124.83	50.62	72.11
Octubre	62.83	81.93	58.74	70.52
Noviembre	61.20	66.10	50.80	68.83

Elaboración Propia, 2014

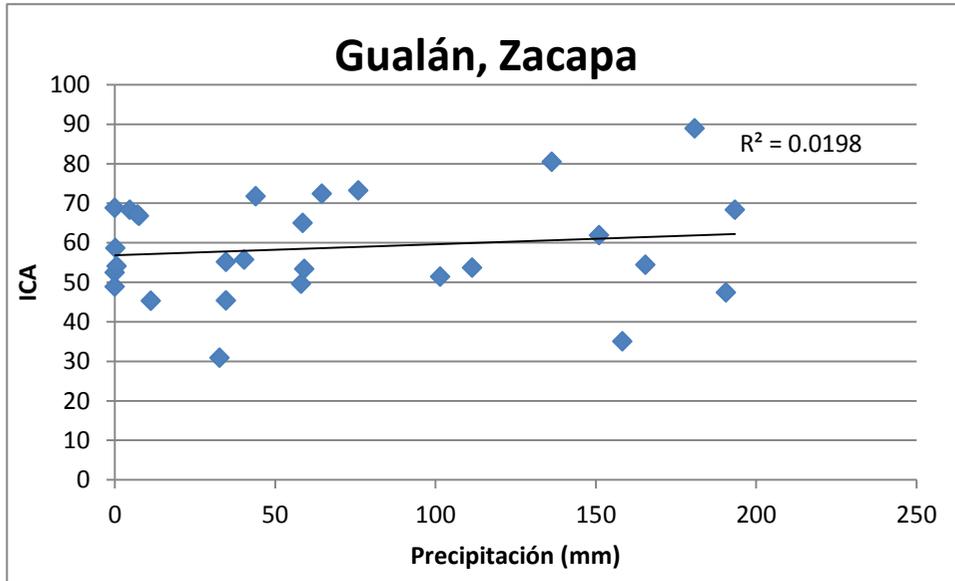
El cuadro 4 interpreta la relación que posee la calidad de agua en las dos unidades de muestreo en relación a la precipitación mensual que se presenta tanto el Puente Orellana como en Gualán.

Al analizar cada dato de ICA y precipitación mensual, se determina se debe realizar un desfase en el análisis de la relación, es decir que la precipitación se analizará un mes después de que ocurra la lluvia ya que los ICAs se ven afectados un mes después de la toma de muestra. Para Gualán se obtuvo una mínima relación de  $R^2 = 0.019$ , mientras que para Puente Orellana se obtuvo  $R^2 = 0.230$ .



**Figura 17:** Relación entre el Índice de Calidad de Agua y la Precipitación mensual para Puente Orellana, El Progreso.

Elaboración Propia, 2014



**Figura 18: Relación entre el Índice de Calidad de Agua y la Precipitación mensual para Gualán, Zacapa.**

Elaboración Propia, 2014

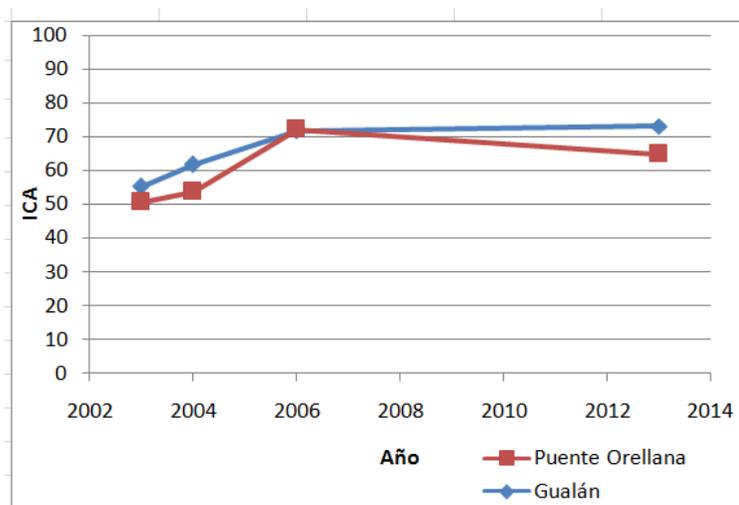
La relación anterior refleja el comportamiento del cuerpo de agua con respecto a la precipitación mensual. El análisis anterior hace evidente la baja relación que existe entre la precipitación mensual de los años en análisis y como este influye directamente en que el cuerpo de agua fluctué mensualmente con respecto a la calidad de agua (ICA).

El siguiente cuadro refleja en comportamiento de la calidad de agua en las dos unidades de muestreo para el mes de octubre del año 2003, 2004, 2006 y 2013 y con ello comprender el comportamiento de hace 10 años a el comportamiento que tuvo para el año 2013 en las mismas unidades de muestreo.

**Cuadro 5:** Índice de Calidad de Agua para el mes de Octubre, Puente Orellana y Gualán.

Año	Mes	Estación	
		GUALAN	PUENTE ORELLANA
2003	Octubre	55.2	50.6
2004	Octubre	61.9	53.7
2006	Octubre	71.8	72.1
2013	Octubre	73.2	64.9

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)



**Figura 19:** Índice de Calidad de Agua durante el mes de octubre e los años 2003, 2004, 2006 y 2013.

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)

**Cuadro 6:** Relación de la precipitación e ICA en mes de Octubre, Puente Orellana y Gualán.

Año	Mes	GUALAN		PUENTE ORELLANA	
		ICA	PRECIPITACION (mm)	ICA	PRECIPITACION (mm)
2003	Octubre	55.2	34.7	50.6	81.3
2004	Octubre	61.9	151.1	53.7	200.5
2006	Octubre	71.8	44.0	72.1	117.0
2013	Octubre	73.2	168.0	64.9	163.2

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)

El mes que se evalúa es Octubre en los años 2003, 2004, 2006 y 2013. Al analizar la fluctuación durante este mes, considerando que se encuentra dentro de la estación de invierno es relevante debido a la relación que existe con la cantidad de mm de precipitación mensual. Se establece que se encuentra entre los rangos de índice de calidad medio, siendo el Índice de calidad de agua más bajo para el Puente Orellana en octubre de 2003 con 50.6 y el más alto 72.1 en el año 2006.

