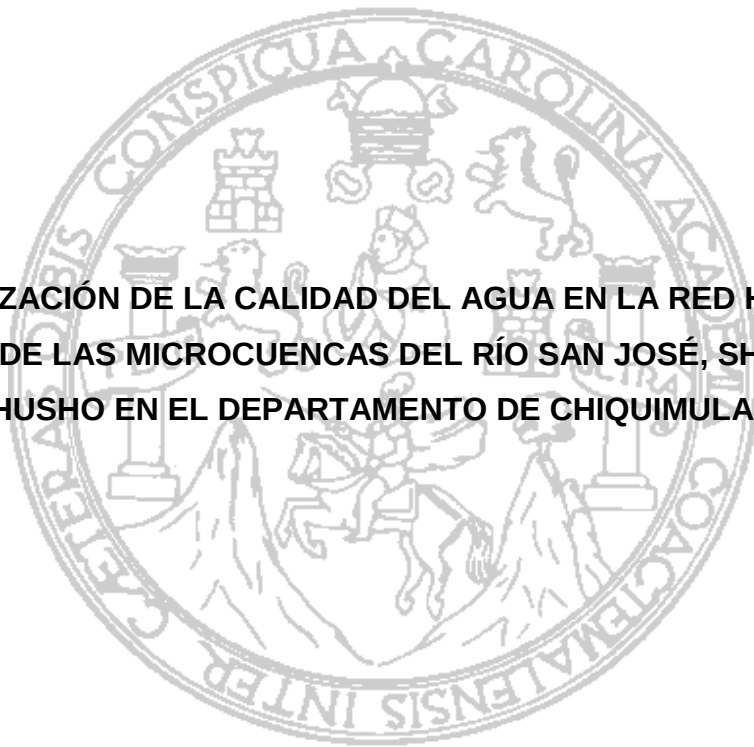


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA  
SUPERFICIAL DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO SAN JOSÉ, SHUTIQUE, TACÓ  
Y SHUSHO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2015.**



**JENNIFER NATALY KING CALDERÓN**

**GUATEMALA, CHIQUIMULA, NOVIEMBRE DE 2017**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

**CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLOGICA  
SUPERFICIAL DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO SAN JOSÉ, SHUTAQUE, TACÓ  
Y SHUSHO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2015.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo**

**Por**

**JENNIFER NATALY KING CALDERÓN**

**Al conferírsele el título de**

**INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

**En el grado académico de**

**LICENCIADA**

**CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



**RECTOR**

**Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO**

**CONSEJO DIRECTIVO**

|                               |                                          |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| Presidente:                   | MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera      |
| Representante de Profesores:  | MSc. José Leonidas Ortega Alvarado       |
| Representante de Profesores:  | Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez |
| Representante de Graduados:   | Lic. Zoot. Oscar Augusto Guevara Paz     |
| Representante de Estudiantes: | P.C. Diana Laura Guzmán Moscoso          |
| Representante de Estudiantes: | M.E.P. José Roberto Martínez Lemus       |
| Secretaria:                   | Licda. Marjorie Azucena González Cardona |

**AUTORIDADES ACADÉMICAS**

|                         |                                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Coordinador Académico:  | Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón |
| Coordinador de Carrera: | MSc. José Ramiro García Alvarez      |

**ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| Presidente: | MSc. José Ramiro García Alvarez  |
| Secretaria: | M.A. Sandra Jeannette Prado Díaz |
| Vocal:      | MSc. Fredy Samuel Coronado López |

**TERNA EVALUADORA**

Licda. Zoot. Vilma Leticia Ramos López  
M.A. Hugo David Cordón y Cordón  
Ing. Civil Edwin Adalberto Lemus Pazos

Chiquimula noviembre de 2017

Señores

Consejo Directivo

Centro Universitario de Oriente

Ciudad de Chiquimula

Honorables miembros

De conformidad con las normas establecidas por la ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO SAN JOSÉ, SHUTAUQUE, TACÓ Y SHUSHO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2015**. Como requisito previo a optar el título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios de aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

Jennifer Nataly King Calderón

REF- JRGA-GAL-03-2017  
Chiquimula, Noviembre de 2017.

**MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera**  
**Director CUNORI**  
**Chiquimula, Ciudad**

Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante **Jennifer Nataly King Calderón** en el trabajo de investigación denominado **"CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LAS MICROCUENCAS DEL RIO SAN JOSÉ, SHUTAUQUÉ, TACÓ Y SHUSHO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2015"**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



**MSc. José Ramiro García Álvarez**  
**Asesor**

**D-TG-AT-150/2017**

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **JENNIFER NATALY KING CALDERÓN** titulado **"CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE LAS MICROCUENCAS DEL RÍO SAN JOSÉ, SHUTIQUE, TACÓ Y SHUSHO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2015"**, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación a Nivel de Licenciatura**, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a catorce de noviembre de dos mil diecisiete.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera  
**DIRECTOR**  
**CUNORI - USAC**



## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS**

Por concederme la vida y ser mi guía, por su inmenso amor, comprensión y apoyo en todo momento, ya que sin Él no hubiese logrado cumplir esta meta.

### **A MI MADRE**

Vilma Judith Calderón Ortiz, por ser un ejemplo a seguir en mi vida, por su apoyo incondicional, paciencia, enseñanzas y amor sin igual. Eres mi todo, te amo.

### **A MIS HERMANITOS**

Josué y Perlita, gracias por apoyarme y acompañarme en cada etapa de mi vida, por colmarme de alegrías desde el día que llegaron al mundo. Los amo.

### **A MI ABUELITA**

Perlita, por su amor incondicional, sus oraciones y sabios consejos en cada etapa de mi vida, sobre todo por estar aquí conmigo en un día tan especial como hoy. Te amo mamita.

### **A MIS TÍOS**

Por su cariño incondicional y por ser un ejemplo de superación, motivándome a alcanzar mis metas, especialmente a un ángel que siempre creyó en mí y sé que desde el cielo estará muy feliz por este triunfo.

### **A MIS PRIMOS**

Por cada momento compartido a lo largo de nuestras vidas, son de los recuerdos que más atesoro. Los quiero.

### **A MI MEJOR AMIGA**

Noelia Monroy, por estar conmigo incondicionalmente y por apoyarme en todo momento.

**A MIS AMIGOS**

Gracias por permitirme disfrutar de su amistad sincera y leal, especialmente: Cecibel Cerón, Vivian Elías, Nereyda Trabanino, Ronaldo Camey, Nancy Valenzuela, Adriana Pérez, Verenice Guerra, Sindy Flores, Marielos Monterroso, Flavio Monasterio y Gabriel Solis.

**A UNA PERSONA ESPECIAL**

Por su cariño y apoyo durante este tiempo compartido, estando a mi lado y motivándome en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS ESPECIALES**

### **AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE –CUNORI-**

Por abrirme las puertas y haberme brindado la oportunidad de adquirir los conocimientos y herramientas necesarias para mi formación profesional.

### **A MIS CATEDRÁTICOS**

Por transmitirme sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional. Gracias

### **A MIS ASESORES**

Ing. Ramiro García y Lic. Abner Rodas por su ayuda, tiempo invertido y orientación brindada a lo largo de la investigación.

### **A LA LICDA. VILMA RAMOS**

Por guiarme y apoyarme incondicionalmente en la realización de mi fase de campo, su ayuda fue clave para la culminación del presente trabajo de investigación. Mi más sincero agradecimiento.

### **A LA INGA. CECIBEL CERON**

Por brindarme el privilegio de adquirir los conocimientos necesarios para la realización de mi investigación.

### **A MIS EVALUADORES**

Por sus aportes y sugerencias constructivas que me orientaron para enriquecer la información presentada.

### **A LOS PRESENTES**

Por su importante compañía en el día de hoy, día en el que cumpla una de mis metas anheladas.

## ÍNDICE GENERAL

| Contenido                                                                   | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
| ÍNDICE GENERAL                                                              | i      |
| ÍNDICE DE CUADROS                                                           | iv     |
| ÍNDICE DE GRÁFICAS                                                          | vii    |
| ÍNDICE DE FIGURAS                                                           | ix     |
| RESUMEN                                                                     | 1      |
| INTRODUCCION                                                                | 3      |
| 2. ANTECEDENTES                                                             | 5      |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                               | 7      |
| 4. JUSTIFICACION                                                            | 9      |
| 5. OBJETIVOS                                                                | 11     |
| 5.1 General                                                                 | 11     |
| 5.2 Específicos                                                             | 11     |
| 6. MARCO TEÓRICO                                                            | 12     |
| 6.1 Calidad del agua                                                        | 12     |
| 6.2 Contaminación del agua                                                  | 12     |
| 6.3 Principales contaminantes del agua                                      | 13     |
| 6.4 Contaminación de agua según la Organización Mundial de la Salud –OMS-   | 15     |
| 6.5 Efectos de la contaminación del agua en la salud                        | 15     |
| 6.6 Características del agua                                                | 16     |
| 6.6.1 Características físicas                                               | 16     |
| 6.6.2 Características químicas                                              | 17     |
| 6.6.3 Características microbiológicas                                       | 20     |
| 6.7 Metales pesados en el agua                                              | 21     |
| 6.7.1 Bioacumulación de metales pesados                                     | 21     |
| 6.7.2 Plata (Ag)                                                            | 22     |
| 6.7.3 Plomo (Pb)                                                            | 23     |
| 6.7.4 Arsénico (As)                                                         | 25     |
| 6.8 Índice de Calidad de Agua -ICA-                                         | 26     |
| 6.9 Diferentes usos del agua de acuerdo al Índice de Calidad del Agua -ICA- | 28     |
| 7. MARCO REFERENCIAL                                                        | 31     |
| 7.1 Departamento de Chiquimula                                              | 31     |