Y en el caso de Gualán el Índice de Calidad de Agua más bajo fue en el año 2003 con 55.2 y el más alto fue en el año 2013 con 73.2. El análisis de calidad de agua para el mes de octubre es de importancia en la investigación porque permite observar como un punto de vista externo al del INSIVUMEH puede brindar información concreta para determinar que después de 7 años la calidad de agua pudo variar.

Esta investigación simplifica de gran manera la cantidad de datos fisicoquímicos que debe generar para conocer la calidad de agua que poseen las dos estaciones muestreadas. Ya que puede ser analizada fácilmente y proporcionar una visión de los

fenómenos medioambientales que se reflejan en el comportamiento de la estación de muestreo Puente Orellana y Gualán. Además de ser una herramienta eficiente para conocer el comportamiento de la Calidad de Agua en distintos puntos geográficos.

La información generada servirá para analizar la tendencia en el comportamiento en la calidad de agua en el tiempo. Ya que a través de los Indicadores se conoce que la Calidad de Agua en Puente Orellana en los meses de Enero a Junio presenta un Índice entre los 25 y 50. Mientras que en los meses de Julio a Diciembre presenta un comportamiento distinto. Esto se debe al incremento del caudal ocasionado por la precipitación a lo largo de la cuenca, evidenciando la fluctuación en la calidad de agua presente en las estaciones de muestreo. Por ende, el incremento en el caudal de las unidades de muestra reflejan mejora en la cantidad de Oxígeno Disuelto y el Potencial de Hidrogeno, expresando alteraciones positivas para el análisis y para el valor del Índice de Calidad de Agua en Puente Orellana y Gualán.

Los análisis de calidad de agua durante el año 2006 pudieron verse afectado de manera positiva debido al huracán Stan. Esto se debe a que en la cuenca media del Rio Motagua cuenta con escasa vegetación y una cubierta de suelo poco profundo que en su mayoría está compuesta por rocas metamórficas, estas características permiten que el agua drene hasta cuenca baja de manera que permite que exista mayor cantidad de oxígeno disuelto.

Por último es importante enfatizar la importancia de dicho sistema ya que el eficiente manejo del recurso Hídrico se puede lograr brindando esta información para la toma de decisiones sobre las prioridades del recurso en las zonas de análisis. En este caso las unidades de análisis en Puente Orellana y Gualán, son estaciones de muestreo que se encuentran dentro del corredor seco, área que posee grandes limitantes con respecto al recurso Hídrico para aprovechamiento agrícola, residencial, pecuario e industrial, por lo que el uso de la información interpretada anteriormente puede facilitar en la toma de decisiones para la creación de normativas ambientales en el área de la cuenca media del Rio Motagua y con ello regularizar el uso de agua en el sector y buscar soluciones a la escases de agua cercana a las unidades de muestreo.

La facilidad en la utilización de la herramienta con la población en general será evidenciada en el momento de la interpretación de los resultados ya que es de atracción visual para las poblaciones, las cuales no necesitan de tener conocimiento de cada uno de los parámetros fisicoquímicos ni de cuáles son los parámetros máximos permisibles para conocer si se posee una excelente, media o mala calidad de agua en el río del cual se abastecen sino solamente conocer los colores como podemos catalogar la calidad de agua presente en el río y con ello iniciar a tomar medidas de mitigación ante uno de los principales problemas ambientales que afronta Guatemala, que es el uso irracional del recurso hídrico.

## 7. CONCLUSIONES

Se generó una adaptación a metodologías antes propuestas, con el fin de analizar e interpretar de manera visual el ICA de la cuenca media del Río Motagua a partir de seis parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, Sólidos totales Disueltos, Demanda Química de Oxígeno, Nitratos y Oxígeno Disuelto).

La metodología permite calificar e interpretar de manera visual el comportamiento del cuerpo de agua y determinar su estado fisicoquímico en ambas unidades de análisis.

En Puente Orellana el índice de calidad de agua fluctuó con una mínima de 25.8, “Mala”, en el mes de febrero del 2004 hasta una máxima de 87.3, “Buena”, en mayo del año 2006.

El ICA en Puente Orellana del año 2002 al 2004 permaneció en “Malo” con una precipitación menor a los 600 mm, incrementando en el año 2006 a una calificación “Media”, para este año se registró una precipitación mayor a los 800 mm.

En Gualán el índice de calidad de agua fluctuó con una mínima de 30.9, “Mala”, en el mes de mayo del 2003 hasta una máxima de 81.9, “Buena”, en mayo del año 2006.

El ICA en Gualán del año 2003 y 2004 permaneció en “Malo” y “Bueno” con una precipitación menor a los 600 mm, incrementando en el año 2006 a una calificación “Media”, para este año se registró una precipitación mayor a los 800 mm.

El Índice de Calidad de Agua y la precipitación están estrechamente ligadas ya que el incremento de la precipitación aumenta el valor del ICA en ambas unidades de análisis de la cuenca Media del Río Motagua.

Ambas unidades de análisis poseen comportamiento tendencial en su ICA esto se debe a que el comportamiento del cuerpo de agua en la cuenca media tiende a permanecer en la misma calificación entre un punto y otro.

La distancia que existe entre cada unidad de análisis es de 90 kilómetros sin embargo el comportamiento del cuerpo de agua tiende a permanecer muy similar un punto de otro a consecuencia de la precipitación que existe en la unidad de análisis un mes después a la toma de muestra.

La relación directa entre la precipitación y el ICA es de  $R^2= 0.019$  para Gualán, Zacapa y  $R^2=0.23$  para Puente Orellana, El Progreso. De manera que la relación de ambas unidades de análisis, no es tendencia, sin embargo la si existe relación aumento de precipitación, aumento de Calificación ICA.

## 8. RECOMENDACIONES

Dar continuidad a la toma de datos fisicoquímicos por parte de instituciones que velan por el cuidado del medio ambiente ya que se puede ampliar la información con la que cuenta el país en materia de investigación y con ello crear herramientas que ayuden a mejorar la calidad de vida de los habitantes que viven en áreas aledañas a la cuenca media del Río Motagua.

Replicar la investigación en los distintos puntos de muestreo establecidos por el INSIVUMEH, ya que facilitará el análisis y comprensión de los datos fisicoquímicos que la institución está generando.

Establecer una mayor cantidad de puntos de muestreo dentro de la cuenca del Río Motagua con el fin de evaluar el comportamiento en cada punto de la cuenca (alta, media y baja) y tener la capacidad de realizar proyecciones de la conducta que tendrá el cuerpo de agua.