|       |                                                                                                                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2   | Red hidrológica de la ciudad de Chiquimula                                                                                                                       | 31 |
| 7.3   | Localización de área de estudios                                                                                                                                 | 32 |
| 7.4   | Características biofísicas del área de estudio                                                                                                                   | 33 |
| 7.5.  | Investigaciones relacionadas con el tema                                                                                                                         | 36 |
| 7.5.1 | Línea base para la determinación de arsénico en el agua de pozo de la ciudad de Chiquimula.                                                                      | 36 |
| 7.5.2 | Determinación y evaluación de la calidad del agua en las zonas de recarga hídrica.                                                                               | 36 |
| 7.5.3 | Caracterizar las aguas residuales de los drenajes de mayor descarga en el río San José, municipio de Chiquimula.                                                 | 37 |
| 8.    | MARCO METODOLÓGICO                                                                                                                                               | 38 |
| 8.1   | Área de estudio                                                                                                                                                  | 38 |
| 8.2   | Establecer los puntos de muestreo de la red hidrológica superficial                                                                                              | 38 |
| 8.3   | Técnica de recolección de datos y muestreo en la red hidrológica superficial                                                                                     | 39 |
| 8.4   | Toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados:                                                                        | 40 |
| 8.5   | Técnica de preservación de las muestras                                                                                                                          | 40 |
| 8.6   | Técnica de transporte de las muestras                                                                                                                            | 40 |
| 8.7   | Parámetros evaluados                                                                                                                                             | 41 |
| 8.7.1 | Determinación de parámetros a nivel de campo                                                                                                                     | 41 |
| 8.7.2 | Determinación de parámetros a nivel de laboratorio                                                                                                               | 41 |
| 8.8   | Método de análisis para los parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos de la calidad del agua                                               | 42 |
| 8.9   | Estimación del Índice de Calidad del Agua (ICA).                                                                                                                 | 42 |
| 8.10  | Estrategias para el manejo integral del recurso hídrico                                                                                                          | 48 |
| 8.11  | Análisis de la información                                                                                                                                       | 48 |
| 8.12  | Período de estudio                                                                                                                                               | 49 |
| 9.    | RESULTADOS Y DISCUSION                                                                                                                                           | 50 |
| 9.1   | Puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula. | 50 |
| 9.2.  | Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.                            | 54 |
| 9.2.1 | Temperatura del agua                                                                                                                                             | 54 |
| 9.2.2 | Potencial de hidrógeno                                                                                                                                           | 57 |
| 9.2.3 | Conductividad eléctrica                                                                                                                                          | 60 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2.4 Dureza                                                                                                      | 63  |
| 9.2.5 Nitratos ( $\text{NO}_3$ )                                                                                  | 67  |
| 9.2.6 Oxígeno disuelto                                                                                            | 70  |
| 9.2.7 Demanda Biológica de Oxígeno DBO5                                                                           | 73  |
| 9.2.8 Turbidez (NTU)                                                                                              | 76  |
| 9.2.9 Solidos totales                                                                                             | 79  |
| 9.2.10 Nitritos $\text{NO}_2$                                                                                     | 82  |
| 9.2.11 Fosfatos $\text{PO}_4$                                                                                     | 85  |
| 9.2.13 Parámetros microbiológicos                                                                                 | 88  |
| 9.2.14 Metales pesados                                                                                            | 94  |
| a. Plata Ag                                                                                                       | 94  |
| b. Plomo Pb                                                                                                       | 97  |
| c. Arsénico As                                                                                                    | 100 |
| 9.3 Índice de Calidad del Agua (ICA) en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho. | 102 |
| 9.4 Calidad del agua en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.                 | 104 |
| 9.4.1 Calidad del agua según los criterios generales de uso                                                       | 106 |
| 9.5 Lineamientos generales para la protección del recurso hídrico                                                 | 109 |
| CONCLUSIONES                                                                                                      | 111 |
| RECOMENDACIONES                                                                                                   | 113 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                                                                        | 114 |
| ANEXOS                                                                                                            | 118 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                    | <b>Página</b> |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1             | Clasificación del ICA propuesta de Brown.                                                                                                                                                           | 27            |
| 2             | Criterios generales según el Índice de Calidad de Agua –ICA-.                                                                                                                                       | 30            |
| 3             | Nombres comunes y científicos de flora del Departamento de Chiquimula.                                                                                                                              | 34            |
| 4             | Nombres comunes y científicos de fauna del departamento de Chiquimula.                                                                                                                              | 35            |
| 5             | Nombres comunes y científicos de fauna aviar del departamento de Chiquimula.                                                                                                                        | 35            |
| 6             | Parámetros fisicoquímicos del agua en drenajes del área urbana de Chiquimula y río Tacó, 2006.                                                                                                      | 37            |
| 7             | Peso relativo para cada parámetro del -ICA-.                                                                                                                                                        | 43            |
| 8             | Solubilidad de oxígeno en agua dulce.                                                                                                                                                               | 45            |
| 9             | Cálculo del Índice de Calidad de Agua.                                                                                                                                                              | 46            |
| 10            | Clasificación de la “ICA” propuesta por Brown (1970).                                                                                                                                               | 46            |
| 11            | Coordenadas geográficas de los puntos de control, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                | 51            |
| 12            | Resultado de temperatura en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                | 55            |
| 13            | Resultado de potencial de hidrogeno pH, en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015. | 58            |
| 14            | Resultado de conductividad eléctrica, en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.   | 61            |

| <b>Cuadro</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>Página</b> |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 15            | Resultado de dureza, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                        | 64            |
| 16            | Clasificación de la dureza del agua según la OMS.                                                                                                                                                                    | 65            |
| 17            | Resultado de Nitratos en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                      | 68            |
| 18            | Resultado de oxígeno disuelto en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                              | 71            |
| 19            | Resultado de demanda biológica de oxígeno DBO <sub>5</sub> en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015. | 74            |
| 20            | Resultado de turbidez en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                      | 77            |
| 21            | Resultado de sólidos totales, en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                              | 80            |
| 22            | Resultado de nitritos, en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                     | 83            |
| 23            | Resultado de fosfatos, en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                     | 86            |
| 24            | Resultado de coliformes totales en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                            | 89            |

| <b>Cuadro</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                          | <b>Página</b> |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 25            | Resultado de coliformes fecales en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015. | 92            |
| 26            | Resultado de plata en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.              | 95            |
| 27            | Resultado de plomo en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.              | 98            |
| 28            | Resultado de arsénico en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.        | 101           |
| 29            | Índice de Calidad de Agua en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.    | 103           |
| 30            | Comparación del Índice de Calidad de Agua en los ríos San José, Shutaque, Tacó y Shusho, en los años 2010 y 2015.                                                                         | 104           |
| 31            | Calidad del agua, en la red hidrológica superficial del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                                                          | 105           |
| 32            | Calidad del agua según criterios generales de uso, en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                     | 107           |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

| <b>Gráfica</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                | <b>Página</b> |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1              | Valores promedio de temperatura en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                                   | 56            |
| 2              | Valores promedio de potencial de hidrógeno en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                        | 59            |
| 3              | Valores promedio de conductividad eléctrica en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                       | 62            |
| 4              | Valores promedio de dureza en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                                        | 66            |
| 5              | Valores promedio de los niveles de Nitratos en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                       | 69            |
| 6              | Valores promedio de oxígeno disuelto en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                              | 72            |
| 7              | Valores promedio de demanda biológica de oxígeno DBO <sub>5</sub> en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015. | 75            |
| 8              | Valores promedio de turbidez en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                                      | 78            |
| 9              | Valores promedio de los de sólidos totales en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.                        | 81            |

| <b>Gráfica</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                      | <b>Página</b> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 10             | Valores promedio de Nitritos en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.            | 84            |
| 11             | Valores promedio de fosfatos en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.            | 87            |
| 13             | Valores promedio de coliformes totales, en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015. | 90            |
| 14             | Valores promedio de coliformes fecales, en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015. | 93            |
| 15             | Valores promedio de plata en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.               | 96            |
| 16             | Valores promedio de plomo en los puntos de control establecidos en las microcuencas de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.               | 99            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                                        | <b>Página</b> |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1             | Mapa de ubicación de los puntos de descarga de aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, 2015.                                                                                    | 32            |
| 2             | Valoración de la calidad de agua en función de coliformes fecales.                                                                                                                                                      | 47            |
| 3             | Valoración de la calidad de agua en función de pH.                                                                                                                                                                      | 47            |
| 4             | Valoración de la calidad de agua en función de la DBO <sub>5</sub> .                                                                                                                                                    | 47            |
| 5             | Valoración de la calidad de agua en función del nitrato.                                                                                                                                                                | 47            |
| 6             | Valoración de la calidad de agua en función del fósforo.                                                                                                                                                                | 48            |
| 7             | Valoración de la calidad de agua en función de la temperatura.                                                                                                                                                          | 48            |
| 8             | Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez.                                                                                                                                                             | 48            |
| 9             | Valoración de la calidad de agua en función de los sólidos disueltos.                                                                                                                                                   | 48            |
| 10            | Valoración de la calidad de agua en función del % de saturación.                                                                                                                                                        | 48            |
| 11            | Ubicación de los puntos de control en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.                                                                   | 52            |
| 12            | Uso de suelo en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho en jurisdicción de la cabecera municipal de Chiquimula, San Jacinto y San José la Arada, 2015. | 53            |

## RESUMEN

La ciudad de Chiquimula se encuentra asentada en suelo aluvional en el que predominan características arenosas y enriquecidas por sales minerales, lo que facilita la infiltración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos procedentes de las aguas residuales; la ciudad es atravesada por cuatro ríos; el Río Tacó, Shusho, Shutaque y San José en los cuales se descargan aguas residuales por lo que contaminan toda la red hidrológica superficial.