Se recomienda que al menos se realicen análisis dos veces al año, en época de estiaje e invierno y evaluar su comportamiento según la precipitación.

Replicar la presente investigación en otras cuencas del país, utilizando la misma metodología propuesta para la cuenca media del Río Motagua.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Ball, R. &. (1980). Water Quality Indexing And Scoring Jornal Of The Environmental Engineering Division. *American Society Of Civil Engineers* , 106.

Ball, R., & Church, R. (1980). *Water Quality Indexing and Scoring*. American Society of Civil Engineers. Journal of the Enviroment Engineering Division.

Brown, R., Mcclelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). *Water Quality Index- Do We Dare?* United States of America: Water and Sewage Works.

Canales, M., Hernández, T., Meraz, S., & Peñalosa, I. (1999). *Fisicoquímicas*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

Cid, C. R. (2012). *El proyecto “Manejo de la Cuenca del Río Cahoacán, Chiapas, México, a través de la Conservación y Restauración de Microcuencas para Prevenir Daños Causados por el Exceso de Agua”, conforma los primeros Comités de Microcuenca*. México: Gonzalo Rio Arronte.

Cisneros, B. E. (2005). *La Contaminacion Ambiental en Mexico, causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Editorial Limusa S.A.

Cordon, M. R. (2003). *Diagnóstico del uso del Recurso Hídrico de la cuenca del Rio Motagua en los municipios de San Agustín Acasaguastlán, San Cristóbal Acasaguastlán y El Jícaro, Departamento de El Progreso, Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Davis, M., & Cornwell, D. (1998). *Introduction to Enviromental Engineering*. (S. i. Engineering, Ed.) United States of America: McGraw Hill.

FAO. (2009). *¿Por qué invertir en Ordenación de las Cuencas Hidrográficas?* Roma, Italia: Food and Agriculture Organization.

Fernández, N., Ramos, G., & Solano, F. (2004). *Indices de Calidad de Agua (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial (Vol. Capitulo III)*. México: Universidad de Pamplona.

Fernandez, P. R. (2008). *ICATest V1.0.0.27* . Colombia: Centro de Hidroinformática, Instituto de Ciencias Naturales y Biotecnología, Universidad de Pamplona.

González, J. A., & Yañez, J. M. (2005). *Sistemas de Informacion Medioambiental*. España: Gesbiblo S.L.

Guatemala, F. p. (2012). *Diagnóstico Preliminar de Situación de la Cuenca del Río Motagua*. Guatemala: SERVIPRENSA.

IARNA, I. d. (2002). *El Agua: Situación Actual y Necesidades de Gestión*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Instituto de Agricultura, A. y. (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala 2006. Tendencias y reflexiones sobre la gestión Ambiental*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Instituto Nacional de Sismología, V. M. (2003). *Cuantificación del recurso agua en Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH.

Lenntech. (2006). *Agua Residual & Purificación del Aire*. Holanda: Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH.

León, R. d. (2003). *Análisis de Contaminación de peces en el Río Motagua (Contaminación de peces y lesiones Gastrointestinales y Dermatológicas)*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

León, R. d. (2003). *Análisis de Contaminación de peces en el Río Motagua (Contaminación de peces y lesiones gastrointestinales y dermatológicas)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Menendez, D. (2014, Marzo 25). Climatología. (M. Diaz, Interviewer)

Naturales, M. d. (2008). *Conceptos Básicos de Cuencas*. El Salvador: World Visual.

Naturales, M. d. (2008). *Porque Trabajar con el Enfoque de Cuencas y Microcuencas*. El Salvador: World Vision.

Orellana, J. A. (2005). *Características del Agua Potable*. Argentina: UTN - FRRO .

Orrego, J. (2002). *El estado de las aguas terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas*. Santiago, Chile: Fundación Terram.

Ott, W. (1978). *Environmental Indices: Theory and Practice*. Michigan: Ann Arbor Science.

Peréz, G. A. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). *Revisión parámetros Físicoquímicos como Indicadores de la calidad y contaminación del Agua*. Colombia: Revista Ingeniería e Investigación.

Samper, J., Sahuquillo, A., Capilla, J., & Hernández, J. G. (1999). *La contaminación de las aguas subterráneas: Un problema pendiente*. España: Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

Sanchez, J. (2014, octubre 12). Etaciones meteorológicas. (M. Díaz, Interviewer)

Sole, A. C. (2005). *Instrumentación Industrial* (Vol. 7ma Edición). España: MARCOMBO S.A.

Torres, B. L., Estrada, F. A., Tensos, J. M., Gonzáles, C. d., Linares, A. Y., & Sifontes, J. M. (2010). *Metodología Analítica para la Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)*. Ciudad Universitaria. San Salvador: Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de las organizaciones de los Estados Americanos (OEA), por medio de su Secretaria Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Internacional para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD).

Van Dijk, A. (2003). *Ecohydrology*. Amsterdam: VRIJE University.

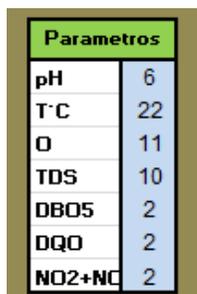
Vivas, K. (2011). *Análisis y Parámetros Físico-Químico en el Tratamiento de Aguas Residuales y Potables realizado en el Centro de Investigación de Microbiología Aplicada (CIMA)*. Venezuela: Universidad de Carabobo.

## 10. ANEXOS

### 10.1 Como Utilizar ICAtest:

La herramienta se creó a partir del programa Excel® de la empresa Microsoft, para conocer el Índice de Calidad de Agua en cada unidad de análisis (Puente Orellana y Gualán). En la Figura 19 se puede apreciar el programa que asigna el Índice de Calidad de Agua para las estaciones de muestreo.

Los parámetros a trabajar son Potencial de Hidrogeno, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales Disueltos, Demanda Química de Oxígeno y la sumatoria de Nitritos y Nitratos. La Figura 19 muestra el espacio asignado para introducir los parámetros físico químicos mencionados para iniciar con el análisis de la información.



Parametros	
pH	6
T·C	22
O	11
TDS	10
DBO5	2
DQO	2
NO2+NO	2

**Figura 20: Introducción de datos Físico Químicos al programa.**

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)

La Figura 20 muestra el análisis de los parámetros a partir de las fórmulas matemáticas expresadas en la metodología. En donde la columna “W” representa el % asignado a cada uno de los parámetros fisicoquímicos analizados. En la columna “i” los datos representan el resultado de la operación matemática con las cantidades a evaluar. Sin embargo la expresión “Wi” será la multiplicación entre “W” e “i” y este será nuestro Índice de Calidad de Agua para cada parámetro a analizar.