La investigación se llevó a cabo en la red hidrológica superficial de las microcuencas del Río San José, Shutaque, Tacó y Shusho con el objetivo de establecer el Índice de Calidad de Agua, determinar la concentración de metales pesados (plata, plomo y arsénico) y proponer estrategias para el manejo del recurso hídrico de la ciudad de Chiquimula.

Para el desarrollo de la investigación, se establecieron 18 puntos de control sobre el cauce de los cuatro ríos, ubicando 4 puntos en el río Shutaque, 6 en el río San José, 4 en el río Tacó y 4 en el río Shusho, con el fin de obtener datos representativos de la parte alta, media y baja de las microcuencas.

Se analizaron 9 parámetros, de acuerdo al Índice de Calidad de Agua propuesto y metales pesados, en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente – CUNORI-, realizando 4 monitoreos cada 3 meses, iniciando en enero y finalizando en octubre del 2015.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que los parámetros de dureza, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, coliformes fecales y totales se encuentran en los niveles superiores al límite máximo permisible en la totalidad de los puntos de control establecidos en los cuatro ríos monitoreados, establecidos por la OMS y la norma COGUANOR.

Respecto a la determinación de metales pesados se pudo identificar la presencia de plomo en cinco puntos de control en los ríos San José, Tacó, Shutaque, y Shusho en niveles de 0.0108 mg/l y 0.0448 mg/l; de plata se encontraron promedios de 0.0068 mg/l

y 0.0113 mg/l los cuales no superan el límite máximo permisible; en el caso de arsénico en un punto de control en el Río San José con una concentración de 0.2390 mg/l siendo superior al límite máximo permisible (0.01 mg/l) establecido por la norma COGUANOR y la OMS.

Por lo expuesto, se concluye que el agua de la red hidrológica superficial de Chiquimula no es apta para consumo humano, el Índice de Calidad del Agua –ICA- se identificó que la calidad del agua en los ríos San José, Shutaque, Shusho y Tacó es “Mala” de acuerdo a la calificación general que establece la Norma COGUANOR y la OMS; por lo tanto, tiene efectos negativos en la salud del consumidor.

## INTRODUCCION

El departamento de Chiquimula se encuentra localizado al nor-oriente de Guatemala, se considera parte del corredor seco del país, por la escasa lluvia y monte espinoso que caracterizan a este municipio.

De acuerdo con la proyección del Instituto Nacional de Estadística INE (2008), para el año 2017 la población se estima en 104,525 habitantes; los cuales generan cantidades significativas de desechos sólidos y líquidos.

El río Tacó está ubicado en dirección norte, río Shusho dirección sur, río Shutaque dirección oeste y río San José dirección al Este, en los cuales se descargan aguas residuales, por lo que contaminan toda la red hidrológica superficial. El río Tacó, San José, y Shusho son afectados directamente por las aguas residuales y desechos sólidos de la ciudad de Chiquimula; el río Shutaque es influenciado por la contaminación del municipio de San Jacinto.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuenca del río San José, Tacó, Shusho y Shutaque, con el fin de proponer estrategias del manejo del recurso hídrico, y determinación de concentraciones de metales pesados.

La investigación se llevó a cabo por espacio de 12 meses, iniciando en enero y finalizando en octubre de 2015.

De acuerdo a los resultados, se determinó que los parámetros dureza, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, coliformes fecales y totales se encuentran en niveles superiores al límite máximo permisible (LMP); en los puntos de control establecidos en los cuatro ríos. Los metales pesados, plomo se encontró en cinco puntos de control de los ríos San José, Tacó, Shutaque, y Shusho en niveles de 0.0108 mg/l y 0.0448 mg/l; plata se encontró en promedios de 0.0068 mg/l y 0.0113 mg/l los cuales no superan el límite máximo permisible(LMP); el arsénico se encontró en un punto de control de río San José en

concentración de 0.2390 mg/l siendo superior al límite máximo permisible (0.01 mg/l establecido por la norma COGUANOR y la OMS).

Se concluye que el agua de la red hidrológica superficial de los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque, no es apta para consumo humano sin previo tratamiento principalmente por la presencia de bacterias coliformes fecales y totales; así mismo el Índice de Calidad del Agua –ICA- indica que la calidad del agua en los cuatro ríos es “Mala” de acuerdo a la calificación general propuesta por Brown (1970).

## **2. ANTECEDENTES**

Según investigaciones realizadas en el departamento de Chiquimula, el agua de las principales fuentes que conforman la red hidrológica (río Shusho, río Shutaque, río Sasmo y río San José); se encuentra contaminada por diversas causas, resaltando las descargas de aguas servidas, sin ningún tipo de tratamiento sobre los cuerpos hídricos.

En el año 2009 se realizó un estudio con el propósito de conocer la calidad del agua en los pozos ubicados en el municipio de Chiquimula, del cual se determinó que se encuentran contaminados por aguas servidas, lo cual la hace no apta para consumo humano. Recomendado la implementación de medidas sanitarias medio ambientales que disminuyan el impacto de la contaminación del manto freático (Rodas, 2010).

Para el año 2010 se desarrolló un estudio sobre la contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, del cual se determinaron los valores de los parámetros del Índice de Calidad de Agua en la corriente superficial de los ríos de los cuales reflejan la contaminación descargada por aguas residuales, en dicho estudio se determinó que el río más contaminado es el río Tacó, debido a que tiene un mayor número de puntos de descargas de aguas servidas a lo largo del río al pasar por Chiquimula (García, 2010).

Cabe mencionar que la secretaria de Planificación de la presidencia realizó una investigación sobre un perfil socioeconómico y ambiental del departamento de Chiquimula, para conocer los indicadores y variables socioeconómicas del departamento de Chiquimula. Para el efecto se destaca la importancia que para dicha temática tienen los cuerpos hídricos locales, entre estos: Río grande u Ostúa en el municipio de Concepción Las Minas e Ipala; Río Las Minas, Río Anguiatú en el municipio de Concepción Las Minas; Río Chanmagua, Río San Juan, Río Atulapa, en el municipio de Esquipulas; Río Olopa entre el municipio de Olopa y Esquipulas, Río Tituque en el municipio de Olopa; Río Jupilingo que abarca Camotán y Chiquimula; Río La Conquista, Tutunico, Santa Cruz, en el municipio de

Quezaltepeque; El departamento de Chiquimula forma parte de cuatro cuencas, la del Río Grande de Zacapa y la del Motagua, las cuales pertenecen a la vertiente del Atlántico y las que mayor extensión del departamento cubre, la cuenca del Río Olopa y Río Ostúa que drenan por la vertiente del Pacífico y ocupan una pequeña extensión del departamento.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ciudad de Chiquimula se encuentra asentada en suelo aluvional en el que predominan características arenosas y enriquecimiento de sales minerales. Lo cual facilita la infiltración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos procedentes de las descargas de aguas servidas hacia los ríos de la red hidrológica superficial, los cuales se infiltran hacia el manto freático de los acuíferos, contaminando así los pozos que se encuentran en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula.

Los ríos Tacó, Shusho, Shutaque y San José que se conducen por el municipio de Chiquimula, son utilizados como drenajes de aguas servidas provenientes de las actividades antropogénicas que se desarrollan dentro de la ciudad, distribuyendo los contaminantes productos de dichas actividades.

El desconocimiento de la población sobre los procesos de contaminación del recurso hídrico y sus consecuencias sobre el deterioro de la calidad del agua, lo cual a su vez tiene efectos negativos en la flora y fauna; estas fuentes de contaminación pueden ser ya sea de origen antropogénicas (aguas servidas, basureros no autorizados, agroquímicos) o geológico (metales presentes en minerales), dichos contaminantes pueden presentar problemas a la salud de los consumidores de agua de río, ya que al no tomar las medidas de precaución para el consumo del agua ya sea para uso doméstico o humano; así mismo, no toman las medidas necesarias para el vertimiento de sus desechos.

Las aguas servidas de Chiquimula son producidas por las viviendas de la ciudad de Chiquimula, ya que estas aguas son vertidas directamente sin ningún tratamiento hacia la red hidrológica superficial por medio del sistema de drenajes conectados a los Ríos Tacó, San José, Shutaque y Shusho, contaminando así las corrientes de agua superficiales y subterráneas de la ciudad; provocando un impacto negativo al recurso hídrico y el deterioro hacia el medio ambiente.

En el año 2010, García; determino la calidad del agua en la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, en donde concluyo que los valores de los parámetros del Índice de Calidad de Agua en la corriente superficial de los ríos al pasar por la ciudad de Chiquimula, muestran niveles que reflejan la contaminación provocada por la descarga de aguas servidas de forma directa sobre las corrientes de agua.

Es de importancia mencionar que la ciudad de Chiquimula se encuentra catalogada como una ciudad de segundo orden, teniendo una tendencia hacia el crecimiento, como se evidencia en la proyección realizada en el año 2008 por el Instituto Nacional de Estadística -INE-, en donde se estima para el año 2009 la población seria de 90,401 habitantes y para el año 2017 de 104,525 habitantes, dicho aumento implica una mayor presión sobre el recurso hídrico para satisfacer las necesidades básicas, las cuales generan contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales son descargados a la red hidrológica; dicha demanda es satisfecha por el servicio municipal, la cual toma el agua del río Tacó siendo este el principal de la red hidrológica, causando la disminución del caudal.