Por ejemplo, a continuación se expresa de manera matemática la elaboración de las funciones matemáticas en el programa Excel®:

$$N \leq 3 \text{ mg/L:} \quad \text{SIN} = 100 \times \exp. (N \times 0.22)$$

**N**= Nitrato

**SIN**= Subíndice de Nitrato

Por lo tanto:

$$\text{SIN} = 100 \times \exp. (2 \times 0.22)$$

**SIN= 64.4**

Esto se expresara por “subíndices de Calidad de Agua”, ello se sumara y obtendrá un valor numérico que llamaremos “Índice de Calidad de Agua”.

i	W	Wi	Sin DQO	Sin DBO	Sin pH	Sin O2	Sin TDS	Sin DBO y DQO	Sin O2 y pH	Sin O2 y DBO	Sin O2 y DQO	Sin O2 y TDS	Sin O2, DBO y DQO	Sin TDS DBO y DQO	Sin O2 DBO y DQO	Sin pH DBO y DQO
81.9	16.9%	13.8	0.20	0.20		0.20	0.19	0.24		0.25	0.25	0.29	0.32	0.30	0.31	
46.4	10.1%	4.7	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.14	0.15	0.15	0.15	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19
100.1	17.6%	17.6	0.21	0.21	0.21		0.20	0.25						0.31		0.33
100.0	13.1%	13.1	0.15	0.16	0.16	0.16		0.19	0.20	0.20	0.20		0.25			0.25
67.1	15.2%	10.2	0.18		0.18	0.18	0.18		0.23		0.23	0.27			0.28	
98.3	15.1%	14.8		0.18	0.18	0.18	0.17		0.23	0.22		0.26				
64.4	12.0%	7.7	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.17	0.18	0.18	0.18		0.23	0.21	0.22	0.23
1.0000		82.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		13.82														0.17
		4.69														0.10
		17.57														0.18
		13.14														0.13
		10.23														0.15
		14.85														0.15
		7.73														0.12
		7.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
																82.02

Figura 21: Generador de índice de calidad de agua.

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)

Parámetros	
pH	6
T°C	22
O	10.5
TDS	10
DBO5	2
DQO	2
NO2+NO3	2

i	W	Wi	Sin DQO	Sin DBO	Sin pH	Sin O2	Sin TDS	Sin DBO y DQO	Sin O2 y pH	Sin O2 y DBO	Sin O2 y DQO	Sin O2 y TDS	Sin O2, DBO y DQO	Sin TDS DBO y DQO	Sin O2 TDS y DQO	Sin pH DBO y DQO		
81.9	16.9%	13.8	0.20	0.20		0.20	0.19	0.24		0.25	0.25	0.29	0.32	0.30	0.31			
46.4	10.1%	4.7	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.14	0.15	0.15	0.15	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19		
100.1	17.6%	17.6	0.21	0.21	0.21		0.20	0.25						0.31		0.33		
100.0	13.1%	13.1	0.15	0.16	0.16	0.16		0.19	0.20	0.20	0.20		0.25			0.25		
67.1	15.2%	10.2	0.18		0.18	0.18	0.18		0.23		0.23	0.27			0.28			
98.3	15.1%	14.8		0.18	0.18	0.18	0.17		0.23	0.22		0.26						
64.4	12.0%	7.7	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.17	0.18	0.18	0.18		0.23	0.21	0.22	0.23		
	1.0000	82.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
		13.82														0.17	13.82	
		4.69														0.10	4.69	
		17.57														0.18	17.57	
		13.14														0.13	13.14	
		10.23														0.15	10.23	
		14.85														0.15	14.85	
		7.73														0.12	7.73	
	7.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	82.02

**Figura 22: Modelo de programa ICA test, cuenca media del Río Motagua.**

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).



**Figura 23: Toma de muestras en Gualán, Zacapa.**

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).



**Figura 24: Toma de muestras en El Puente Orellana, El Progreso.**

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).

**Cuadro 7:** Parámetros Físico Químicos a evaluar en las estaciones de muestreo, Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa.

Estación	Año	Mes	Parámetros Físicoquímicos					
			Temp. (°C)	T.D.S (mg/L)	O <sub>2</sub> Dis (mg/L)	pH (Unidades)	DQO (mg/L)	NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> (mg/L)
PUENTE ORELLANA	2002	Febrero	26.7	317	4.2	7.56	21	22.383
PUENTE ORELLANA	2002	Marzo	27.2	300	6.32	7.74	18	12.81
PUENTE ORELLANA	2002	Abril	27.9	298	5	7.87	17	0.024
PUENTE ORELLANA	2002	Mayo	28.4	276	4.14	7.67	45	0.186
PUENTE ORELLANA	2002	Julio	24.6	108	5	8.06	400	1.338
PUENTE ORELLANA	2002	Septiembre	23.7	169	4.6	8.23	35	5.646
PUENTE ORELLANA	2003	Febrero	22.9	255	3.4	7.51	14	11.476
PUENTE ORELLANA	2003	Marzo	29.6	278	5.39	8.17	25	12.742
PUENTE ORELLANA	2003	Abril	28.7	299	3.64	7.68	10	18.233
PUENTE ORELLANA	2003	Mayo	31.4	230	3.86	7.7	26	15.354
PUENTE ORELLANA	2003	Junio	26.6	168	4.2	7.72	31	9.097
PUENTE ORELLANA	2003	Julio	25	128	5	7.95	14	7.255
PUENTE ORELLANA	2003	Septiembre	25.4	197	2.27	7.45	20	20.325
PUENTE ORELLANA	2003	Octubre	24.4	199	3.9	7.45	11	9.634
PUENTE ORELLANA	2004	Enero	22.1	260	3.1	7.19	12	15.595
PUENTE ORELLANA	2004	Febrero	19.9	302	3.9	7.31	68	15.224
PUENTE ORELLANA	2004	Junio	25.3	138	8	6.88	41.74	6.042
PUENTE ORELLANA	2004	Agosto	25	180	3.6	7.66	124.01	7.691
PUENTE ORELLANA	2004	Septiembre	24.4	155	5.9	7.78	40.08	8.284
PUENTE ORELLANA	2004	Octubre	24.4	149	5.6	7.62	46.94	8.024
GUALÁN	2003	Febrero	23.7	195	5.36	8.03	7	1.723
GUALÁN	2003	Marzo	26.6	304	6.17	7.98	3	5.571
GUALÁN	2003	Abril	28.5	330	6.53	8.07	23	7.969
GUALÁN	2003	Mayo	30.3	303	3.95	7.95	15	11.81
GUALÁN	2003	Junio	32.2	246	4.5	7.93	20	6.512
GUALÁN	2003	Julio	28.1	167	5.13	7.8	17	5.418
GUALÁN	2003	Agosto	27.9	203	4.33	7.97	10	3.901
GUALÁN	2003	Septiembre	26.5	152	5.48	7.8	28	6.03
GUALÁN	2003	Octubre	26.5	167	4.8	7.8	23	3.003
GUALÁN	2004	Enero	23.8	268	4.8	7.55		4.123
GUALÁN	2004	Febrero	20.2	157	6.2	7.34	20	2.124
GUALÁN	2004	Junio	27.9	177	4.9	6.78	64.78	3.4
GUALÁN	2004	Julio	28.2	173	5.6	7.19	36.64	3.5
GUALÁN	2004	Agosto	27.1	237	1.7	7.57	149.6	1.626
GUALÁN	2004	Septiembre	27.1	163	5.6	7.76	32.78	4.936