Por lo tanto, el objetivo de la investigación se centró en determinar la calidad del agua de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula para el año 2015 y establecer las concentraciones de metales pesados (plata, plomo y arsénico), tomando en cuenta el crecimiento poblacional, lo cual implica una mayor degradación de la red superficial.

#### 4. JUSTIFICACION

Chiquimula, al igual que muchas ciudades del país, ha incrementado su población con el paso de los años lo cual ha incidido en el aumento de actividades comerciales y prestación de servicios desarrollados, lo cual ha derivado en un acrecentamiento en el vertido de desechos sólidos y líquidos; lo cual implica el aumento en la demandan de agua para satisfacer las necesidades para desarrollar los servicios mencionados.

La importancia en desarrollar la presente investigación, la cual consiste en la evaluación de la calidad del agua de la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, río Tacó, río Shutaque, río Shusho del departamento de Chiquimula, radica en resolver el problema identificado, ya que la investigación realizada por García (2010) en el 2010, en la cual se determinó la calidad del agua de la red hidrológica; con la presente investigación se brindará la información actualizada sobre la calidad del agua de la red hidrológica ya mencionada; tomando en cuenta el crecimiento poblacional, se evidenciará el deterioro de la calidad del agua por efecto del aumento de las actividades antropogénicas.

Cabe mencionar que el agua servida de la ciudad de Chiquimula presenta en su mayoría contaminantes nitrogenados procedentes de heces fecales y orina; así también fosfatos producto de los detergentes, jabones; y bacterias en las que se encuentra la *Escherichia coli* y *Vibrio cholerae*. En áreas donde los ríos hacen su recorrido, las aguas servidas están presentes, aportando el olor desagradable característico de este tipo de contaminación. Sin embargo, las partículas de las aguas residuales son capaces de dispersarse en el aire, y la inhalación de estas provoca efectos adversos para la salud, tales como malestar gastrointestinal, diarrea, náuseas y vómitos. Representan la mayor amenaza para la salud pública cuando estas son vertidas a la red hidrológica superficial, donde se diluyen y se extienden mucho más allá de donde se originaron.

Los resultados obtenidos son de gran valor, ya que se proporcionara la interpretación de la distribución de los metales pesados en la red hidrológica, que en el proyecto/FODECYT 60-2012, se determinó y evaluó la calidad del agua de las zonas de recarga hídrica del

municipio de Chiquimula, en donde se concluyó que en las fuentes de agua, las concentraciones de metales pesados (plata, plomo y arsénico) se encuentran arriba del valor recomendado por la Organización Mundial de Salud –OMS-; además de brindar información actualizada de la influencia de las descarga domiciliarias en los ríos, los cuales a su vez tienen influencia en la calidad de agua de la de red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, siendo utilizados para el uso doméstico, consumo humano y servicios.

Los metales pesados son elementos que causan serios daños al medio ambiente y sobre todo a la salud humana, la bioacumulación y biomagnificación; el agua contaminada es utilizada para riego de cultivos de la cual se alimentan los animales, luego los humanos se alimentan de ellos obteniendo los humanos las concentraciones toxicas y/o letales, en este proceso va aumentando cada vez más las concentraciones de metales.

Además, se reportan en la memoria de laborales del Ministerio de Salud Pública para el año 2013, 17 muertes por diferentes tipos de cáncer los cuales pueden estar asociados a la presencia de plomo.

La información obtenida sirve de base para la toma de decisiones respecto a la calidad del agua de los ríos, también son de utilidad para instituciones interesadas en el tema del recurso hídrico, por ejemplo: el CUNORI, para aportar a las futuras investigaciones, para las carreras de Gestión Ambiental Local, Agronomía y Zootecnia, también para el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, es una herramienta para el diseño de medidas de mitigación para evitar que sigan proliferándose enfermedades, generadas por el consumo de agua contaminada; será útil para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, ASORECH y otras instituciones gubernamentales relacionadas con el tema del agua.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Tacó, Shusho y Shutaque en el departamento de Chiquimula para proponer estrategias de manejo del recurso hídrico.

### **5.2 Específicos**

- Determinar el índice de calidad de agua y la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Tacó, Shusho y Shutaque en el departamento de Chiquimula.
- Determinar las concentraciones de metales pesados (plata, plomo y arsénico) en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Tacó, Shusho y Shutaque en el departamento de Chiquimula.
- Proponer estrategias para el manejo del recurso hídrico que permita mejorar la calidad de agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Tacó, Shusho y Shutaque en el departamento de Chiquimula.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1 Calidad del agua**

Según Lemus (2013) el concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño, sin embargo, dependiendo del uso que se requieran para el agua, así se puede determinar la calidad para diferentes usos. Cuando nos referimos a calidad del agua se basa a las condiciones en que se encuentra, respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

En Guatemala existe una norma para agua potable, establecida por la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR; donde se establecen límites máximos aceptables y permisibles para los compuestos químicos, características sensoriales y microbiológicas, para la calidad del agua de consumo humano, la cual puede provenir de fuentes superficiales o subterráneas y por lo general debe ser tratada para eliminar cualquier contaminación (Lemus, 2013).

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial por el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial, agrícola y la amenaza del cambio climático, como causas de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (Lemus, 2013).

### **6.2 Contaminación del agua**

La contaminación del recurso hídrico es la incorporación de elementos extraños como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas servidas, agropecuario o bien industrial; estas materias deterioran la calidad del agua, la hacen inútil para los usos pretendidos y causa efectos dañinos a la flora, fauna y a la salud humana (Casasola, 2014).

Otro ejemplo de contaminación se da cuando el agua al caer con la lluvia por enfriamiento de las nubes arrastra impurezas del aire, al circular por la superficie o a nivel de capas profundas, se le añaden otros contaminantes químicos, físicos o biológicos, siendo esta

contaminación de origen natural, lo cual se agrava al existir otra muy notable de procedencia humana, por actividades agrícolas, ganaderas o industriales, que hace sobrepasar la capacidad de autodepuración de la naturaleza (Casasola, 2014).

Con frecuencia el sabor, el olor y aspecto del agua indican que está contaminada, o alterada en sus propiedades, pero la presencia de contaminantes peligrosos sólo se puede detectar mediante pruebas químicas y biológicas en laboratorios (Casasola, 2014).

### **6.3 Principales contaminantes del agua**

Existe un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una forma es el como se muestra a continuación:

**6.3.1 Agentes patógenos:** son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, entre otros. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un índice para medir la salubridad de las aguas, es el número de bacterias coliformes presentes. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que el agua para consumo humano tenga 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua (OMS, 2006).

**6.3.2 Desechos orgánicos:** son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos y animales, Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias que demandan oxígeno para biodegradarse (aeróbicas). Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y no permite la vida de peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Los índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son el oxígeno disuelto, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), (OMS, 2006).

- 6.3.3 Sustancias químicas inorgánicas:** en este grupo se incluyen los ácidos, sales y metales tóxicos (mercurio, plomo), los cuales afectan la calidad del agua. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos y afectar el rendimiento agrícolas (OMS, 2006).
- 6.3.4 Sustancias químicas orgánicas:** en este grupo se incluye el petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes que permanecen largos períodos de tiempo, lo cual constituya una amenaza para la vida acuática (OMS, 2006).
- 6.3.5 Sedimentos y materiales suspendidos:** son partículas de suelo o sólidos que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua; Son en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida, y los sedimentos que se acumulan destruyen sitios de alimentación de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales y ríos (OMS, 2006).
- 6.3.6 Nutrientes vegetales inorgánicos:** nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos, El resultado es agua maloliente e inutilizable (OMS, 2006).
- 6.3.7 Calor:** el agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses disminuyendo la capacidad de contener oxígeno y afecta la vida de organismos (OMS, 2006).

#### **6.4 Contaminación de agua según la Organización Mundial de la Salud –OMS-**

La contaminación del agua es conocida desde la antigüedad, por ello la preocupación de la Organización Mundial para la Salud –OMS-.

El agua constituye el elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida, es difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice. En nuestro planeta el agua cubre el 75% de su superficie; sin embargo, no toda el agua se encuentra en condiciones aptas para el uso agrícola, así como, para el consumo humano. El 97.5% del agua es salada, el 2.5% resultante es agua dulce distribuida en lagos, ríos, arroyos, embalses y agua subterránea (OMS, 2006).

El agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso; sin embargo, no todas las personas disponen de ella, esto sucede por varios motivos, entre los cuales se pueden mencionar: la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre, esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales y económicas (OMS, 2006).

#### **6.5 Efectos de la contaminación del agua en la salud**

La contaminación del agua representa un problema de salud pública, donde los mecanismos de transmisión de enfermedades pueden ser:

**6.5.1 Directos:** por ingestión de agua contaminada, procedente de abastecimientos de grandes poblaciones o de pozos contaminados; en otros casos por contacto cutáneo o mucoso (con fines recreativos, contacto ocupacional o incluso terapéutico) pudiendo originar infecciones locales de la piel o infecciones sistémicas en personas con problemas de inmunodepresión (Casasola, 2014).

**6.5.2 Indirecto:** el agua actúa como vehículo de infecciones, o bien puede transmitirse a través de alimentos contaminados por el riego con aguas residuales. Así mismo, los moluscos acumulan gran cantidad de poli virus y pueden ser ingeridos afectando la salud humana. Finalmente, algunos

insectos que se reproducen en el agua son transmisores de enfermedades como el paludismo o la fiebre amarilla (Casasola, 2014).

Por lo tanto, la mala calidad del agua afecta muchas actividades vitales, los efectos más evidentes del uso de agua de mala calidad se refleja en enfermedades que afectan al ser humano, entre las principales enfermedades que se vinculan directamente con el agua está la de origen digestivo como: diarrea, parasitismo intestinal, cólera, fiebre tifoidea. La mala calidad del agua afecta la salud de los ecosistemas, pues la biodiversidad asociada al agua se ve afectada por la contaminación (Casasola, 2014).

## **6.6 Características del agua**

El agua es uno de los recursos indispensables para el hombre, animales y plantas. Las características del agua que permiten, designarla como, de buena calidad, dependerá del uso al cual se destine.

No existe una definición única de buena calidad del agua, sino que existen distintas exigencias para la calidad en función de los diversos usos del recurso y para cada uno se establecen guías de calidad. Los niveles más exigentes son los del agua para consumo humano y protección vida acuática (Gramajo, 2004).

Los análisis de agua son necesarios para determinar el grado de contaminación presente, los cuales pueden causar daño a la salud del ser humano. Las características más importantes que definen su calidad son:

### **6.6.1 Características físicas**

Son aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos organolépticos; para lo cual, se hace uso de parámetros que permiten tener un juicio aceptado de la calidad del agua, como: turbidez, temperatura y color (Boy, citado por García, 2010).

- a. **Turbidez.** Es una medida de la claridad del agua, el material suspendido disminuye el paso de la luz a través del agua. Materiales suspendidos incluyen partículas de suelo (arcilla, limo y arena), algas, plancton, microbios y otras sustancias. Una alta turbidez aumenta la temperatura del agua debido a que las partículas en suspensión absorben más calor y reduce la concentración de oxígeno disuelto (OD), también reduce la cantidad de luz que penetra en el agua, reduciendo la fotosíntesis y la producción del oxígeno disuelto (Boy, citado por García, 2010).
  
- b. **Color, olor y sabor:** son lo que se denominan propiedades organolépticas o determinables por los sentidos: no suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es indicio que la depuración de un efluente no es correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo por parte del consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura” (Boy, citado por García, 2010).
  
- c. **Temperatura:** influye sobre las actividades biológicas, la solubilidad de gases (especialmente oxígeno) y la viscosidad (García, 2010).

#### 6.6.2 Características químicas

Son las que permiten determinar las cantidades de material mineral y orgánico presente en el agua y que afectan su calidad, como: oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, nitritos, conductividad del agua (Boy, citado por García, 2010).

- a. **Oxígeno disuelto:** este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua; los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración, de esta forma cuanto mayor es la carga de materia orgánica, mayor es el número de microorganismos que descomponen y consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno (Boy, citado por García, 2010).

- b. Potencial de hidrógeno pH:** es una medida de la acidez o basicidad de una solución y representa la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en una sustancia, en este caso, el agua. Aunque no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, pues es un factor regulador de diferentes procesos biológicos y químicos (Girón, 2009).
- c. Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>:** parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en el agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO<sub>5</sub>), y a una temperatura de 20°C y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mgO<sub>2</sub>/l). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (Girón, 2009).
- d. Demanda Química de Oxígeno DQO:** el valor DQO da una idea del contenido orgánico total de un residuo, no biodegradable. Para dicho análisis se establecen valores de 250 mg/l para una concentración débil; 500 mg/l para una concentración media y 1000 mg/l para una concentración fuerte y a nivel nacional según la normativa 80 mg/l (García, 2010).
- e. Conductividad del agua:** la conductividad es una medida de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. La conductividad del agua se ve afectada por la presencia de sólidos disueltos inorgánicos tales como cloruro, nitrato, sulfato, y aniones fosfato (iones que llevan una carga negativa) o de sodio, magnesio, calcio, hierro y cationes de aluminio (iones que llevan una carga positiva). La conductividad también se ve afectada por la temperatura, cuanto más alta es la temperatura, mayor es la conductividad (EPA, 1997).

- f. **Especies de nitrógeno, nitratos y nitritos:** los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) son aniones que se pueden unir a compuestos orgánicos e inorgánicos, formando sales u otros compuestos; el nitrato está presente en el agua de forma natural pudiéndose incrementar su concentración por actividades humanas como la fertilización orgánica e inorgánica, pastoreo, pesticidas, fosas sépticas, aguas residuales y vertidos industriales o urbanos.

La principal afección de la contaminación por nitratos es la enfermedad denominada metahemoglobinemia (síndrome del bebé azul), la cual afecta principalmente a menores de un año y, aunque la teoría aún está en revisión, existen algunos indicios que el consumo prolongado de agua con altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  puede provocar cáncer (Girón, 2009).

- g. **Fosfatos  $\text{PO}_4$ :** los fosfatos son la principal forma en la que el fósforo se presenta en las aguas naturales, se encuentran en los fertilizantes, detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras, los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas, cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas (Boy, citado por García, 2010).

Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas lo que puede ocasionar un crecimiento rápido de las algas, los crecimientos rápidos de algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limo verde y pueden eventualmente cubrir la superficie del agua, al crecer las plantas y las algas ahogan a otros organismos (Boy, citado por García, 2010).

- h. **Sulfatos  $\text{SO}_4$ :** son sales moderadamente solubles a muy solubles, excepto las de Sr (60 ppm) y de Ba (2 ppm). Los sulfatos se encuentran de manera natural en numerosos minerales (barita epsomita, tiza, entre otros.), y su origen se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de las tizas, existentes en el terreno; sin embargo, también pueden llegar a las aguas por los excedentes de

fertilizantes y pesticidas, así como, por el paso del agua de la lluvia, por yesos en el suelo.

Las altas concentraciones de sulfato en el agua potable pueden producir diarrea transitoria. La diarrea aguda, puede producir deshidratación, particularmente en bebés y niños pequeños, que puede tener una condición o estado de diarrea (Girón, 2009).

- i. **Dureza:** es otra forma de indicar el contenido iónico de agua, refiriéndolo a la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros, la presencia de este tipo de iones suele ser de origen natural y raramente antrópica (Boy, citado por García, 2010).

### 6.6.3 Características microbiológicas

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves), Los excrementos pueden ser fuente de patógenos como bacterias, virus y protozoos (Girón, 2009).

El principal parámetro que determina la calidad microbiológica del agua es la presencia de coliformes, un grupo de especies bacterianas que se encuentran principalmente en el intestino de los animales de sangre caliente y suelo. Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua, destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura; asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal (Girón, 2009).

Dentro de las coliformes totales (CT), se encuentran las coliformes fecales (CF), que provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente y son los mejores

indicadores de riesgo de afecciones humanas; como, *Escherichia coli*, la cual provoca el síndrome diarreico agudo (Girón, 2009).

## **6.7 Metales pesados en el agua**

Los metales pesados se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas, los metales pesados tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios, como arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y cinc (Zn) plata (Ag) antimonio (Sb). Los tres contaminantes más importantes son plomo, cadmio y mercurio (Thiel, s.f.)

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra, los cuales no pueden ser degradados o ser destruidos; en un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire, algunos metales pesados (cobre, selenio, cinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento, el cual se produce en situaciones como las siguientes:

- La contaminación del agua potable (tuberías del plomo).
- Las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena alimenticia.

### **6.7.1 Bioacumulación de metales pesados**

Según Thiel, s.f. los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. Significa un aumento en la concentración de un producto químico en el organismo biológico por un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Los metales pesados pueden entrar en el abastecimiento de agua por medio de residuos industriales y depositarse en las aguas superficiales o subterráneas.

Algunos metales pesados e hidrocarburos clorados son acumulados por los organismos acuáticos. Es por eso que pueden encontrarse concentraciones muy altas de estos

elementos químicos en tejidos biológicos, aun cuando se hallen extremadamente diluidos en el medio acuático circundante.

La acumulación de hidrocarburos clorados es mayor en tejidos animales ricos en grasas. Los grandes depredadores marinos, como por ejemplo los tiburones, pueden absorber grandes cantidades de mercurio u otros metales pesados a través de los peces que comen. Se conocen casos de intoxicación masiva por compuestos orgánicos de mercurio en peces, como la tragedia ocurrida en la bahía de Minamata en Japón en 1956 y 1958 (Thiel, s.f).

#### **a) Biomagnificación**

Según López Gappa, 2008 transferencia de un químico xenobiótico desde el alimento a un organismo, resultando en una alta concentración dentro del organismo comparada con la fuente de origen (Conell, 1990; Rand *et al.*, 1995, citado por López Gappa, s.f), con lo cual, se da un incremento en la concentración entre los niveles tróficos.

Es un proceso de bioacumulación de una sustancia tóxica (como por ejemplo el plaguicida DDT). Ésta se presenta en bajas concentraciones en organismos al principio de la cadena trófica y en mayor proporción a medida que se asciende en la cadena trófica. Esto significa que las presas tienen menor concentración de sustancias tóxicas que el predador.

Los metales pesados no son degradables; los organismos, particularmente los más expuestos a altos niveles de metales naturalmente, tienen mecanismos para secuestrar los metales y excretarlos. Los problemas ocurren cuando un organismo está expuesto a concentraciones superiores a las usuales, que no pueden excretar rápidamente para prevenir daños, Estos metales son luego transferidos a otras formas orgánicas (López Gappa, s.f)

#### **6.7.2 Plata (Ag)**

La plata es uno de los elementos más nocivos para la comunidad microbiana y los invertebrados que viven en los ecosistemas acuáticos, a pesar de su baja toxicidad para

los seres humanos. Es un metal lustroso de color blanco-grisáceo, desde el punto de vista químico, es uno de los metales pesados y nobles; desde el punto de vista comercial, es un metal precioso (López-Serrano, 2014).