GUALÁN	2004	Octubre	26.5	142	6.6	7.68	33.25	3.342
GUALÁN	2006	Enero	24.7	245		8.25		3.6
GUALÁN	2006	Febrero	20.4	221		8.27		3.5
GUALÁN	2006	Marzo	27.4	318		8.18		5.435
GUALÁN	2006	Abril	25.4	304		8.25		9.328
GUALÁN	2006	Mayo	25.3	169		7.9		0.156
GUALÁN	2006	Junio	26.9	188		7.9		4.5
GUALÁN	2006	Julio	26.2	171		7.87		4.334
GUALÁN	2006	Agosto	27.8	166		7.92		4.3
GUALÁN	2006	Septiembre	25.2	116		8.17		2.345
GUALÁN	2006	Octubre	26.6	144		8		4.692
GUALÁN	2006	Noviembre	24	213		8.16		4.2
PUENTE ORELLANA	2006	Enero	23.6	254		7.82		15.638
PUENTE ORELLANA	2006	Febrero	18.3	296		7.91		2.656
PUENTE ORELLANA	2006	Marzo	25	390		7.92		15.752
PUENTE ORELLANA	2006	Abril	22.9	397		7.95		15.953
PUENTE ORELLANA	2006	Mayo	25.8	201		7.88		0.073
PUENTE ORELLANA	2006	Junio	25	142		7.93		5.843
PUENTE ORELLANA	2006	Julio	24.4	144		8.04		4.824
PUENTE ORELLANA	2006	Agosto	25.2	124		8.01		5.444
PUENTE ORELLANA	2006	Septiembre	23.6	118		8.16		5.595
PUENTE ORELLANA	2006	Octubre	23.5	130		8.07		3.541
PUENTE ORELLANA	2006	Noviembre	21.2	176		8.13		5.1
GUALÁN	2013	Octubre	25.9	121.9	7.9	7.13	12	3.5
PUENTE ORELLANA	2013	Octubre	23.7	103.6	8.87	7.22	19	9.1

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)

**Cuadro 8:** Subíndices de cada parámetro Físico Químico en Puente Orellana, El Progreso y Gualán, Zacapa.

Estación	Año	Mes	Parámetros Físicoquímicos					
			Temp. (°C)	T.D.S (mg/L)	O <sub>2</sub> Dis (mg/L)	pH (Unidad)	DQO (mg/L)	NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> (mg/L)
PUENTE ORELLANA	2002	Febrero	14	10	16	9	2	5
PUENTE ORELLANA	2002	Marzo	16	13	7	1	2	0
PUENTE ORELLANA	2002	Abril	16	11	17	1	2	1
PUENTE ORELLANA	2002	Mayo	16	9	11	1	2	15
PUENTE ORELLANA	2002	Julio	16	7	7	3	0	14
PUENTE ORELLANA	2002	Septiembre	16	14	11	8	0	11
PUENTE ORELLANA	2003	Febrero	15	12	9	6	0	4
PUENTE ORELLANA	2003	Marzo	16	10	3	4	4	1
PUENTE ORELLANA	2003	Abril	15	4	13	3	1	1
PUENTE ORELLANA	2003	Mayo	16	6	4	1	8	0
PUENTE ORELLANA	2003	Junio	16	1	6	4	1	1
PUENTE ORELLANA	2003	Julio	16	13	7	6	1	2
PUENTE ORELLANA	2003	Septiembre	16	15	11	7	4	3
PUENTE ORELLANA	2003	Octubre	16	15	3	5	2	0
PUENTE ORELLANA	2004	Enero	16	14	6	5	7	2
PUENTE ORELLANA	2004	Febrero	16	7	3	4	6	0
PUENTE ORELLANA	2004	Junio	16	2	6	1	0	1
PUENTE ORELLANA	2004	Agosto	15	15	22	7	0	4
PUENTE ORELLANA	2004	Septiembre	16	15	4	6	0	3
PUENTE ORELLANA	2004	Octubre	16	14	15	6	0	2
GUALÁN	2003	Febrero	16	14	14	7	0	3
GUALÁN	2003	Marzo	16	12	13	5	12	10
GUALÁN	2003	Abril	16	13	16	1	16	4
GUALÁN	2003	Mayo	16	7	17	1	1	3
GUALÁN	2003	Junio	16	2	6	1	4	1
GUALÁN	2003	Julio	16	0	9	4	2	4
GUALÁN	2003	Agosto	16	8	12	6	2	5
GUALÁN	2003	Septiembre	16	9	8	5	8	6
GUALÁN	2003	Octubre	16	13	13	7	1	4
GUALÁN	2004	Enero	16	13	10	6	1	8
GUALÁN	2004	Febrero	20	15	12	4	0	7
GUALÁN	2004	Junio	16	2	16	6	2	9
GUALÁN	2004	Julio	15	9	11	6	0	7
GUALÁN	2004	Agosto	16	8	14	6	0	7
GUALÁN	2004	Septiembre	16	12	3	4	0	10