De acuerdo a la OMS (2006), la plata está presente de forma natural principalmente en forma de óxidos, muy insolubles e inmóviles, de sulfuros y de algunas sales. Se ha detectado ocasionalmente en aguas subterráneas y superficiales y en el agua de consumo en concentraciones mayores que 5 µg/l, las concentraciones en el agua de consumo tratada con plata para su desinfección pueden superar los 50 µg/l, estimaciones recientes sitúan la ingesta diaria en unos 7 µg por persona. Sólo se absorbe un pequeño porcentaje de plata. Las tasas de retención en personas y animales de laboratorio oscilan entre el 0 y el 10%.

El único signo evidente de sobrecarga de plata es la argiria, una afección en la que se altera profundamente la coloración de la piel y el cabello como consecuencia de la presencia de plata en los tejidos. Se calculó una DSEAO (dosis sin efecto adverso observado) por vía oral para la argiria en personas correspondiente a una ingesta total a lo largo de la vida de 10 g de plata, basándose en notificaciones de casos en personas y experimentos a largo plazo en animales (OMS, 2006).

Las concentraciones bajas de plata en el agua de consumo, generalmente inferiores a 5 µg/l, no afectan a la salud de las personas en lo relativo a la argiria. Por otra parte, la utilización de sales de plata para mantener la calidad bacteriológica del agua de consumo da lugar a situaciones especiales. En tales casos, se pueden tolerar concentraciones más altas de plata, de hasta 0,1 mg/l (con esta concentración se obtiene una dosis total durante 70 años de la mitad de la DSEAO de 10 g para las personas), sin riesgo para la salud (OMS, 2006).

### **6.7.3 Plomo (Pb)**

El plomo es un sólido metálico, relativamente poco abundante en la corteza terrestre (13 ppm), de color gris, blando, pesado y dúctil.

El agua de mar contiene concentraciones traza de plomo (2-30 ppt), los ríos contienen una media de 3 a 30 ppb. El fitoplancton contiene aproximadamente 5-10 ppm de plomo

(en base seca), los peces de agua dulce aproximadamente 0.5-1000 ppb, y las ostras 500 ppb aproximadamente. La organización mundial de salud (WHO) estableció en 1995 como límite legal 50 ppb de plomo, este límite decreció hasta 10 ppb en el 2010. (Lenntech, 1998-2017).

Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje y, en algunos países, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo. Más de tres cuartos partes del consumo mundial de plomo corresponden a la fabricación de baterías de plomo-ácido para vehículos de motor. Sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros productos, como pigmentos, pinturas, material de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes cerámicos, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos y medicamentos tradicionales. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal. En la actualidad, buena parte del plomo comercializado en los mercados mundiales se obtiene por medio del reciclaje (OMS, 2006).

En el agua en áreas no contaminadas, presenta concentraciones bajas de plomo (1 mg/l), en aguas superficiales y alrededor de 8 mg/l en ríos, las concentraciones de plomo en agua de mar son más bajas, que, en aguas de ríos y lagos, en aguas oceánicas superficiales se observan concentraciones de 0,05 a 0,4 µg/l y en aguas subterráneas hasta una profundidad de 1000 metros, se han detectado concentraciones de alrededor de 0,03 µg/l (OMS 2006).

Pero a nivel de contaminación, la exposición del plomo a través del agua, es mínima debido que forma por lo general compuestos insolubles del tipo carbonatos y sulfatos (OMS, 2006).

El consumo humano de agua, sobre la base de 2 litros diarios puede significar un aporte habitual del plomo al organismo, en un rango de 10 a 1 µg/l (OMS, 2006).

También se han observado efectos tóxicos sobre peces de agua dulce a concentraciones tan bajas de 0.17 µg/L. Los informes sobre la concentración de plata en aguas potables

de Estados Unidos, indican que ésta varía entre 0-2 µg/l con una media de 0.13 µg/l (OMS, 2006).

#### **6.7.4 Arsénico (As)**

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre, el arsénico inorgánico ocurre naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales que contienen cobre o plomo; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra; y en forma inorgánica es muy tóxico (OMS 2006). También es producido por actividades antropogénicas; aproximadamente 90% del arsénico que se produce es usado como preservativo para madera, para que ésta no se deteriore o se pudra. El preservativo es el arsenato cromado de cobre (CCA) y a la madera tratada se le refiere como madera presurizada. También se pueden encontrar compuestos de arsénico en pesticidas, insecticidas, procesos metalúrgicos, pinturas, colorantes de ropa, manufactura de vidrio, entre otros (ATSDR, 2009).

Según estudios realizados por la OMS (2006), la exposición a altos niveles de arsénico inorgánico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados.

Así mismo, la exposición prolongada al arsénico inorgánico, principalmente a través del consumo de agua contaminada o comida preparada y cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico puede causar intoxicación crónica. Los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas y cáncer de piel; también se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes.

Los valores de fondo de contenido de arsénico en ríos son relativamente bajos, en general, inferiores a 0,8 µg l<sup>-1</sup>, aunque pueden variar dependiendo de factores como recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales. Por ejemplo, en áreas de clima árido, el aumento de la concentración de arsénico en las aguas

superficiales se ve favorecido por procesos de evaporación, que además provocan un aumento en la salinidad y pH de las aguas, según indica Lillo (2012).

### **6.8 Índice de Calidad de Agua -ICA-**

El Índice de Calidad del Agua (ICA), indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano al 100% (Ros, 2011).

Para conocer el grado de calidad de las aguas, independientemente del posible uso al que vayan a ser destinadas, se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros e indicadores. Estos datos, analizados y procesados, posteriormente se convierten en un valor numérico, que permite obtener una serie de índices que determinan el estado general de las aguas en función de unos rangos de calidades establecidos. Estos índices se pueden clasificar fundamentalmente en dos tipos: fisicoquímicos y biológicos (Ros, 2011).

El Índice de Calidad de Agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos de varios lugares, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: índice de calidad del agua (ICA); este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existente; diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además, de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para determinar el índice de Calidad del Agua intervienen nueve parámetros:

- Coliformes Fecales (en NMP/100ml)
- pH (en unidades de pH)

- Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO<sub>5</sub> en mg/l)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/l)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/l)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (en mg/l)
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)

#### 6.8.1 Estimación del Índice de Calidad de Agua General (ICA)

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el Índice de Calidad de Agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base al siguiente cuadro:

**Cuadro 1. Clasificación del ICA propuesta de Brown**

| Calidad del agua | Color  | Valor  |
|------------------|--------|--------|
| Excelente        | Blue   | 90-100 |
| Buena            | Green  | 70-90  |
| Regular          | Yellow | 50-70  |
| Mala             | Red    | 25-50  |
| Pésima           | Grey   | 0-25   |

Fuente: SNET (1998).

Las aguas con “ICA” de categoría “excelente y buena” son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con “ICA” de categoría “regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente manifiestan un crecimiento anormal de algas.

Las aguas con “ICA” de categoría “mala” pueden soportar una baja diversidad de vida acuática y probablemente experimenten problemas de contaminación.

Las aguas con “ICA” de categoría “Pésima” pueden soportar un número limitado de organismos acuáticos, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que impliquen el contacto directo con ella, tal como la natación (SNET, 1998).

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los nueve parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son coliformes fecales, pH, demanda biológica de oxígeno -DBO<sub>5</sub>-, nitratos, fosfatos, cambio de la temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto.

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

$$ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Dónde:

w<sub>i</sub>: son los pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub<sub>i</sub>), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub<sub>i</sub>: subíndice del parámetro i.

## **6.9 Diferentes usos del agua de acuerdo al Índice de Calidad del Agua -ICA-**

A continuación, se presenta la calidad del agua de acuerdo al uso, y se considera para ello el índice de calidad del agua.

### **Uso como agua potable**

- 90-100 E. No requiere purificación para consumo.
- 80-90 A. Purificación menor requerida.
- 70-80 LC. Dudoso su consumo sin purificación.
- 50-70 C. Tratamiento potabilizador necesario.
- 40-50 FC. Dudoso para consumo.
- 0-40 EC. Inaceptable para consumo.

### **Uso en agricultura**

- 90-100 E. No requiere purificación para consumo.
- 70-90 A. Purificación menor para cultivos.
- 50-70 LC. Utilizable en mayoría de cultivos.
- 30-50 C. Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
- 20-30 FC. Uso solo en cultivos muy resistentes.
- 0-20 EC. Inaceptable para riego.

### **Uso en pesca y vida acuática**

- 70-100 E. Pesca y vida acuática abundante.
- 60-70 A. Límite para peces muy sensitivos.
- 50-60 LC. Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
- 40-50 C. Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
- 30-40 FC. Inaceptable para actividad pesquera.
- 0-30 EC. Inaceptable para vida acuática.

### **Uso industrial**

- 90-100 E. No requiere purificación.
- 70-90 A. Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
- 50-70 LC. No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.
- 30-50 C. Tratamiento para la mayoría de usos.
- 20-30 FC. Uso restringido en actividades burdas.
- 0-20 EC. Inaceptable para cualquier industria.

### **Uso recreativo**

- 70-100 E. Cualquier tipo de deporte acuático.
- 50-70 A. Restringir los deportes de inmersión.
- 40-50 LC. Dudosa para contacto con el agua.
- 30-40 C. Evitar contacto, solo con lanchas.
- 20-30 FC. Contaminación visible, evitar cercanía.
- 0-20 EC. Inaceptable para recreación.