GUALÁN	2004	Octubre	16	12	14	6	0	5
GUALÁN	2006	Enero	16	13	18	7	0	7
GUALÁN	2006	Febrero	25	25	0	7	0	12
GUALÁN	2006	Marzo	25	5	0	8	0	12
GUALÁN	2006	Abril	26	19	0	2	0	8
GUALÁN	2006	Mayo	25	26	0	2	0	3
GUALÁN	2006	Junio	28	26	0	10	0	25
GUALÁN	2006	Julio	28	21	0	9	0	10
GUALÁN	2006	Agosto	28	24	0	10	0	10
GUALÁN	2006	Septiembre	28	16	0	11	0	10
GUALÁN	2006	Octubre	26	26	0	14	0	15
GUALÁN	2006	Noviembre	28	23	0	12	0	9
PUENTE ORELLANA	2006	Enero	26	23	0	8	0	10
PUENTE ORELLANA	2006	Febrero	28	21	0	7	0	1
PUENTE ORELLANA	2006	Marzo	28	1	0	2	0	14
PUENTE ORELLANA	2006	Abril	28	25	0	2	0	1
PUENTE ORELLANA	2006	Mayo	28	17	0	2	0	1
PUENTE ORELLANA	2006	Junio	28	25	0	9	0	25
PUENTE ORELLANA	2006	Julio	28	25	0	12	0	7
PUENTE ORELLANA	2006	Agosto	28	24	0	12	0	9
PUENTE ORELLANA	2006	Septiembre	28	26	0	13	0	8
PUENTE ORELLANA	2006	Octubre	26	21	0	14	0	7
PUENTE ORELLANA	2006	Noviembre	27	20	0	13	0	12
GUALÁN	2013	Octubre	26	8	0	10	0	8
PUENTE ORELLANA	2013	Octubre	16	15	21	8	6	7

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014)

**Cuadro 9:** Índices de Calidad de Agua para Puente Orellana y Gualán, años 2002, 2003,2004, 2006 y 2013.

Año	Mes	Estación	
		GUALAN	PUENTE ORELLANA
2002	Enero	ND	ND
	Febrero	ND	39.6
	Marzo	ND	48.8
	Abril	ND	55.2
	Mayo	ND	48.8
	Junio	ND	61.0
	Julio	ND	ND
	Agosto	ND	ND
	Septiembre	ND	47.1
	Octubre	ND	ND
	Noviembre	ND	ND
	Diciembre	ND	ND
2003	Enero	ND	ND
	Febrero	68.8	38.8
	Marzo	66.8	37.2
	Abril	45.3	37.2
	Mayo	30.9	28.8
	Junio	35.1	45.5
	Julio	49.7	57.4
	Agosto	53.4	ND
	Septiembre	54.4	41.0
	Octubre	55.2	50.6
	Noviembre	ND	ND
	Diciembre	ND	ND
2004	Enero	58.7	36.7
	Febrero	52.5	25.8
	Marzo	ND	ND
	Abril	ND	ND
	Mayo	ND	ND
	Junio	47.4	63.2
	Julio	51.4	ND
	Agosto	45.4	43.8
	Septiembre	53.7	54.6
	Octubre	61.9	53.7
	Noviembre	ND	ND

	Diciembre	ND	ND
2006	Enero	68.3	56.6
	Febrero	48.9	45.3
	Marzo	54.1	56.6
	Abril	55.7	48.1
	Mayo	89.0	87.3
	Junio	68.4	72.7
	Julio	72.5	72.6
	Agosto	65.0	74.6
	Septiembre	80.5	68.0
	Octubre	71.8	72.1
	Noviembre	67.1	52.5
	Diciembre	ND	ND
2013	Octubre	73.2	64.9

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).

ND= No hay datos

**Cuadro 10:** Relación de la Precipitación y el Índice de Calidad de Agua en Puente Orellana, El Progreso.

Año	Mes	Puente Orellana	Precipitación
2002	Febrero	39.59	7.9
2002	Marzo	48.78	0
2002	Abril	55.18	0.2
2002	Mayo	48.77	35.7
2002	Julio	60.98	53.5
2002	Septiembre	47.05	221.4
2003	Febrero	38.85	0
2003	Marzo	37.21	18.2
2003	Abril	37.20	0.2
2003	Mayo	28.80	71.3
2003	Junio	45.54	12.7
2003	Julio	57.39	55.7
2003	Septiembre	41.01	70.4
2003	Octubre	50.58	81.3
2004	Enero	36.70	3.6

2004	Febrero	25.81	0
2004	Junio	63.18	69.7
2004	Agosto	43.83	17.2
2004	Septiembre	54.62	156.5
2004	Octubre	53.66	200.5
2006	Enero	56.58	12.9
2006	Febrero	45.35	16.6
2006	Marzo	56.55	2.6
2006	Abril	48.14	15
2006	Mayo	87.33	133.3
2006	Junio	72.73	283.7
2006	Julio	72.57	78.9
2006	Agosto	74.56	45.9
2006	Septiembre	67.96	100.7
2006	Octubre	72.14	117
2006	Noviembre	52.51	0
2013	Octubre	64.86	163.2

**Cuadro 11:** Relación de la Precipitación y el Índice de Calidad de Agua en Gualán, Zacapa.

Año	Mes	Gualán	Precipitación
2003	Febrero	68.82	0
2003	Marzo	66.80	7.6
2003	Abril	45.33	11.3
2003	Mayo	30.89	32.7
2003	Junio	35.10	158.3
2003	Julio	49.66	58.1
2003	Agosto	53.38	59.1
2003	Septiembre	54.42	165.5
2003	Octubre	55.19	34.7
2004	Enero	58.68	0.2
2004	Febrero	52.47	0
2004	Junio	47.41	190.6
2004	Julio	51.43	101.5
2004	Agosto	45.39	34.7
2004	Septiembre	53.69	111.5
2004	Octubre	61.90	151.1
2006	Enero	68.34	4.7
2006	Febrero	48.94	0
2006	Marzo	54.13	0.6

2006	Abril	55.74	40.4
2006	Mayo	88.97	180.9
2006	Junio	68.37	193.4
2006	Julio	72.47	64.6
2006	Agosto	65.00	58.6
2006	Septiembre	80.46	136.3
2006	Octubre	71.81	44
2006	Noviembre	67.14	7.1
2013	Octubre	73.23	76

**Figura 22: Resultados CONCALIDAD, análisis Físicoquímico Puente Orellana, El Progreso.**



Vista Hermosa III Zona 16 1er Nivel Edificio TEC LANDIVAR Campus URL  
Telefax 2426-2594