**Cuadro 2. Criterios generales según el Índice de Calidad de Agua –ICA-**

| Rango ICA | CRITERIOS GENERALES |                                             |     |                                                                                  |
|-----------|---------------------|---------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------|
|           | Edo                 | USO: AGUA POTABLE                           | Edo | USO: RIEGO AGRICOLA                                                              |
| 90        |                     | No requiere purificacion para consumo       |     | No requiere purificacion para riego                                              |
| 80        |                     | Requiere purificacion menor                 |     | Tratamiento menor para cultivos que requieren de alta calidad de agua para riego |
| 70        |                     | Dudoso para consumo                         |     |                                                                                  |
| 50        |                     | Tratamiento de potabilizacion indispensable |     | Utilizable en la mayoria de los cultivos                                         |
| 40        |                     | Dudoso para consumo                         |     | Tratamiento requerido para la mayoria de los cultivos                            |
| 30        |                     | Inaceptable para consumo                    |     | Solo para cultivos muy resistentes (forrajes)                                    |
| 20        |                     |                                             |     | Inaceptable para riego                                                           |

| ESCALA DE CALIDAD DEL AGUA |           |                       |             |                      |          |
|----------------------------|-----------|-----------------------|-------------|----------------------|----------|
|                            |           |                       |             |                      |          |
| Exelente                   | Aceptable | Levemente contaminada | Contaminada | Fuerte contaminacion | Excesiva |

Fuente: SNET (1998).

## **7. MARCO REFERENCIAL**

### **7.1 Departamento de Chiquimula**

El departamento de Chiquimula se encuentra situado en la Región III o Nororiente de la República de Guatemala, limita al norte con el departamento de Zacapa; al sur con el departamento de Jutiapa y la República del Salvador; al Este con la República de Honduras y al Oeste con los departamentos de Jalapa y Zacapa. El departamento cuenta con una extensión territorial aproximada de 2,376 km<sup>2</sup> (INE, 2002).

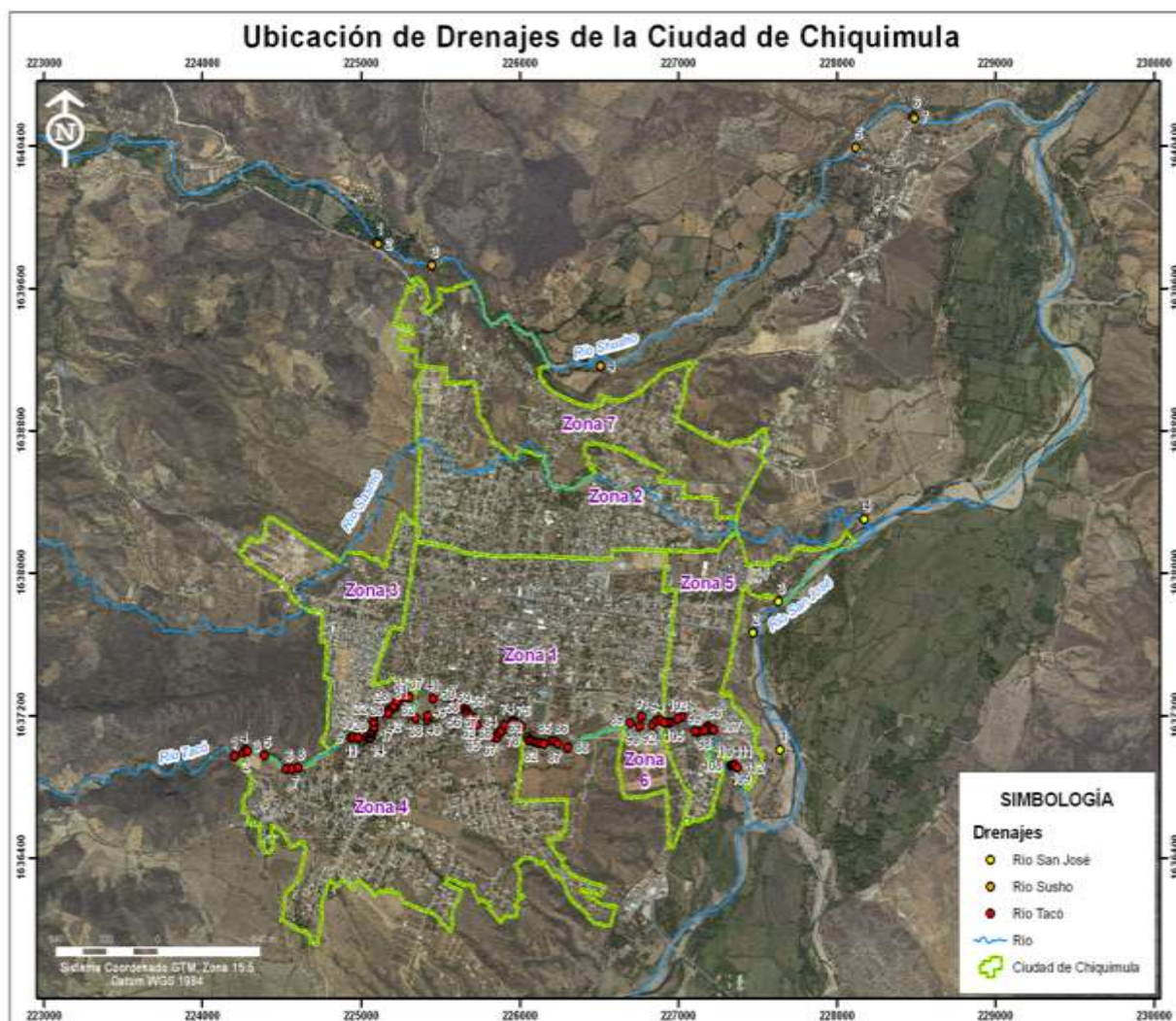
El departamento se encuentra conformado por once municipios: Chiquimula, San José La Arada, San Juan Ermita, Jocotán, Camotán, Olopa, Esquipulas, Concepción Las Minas, Quezaltepeque, San Jacinto, e Ipala. La cabecera departamental, tiene el mismo nombre Chiquimula posee la categoría de ciudad y se encuentra a 170 km de la ciudad de Guatemala, capital de la República. (INE, 2002)

El departamento de Chiquimula se encuentra dividido en 3 regiones con sus 11 municipios, cuyas características geográficas, demográficas y económicas son similares. Estas tres regiones son las siguientes: Región Chortí, que comprende los municipios de San Juan Ermita, Jocotán, Camotán y Olopa; la Región fronteriza, que abarca los municipios de Quezaltepeque, Esquipulas y Concepción Las Minas, y la Región Perla, que aglutina a los municipios de Ipala, San José la Arada, San Jacinto, y Chiquimula. (INE, 2002)

### **7.2 Red hidrológica de la ciudad de Chiquimula**

La red hidrológica de la ciudad de Chiquimula está comprendida por las microcuencas de río San José, que se ubica en dirección Este, el río Tacó que está ubicado en dirección Norte del Centro de la ciudad, el río Shusho que está ubicado en dirección Sur del Centro de la ciudad, el río Shutaque que está ubicado en dirección Sur, pero que ha sido incorporado al sistema de 25 drenajes de la ciudad y sus corrientes son irregulares la mayor parte del año abastecido únicamente por las descargas del sistema de drenajes y el río Shutaque ubicado al Este de la ciudad y desemboca en el río San José en los límites de la ciudad de Chiquimula., como se puede ver en la figura 1.

**Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de descarga de aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, 2015.**



Fuente: García, 2010.

### 7.3 Localización de área de estudios

El estudio se realizó en las micro cuencas de los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque que conforman la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula. La ciudad de Chiquimula se ubica a una altura de 423.86 m.s.n.m. Latitud 14° 47' 58", longitud 89° 32' 37", en el municipio del mismo nombre con una extensión territorial es de 372 kms.

Se establecieron 18 puntos de control, a lo largo de 20.4 km<sup>2</sup> de cauce, distribuidos de la siguiente manera: cuatro puntos de control en el río Tacó 4.9 km<sup>2</sup>; seis puntos de río San

José, 6.7 km<sup>2</sup>, cuatro puntos de control en el río Shusho 6.6 km<sup>2</sup> y cuatro puntos de control en el río Shutaque 2.2 km<sup>2</sup>. Cubriendo un área de aproximadamente 7.5 km<sup>2</sup>.

Este sistema hidrológico pertenece a la cuenca del río Grande, localizado en el oriente del país en los departamentos de Chiquimula y Zacapa.

## **7.4 Características biofísicas del área de estudio**

**7.4.1 Zonas de vida:** El área de estudio comprendió dos zonas de vida, según el mapa de Zonas de Vida elaborado por el MAGA; el Bosque Seco Subtropical –sb-S– y el Bosque Húmedo Subtropical (templado) –bh-S(t)–. El restante 88.60% corresponde al Bosque Húmedo Subtropical (templado), el cual presenta una precipitación de entre los 1100 y los 1349 mm/año. La biotemperatura media anual varía entre los 20 y los 26 °C; y la relación de evapotranspiración potencial es de alrededor de 1.0 (De la Cruz, 1976).

**7.4.2 Clima:** Es muy cálido y seco la mayor parte del año debido a su poca altitud (324 msnm), con temperaturas de entre 25° y 35°C durante todo el año. Los meses más cálidos son por lo general de marzo a septiembre y los menos de octubre a febrero. En el área urbana de Chiquimula, las temperaturas en el verano han llegado a superar los 40°C, convirtiéndola en una de las ciudades más cálidas del país.