**INFORME DE ANÁLISIS No. 1499-13**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
<b>Código de Laboratorio:</b>	PA-1499-13	<b>Empresa</b>	Universidad Rafael Landívar
<b>Nombre la muestra:</b>	Agua de Puente Orellana El Progreso	<b>Dirección</b>	Campus Central Vista Hermosa III Zona 16
<b>Lote:</b>	No presenta	<b>Análisis Solicitado:</b>	Análisis microbiológico básico
<b>Fecha de Producción:</b>	No presenta	<b>Con atención a:</b>	Mellany Díaz
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	No presenta	<b>Fecha de recepción</b>	16/10/13
<b>Código de Análisis</b>	M6/127 AG/171	<b>Fecha de Informe</b>	11/11/13

DATOS DE LA MUESTRA	
<b>Condiciones de la muestra al momento de la recepción:</b>	Muestreo por parte del cliente, transportado en hielera
<b>Fecha de inicio de análisis</b>	16/10/13
<b>Fecha de Finalización</b>	6/11/13

**Resultados de Análisis Microbiológicos**

Análisis Microbiológicos	Resultado	Recuento máximo permitido*
Recuento Aeróbico Total UFC/mL	MNPC	-----
Coliformes Totales UFC/ 25 mL	9.2x10 <sup>2</sup>	**Menos que 1/100 mL Ausencia
E.coli UFC/ 25 mL	Positivo	**Menos que 1/100 mL Ausencia

**ABREVIATURAS:** MNPC : Muy Numerosas para poder contarse. **UFC/ml:** unidades formadoras de colonias por millilitro.  
**Limite mínimo de detección:** \*\* Menos que 1: significa ausencia cuando se usa una prueba de membrana de filtración.  
**\*REFERENCIA:** Norma Coguanor 29-001. Agua Potable. Especificaciones.  
**METODOLOGIA:** Bacteriological Analytical Manual, 8<sup>th</sup> ed. Revision A/1998. AOAC. U.S. Food & Drug Administration. APHA-AWWA-WEB Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19<sup>th</sup> edition, 1997.

Analista: AR

Gestión de Servicios, S.A  
Laboratorio de Control de Calidad  
CONCALIDAD  
Vista Hermosa III, 1er. Nivel Edificio TEC LANDIVAR  
Campus Central URL Zona 16  
Guatemala, Guatemala

- NOTAS:**
- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
  - Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
  - Este informe es válido únicamente en original.
  - Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).

**Figura 23: Resultados CONCALIDAD, análisis Físicoquímico Puente Orellana, El Progreso.**



Vista Hermosa III Zona 16 1er Nivel Edificio TEC LANDIVAR Campus URL  
Telefax 2426-2594

**Resultados de Análisis Físicoquímico**

Parámetros (Dimensional)	Resultados	**LMA	**LMP
Conductividad (µs/cm)	216.33	750	1,500
Sol. Disueltos totales (mg/L)	103.57	500	1,000
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8.87	***	***
pH ( U )	7.22	7.0-7.5	6.5-8.5
Alcalinidad (mg/L)	80	***	***
Turbidez (NTU)	133	5	150
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	86	100	500
Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	9.1	***	50
Sulfatos* (mg/L SO <sub>4</sub> -2)	33	100	250
Magnesio (mg/L Mg)	1.82	50	100
Calcio(mg/L Ca)	0	75	150
Cloruro* (mg/L)	13.47	100	250
DBO	8	***	***
DQO	19	***	***

**Abreviaturas:** mg/ L : miligramos por un litro, U Pt-Co: unidades Platino- Cobalto, µs/cm: micro Siemens por centímetro. LMA: Limite Máximo Aceptable; LMP: Limite Máximo Permisible.

**\*\*Referencia:** COGUANOR NGO 29- 001 AGUA POTABLE. Especificaciones.

\*\*\* No hay valor específico para este parámetro en la norma citada.

**Metodología:** Métodos HACH, HACH COMPANY, para Análisis de Aguas. 2da. Edición. Conductividad/Sólidos Disueltos Totales<Electrolítica HACH>, pH<Potenciométrica ME-FQ-06-006>, Turbiedad <Turbidimeter HACH 2100P >, Alcalinidad <Titrimétrico 4491-DR-WAT> Sulfatos< HACH 8051> Calcio <HACH 8030> Sodio<Titrimétrico ME-FQ-04-014> Cloruro<Titrimétrico ME-FQ-04-004>

Analista: LA, AN

Gestión de Servicios, S.A  
Laboratorio de Control de Calidad  
CONCALIDAD  
Vista Hermosa III, 1er. Nivel Edificio TEC LANDIVAR  
Campus Central URL Zona 16  
Guatemala, Guatemala

Supervisado por:

Inga. Isis López  
Colegiado No.1222  
Gerente de Laboratorio

**NOTAS:**

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).

**Figura 24: Resultados CONCALIDAD, análisis Físicoquímico Gualán, Zacapa**



Vista Hermosa III Zona 16 1er Nivel Edificio TEC LANDIVAR Campus URL  
Telefax 2426-2594

**INFORME DE ANÁLISIS No. 1500-13**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-1500-13	Empresa	Universidad Rafael Landívar
Nombre la muestra:	Agua de Gualan Zacapa	Dirección	Campus Central Vista Hermosa III Zona 16
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	Análisis microbiológico básico
Fecha de Producción:	No presenta	Con atención a:	Mellany Díaz
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción	16/10/13
Código de Análisis	M6/127 AG/171	Fecha de Informe	11/11/13

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Muestreo por parte del cliente, transportado en hielera
Fecha de inicio de análisis	16/10/13
Fecha de Finalización	6/11/13

**Resultados de Análisis Microbiológicos**

Análisis Microbiológicos	Resultado	Recuento máximo permitido*
Recuento Aeróbico Total UFC/mL	MNPC	-----
Coliformes Totales UFC/ 25 mL	1x10 <sup>3</sup>	**Menos que 1/100 mL Ausencia
E.coli UFC/ 25 mL	Positivo	**Menos que 1/100 mL Ausencia

ABREVIATURAS: MNPC : Muy Numerosas para poder contarse. UFC/ml: unidades formadoras de colonias por mililitro..  
Limite mínimo de detección: \*\* Menos que 1: significa ausencia cuando se usa una prueba de membrana de filtración.

\*REFERENCIA: Norma Coguano 29-001. Agua Potable. Especificaciones.

METODOLOGÍA: Bacteriological Analytical Manual. 8<sup>th</sup> ed. Revision A/1998. AOAC. U.S. Food & Drug Administration. APHA-AWWA-WEB Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19<sup>th</sup> edition, 1997.

Analista: AR

Gestión de Servicios, S.A  
Laboratorio de Control de Calidad  
CONCALIDAD  
Vista Hermosa III, 1er. Nivel Edificio TEC LANDIVAR  
Campus Central URL Zona 16  
Guatemala, Guatemala

NOTAS:

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).

**Figura 25: Resultados CONCALIDAD, análisis Físicoquímico Gualán, Zacapa**



Vista Hermosa III Zona 16 1er Nivel Edificio TEC LANDIVAR Campus URL  
Telefax 2426-2594

**Resultados de Análisis Físicoquímico**

Parámetros (Dimensional)	Resultados	**LMA	**LMP
Conductividad (µs/cm)	254	750	1,500
Sol. Disueltos totales (mg/L)	121.87	500	1,000
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.90	***	***
pH ( U )	7.13	7.0-7.5	6.5-8.5
Alcalinidad (mg/L)	100	***	***
Turbidez (NTU)	202	5	150
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	127	100	500
Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	3.5	***	50
Sulfatos* (mg/L SO <sub>4</sub> -2)	40	100	250
Magnesio (mg/L Mg)	1.12	50	100
Calcio(mg/L Ca)	0	75	150
Cloruro* (mg/L)	9.22	100	250
DBO	6	***	***
DQO	12	***	***

**Abreviaturas:** mg/ L : miligramos por un litro, U Pt-Co: unidades Platino- Cobalto, µS/cm: micro Siemens por centímetro. LMA: Limite Máximo Aceptable; LMP: Limite Máximo Permisible.

**\*\*Referencia:** COGUANOR NGO 29- 001 AGUA POTABLE. Especificaciones.

**\*\*\* No hay valor específico para este parámetro en la norma citada.**

**Metodología:** Métodos HACH, HACH COMPANY, para Análisis de Aguas. 2da. Edición. Conductividad/Sólidos Disueltos Totales<Electrolítica HACH>, pH<Potenciométrica ME-FQ-06-006>, Turbiedad <Turbidimeter HACH 2100P >, Alcalinidad <Titrimétrico 4491-DR-WAT> Sulfatos< HACH 8051> Calcio <HACH 8030> Sodio<Titrimétrico ME-FQ-04-014> Cloruro<Titrimétrico ME-FQ-04-004>

Analista: LA, AN

Gestión de Servicios, S.A  
Laboratorio de Control de Calidad  
CONCALIDAD  
Vista Hermosa III, 1er. Nivel Edificio TEC LANDÍVAR  
Campus Central URL Zona 16  
Guatemala, Guatemala

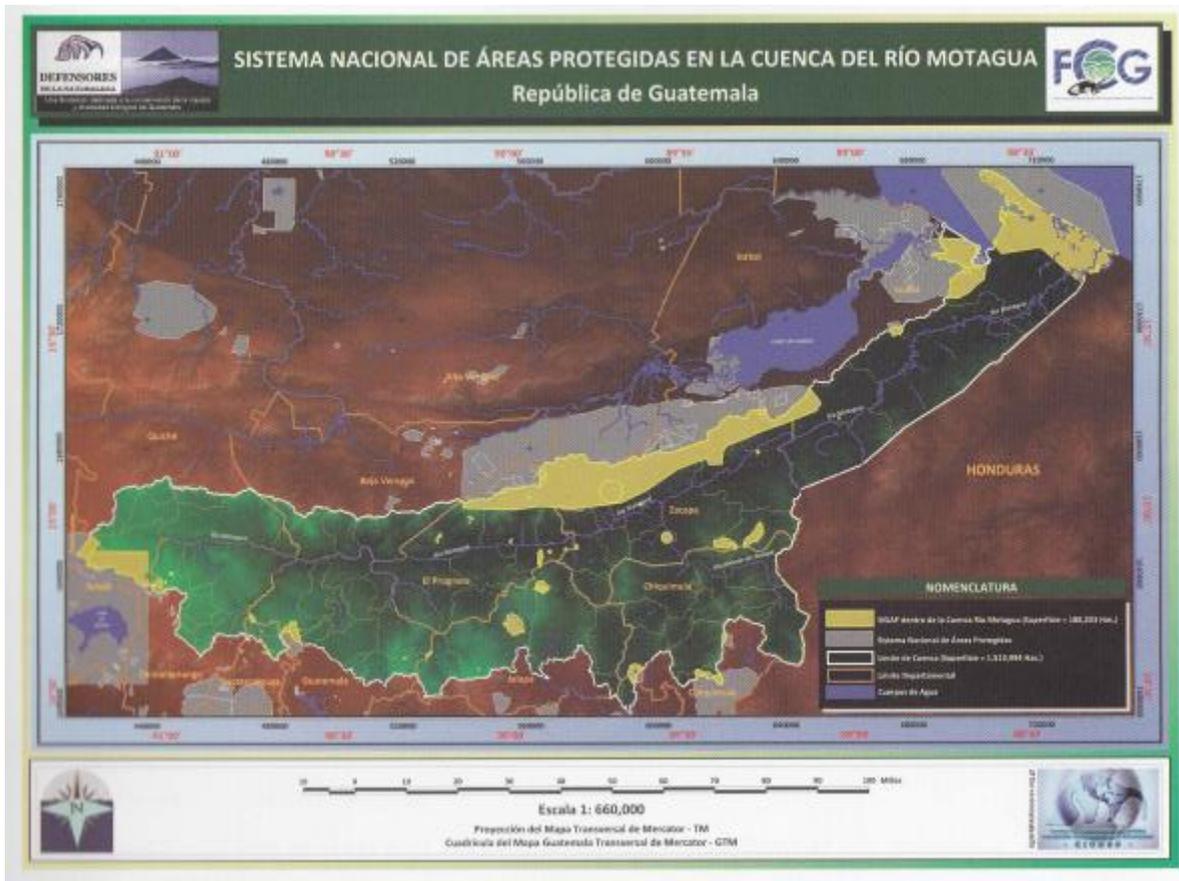
Supervisado por:

Inga. Isis López  
Colegiado No.1222  
Gerente de Laboratorio

**NOTAS:**

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

Fuente: Elaboración Propia (Díaz, 2014).



**Figura 26: Mapa de las Áreas Protegidas identificadas dentro de la cuenca del Río Motagua**

Fuente: (FCG, 2012).