No obstante, a pesar del clima en la ciudad, en muchas aldeas cercanas como La Laguna, Maraxcó, Santa Bárbara o El Paso del Credo, la temperatura puede llegar a ser fría durante las noches, debido a la altitud a la que se ubican.

**7.4.3 Suelo:** son propios de laderas poco profundos, algunos pedregosos, de textura que varía de fina a media, característico de municipios, como: Jocotán, Camotán, San Juan Ermita, Olopa y Chiquimula, en menor escala parecen también los suelos propios de colinas, montañas y valles altos, de textura fina a media, y profundidad moderada. Los suelos de los valles son ligeramente inclinados o planos de origen reciente, presentan una textura media, y se caracterizan por ser de drenaje restringido, estas características se presentan principalmente, en los valles utilizados para cultivos extensivos en los municipios de: Ipala, Esquipulas, Chiquimula y San José la Arada.

**7.4.3 Flora:** el departamento de Chiquimula se caracteriza por sus bosques de pino, especie que predomina en las áreas nororiente y norponiente de dicho departamento. En el área sur existe pino, pero en menor cantidad, pues ya cambia el clima, el tipo de suelo entre otro, pero existen bosques de liquidámbar, roble, encino y en abundancia especies de árboles. En el siguiente cuadro se muestra los nombres comunes y científicos de flora y fauna del Departamento de Chiquimula.

**Cuadro 3. Nombres comunes y científicos de flora del Departamento de Chiquimula.**

| <b>Nombre común</b> | <b>Nombre científico</b>           |
|---------------------|------------------------------------|
| Palo blanco         | <i>Rosedendrom donell smitthii</i> |
| Palo negro          | <i>Garrya elliptica</i>            |
| Madrecacao          | <i>Gliricidia sepiu</i>            |
| Matilisquate        | <i>Tabebuia rosea</i>              |
| Aguacatillo         | <i>Persea caerulea</i>             |
| Pimiento            | <i>Capsicum annuum</i>             |
| Cedro               | <i>Cedrela adórate</i>             |
| Guayabo             | <i>Psidium guajava</i>             |
| Irayol              | <i>Genipa americana</i>            |
| Matasano            | <i>Casimiroa edulis</i>            |
| Cuje                | <i>Inga radians</i>                |
| Pepeto              | <i>Cecropia obtusifolia bertol</i> |
| Paterna             | <i>Inga paterno</i>                |
| Pito                | <i>Escallonia bífida</i>           |
| Conacaste           | <i>Enterolobium cyclocarpum</i>    |
| Zuncuya             | <i>Annona purpurea</i>             |
| Ceiba               | <i>Pentandra Gaertn</i>            |

Fuente: Herrera 1998, citado por Casasola 2014.

**7.4.5 Fauna:** Según el Diagnóstico Ambiental y Socio-económico del APTM, realizado en el 2005, para el bosque nuboso se han reportado 34 especies de mamíferos de los cuales unos poseen bajas poblaciones debido a la cacería. Entre las más comunes se encuentran:

**Cuadro 4. Nombres comunes y científicos de fauna del departamento de Chiquimula.**

| Nombre común   | Nombre científico        |
|----------------|--------------------------|
| Puma           | <i>Puma concolor</i>     |
| Tepescuintle   | <i>Agouti paca</i>       |
| Coche de monte | <i>Tayassutajacu</i>     |
| Venadito rojo  | <i>Mazama americana</i>  |
| Oso hormiguero | <i>Tamandua mexicana</i> |

Fuente: Herrera1998, citado por Casasola 2014.

Por otra parte, cuarenta y seis especies de anfibios y reptiles, setenta y ocho especies de aves. Pero veinte especies son exclusivas y por lo tanto más vulnerables y dependientes del mantenimiento de esta formación, entre ellas tenemos:

**Cuadro 5. Nombres comunes y científicos de fauna aviar del departamento de Chiquimula.**

| Nombre común               | Nombre científico              |
|----------------------------|--------------------------------|
| Perico rayado              | <i>Bolborhynchuslineola</i>    |
| Búho leonado               | <i>Strixfulvescens</i>         |
| Hormiguero tororoi         | <i>Grallaria guatemalensis</i> |
| Jay de Steller             | <i>Cyanocittastelleri</i>      |
| Urraca                     | <i>Aphelocoma unicolor</i>     |
| Atrapamoscas               | <i>Henicorhina leucophrys</i>  |
| Salamandra                 | <i>Bolitoglossa heireias</i>   |
| Dragoncillo de montecristo | <i>Abronia montecristoi</i>    |

Fuente: Herrera 1998, citado por Casasola 2014.

## **7.5. Investigaciones relacionadas con el tema**

### **7.5.1 Línea base para la determinación de arsénico en el agua de pozo de la ciudad de Chiquimula**

La investigación realizada por Cerón en el año 2016, en la ciudad de Chiquimula, tenía como objetivo determinar la concentración y distribución geográfica del arsénico en el agua subterránea de la ciudad. Dentro de los parámetros analizados durante la investigación se mencionan: conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos totales, dureza total y arsénico disuelto. Se concluyó con base a los resultados que el 80% de los pozos analizados presentan altas concentraciones de arsénico disuelto siendo el valor más alto registrado de 0.5566 mg/L, debido a los efectos naturales de interacción agua-material geológico, que ocasionan elevadas concentraciones de arsénico disuelto en el agua, así mismo se comprobó que existe una estrecha relación entre la temperatura de los pozos con la concentración del arsénico.

### **7.5.2 Determinación y evaluación de la calidad del agua en las zonas de recarga hídrica**

Según Rodas (2012) el objetivo de la investigación es conocer la calidad del agua en las zonas de recarga hídrica en donde se establecieron puntos de control, tomando como criterios las fuentes del agua, centros poblados y escuelas, en dicha investigación se determinaron presencia de metales pesados siendo estos plata, plomo, arsénico y antimonio, se determinaron las concentraciones físico químicos en el agua de las zonas de recarga hídrica. Con base a los resultados obtenidos se recomendó realizar monitoreos periódicos para determinar la concentración de metales pesados en el agua y establecer la procedencia de los metales pesados en el agua de la zona de recarga hídrica.

### 7.5.3 Caracterizar las aguas residuales de los drenajes de mayor descarga en el río San José, municipio de Chiquimula.

López, citado por García 2010, en su estudio, tuvo como objetivo general la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas residuales de los drenajes municipales provenientes del área urbana de Chiquimula y el río Tacó se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 6. Parámetros fisicoquímicos del agua en drenajes del área urbana de Chiquimula y río Tacó, 2006.**

| Parámetro físico-químico | Drenaje 3 | Drenaje 4 | Presa 2 | Presa 3 |
|--------------------------|-----------|-----------|---------|---------|
| Nitrógeno total mg/l     | 9.2       | 26.1      | 4.2     | 0.5     |
| Fósforo total mg/l       | 19.5      | 3.08      | 3.96    | 6.3     |
| DBO5 mg/l                | 276.75    | 124       | 3.9     | 1.95    |

Fuente: López, citado por García (2010).

## **8. MARCO METODOLÓGICO**

### **8.1 Área de estudio**

El estudio se realizó en las microcuencas del río San José, Shusho, Shutaque, y río Tacó; la cual se determinó utilizando el programa ArcGIS, con base a la red hidrológica superficial de los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque, ubicados en el departamento Chiquimula.

### **8.2 Establecer los puntos de muestreo de la red hidrológica superficial**

Se establecieron un total de 18 puntos de control sobre de la red hidrológica superficial de las microcuencas río San José, Tacó, Shusho y Shutaque, distribuyendo en lugares estratégicos, como se puede observar en la figura 11.

La distribución de los puntos de control se estableció de la manera siguiente:

- ✓ Cuatro puntos de control en el río Shutaque
- ✓ Seis puntos de control en el río San José
- ✓ Cuatro puntos de control en el río Tacó
- ✓ Cuatro puntos de control en el río Shusho

#### **Puntos de control sobre el río Shutaque:**

**RSP-1:** Cementerio San Jacinto.

**RSP-2:** Puente San Jacinto.

**RSP-3:** Aldea Vado Hondo.

**RSP-4:** Puente callejón de los Morales.

#### **Puntos de control sobre río San José:**

**RSJP-5:** Aldea La Torera.

**RSJP-6:** Aldea Los Encuentros.

**RSJP-7:** Puente Blanco sobre río San José.

**RSJP-8:** Puente San José.

**RSJP-9:** Granja CUNORI

**RSJP-10:** Pozos San José

### **Puntos de control sobre río Tacó:**

**RTP-11:** Presa El Molino.

**RTP-12:** Aldea Tacó Arriba.

**RTP-13:** Puente barrio San Pedrito.

**RTP-14:** Colonia Las Rosas.

### **Puntos de control sobre río Shusho:**

**RSHUP-15:** Aldea Guior

**RSHUP-16:** Shusho en Medio.

**RSHUP-17:** Puente Shusho.

**RSHUP-18:** Colonia La Joya.

## **8.3 Técnica de recolección de datos y muestreo en la red hidrológica superficial**

Al momento de recolectar la muestra se tomaron en cuenta varios factores, entre los cuales podemos incluir las técnicas de captación de la muestra y manejo.

En cada punto de control establecido se tomaron muestras de agua de acuerdo a las recomendaciones de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA 1999), de la forma siguiente:

- Para el análisis fisicoquímico y metales pesados se recolectaron muestras simples en botellas plásticas de 1 litro de polietileno, las cuales fueron previamente lavadas de acuerdo al protocolo establecido por el laboratorio ambiental de CUNORI, con el propósito de evitar cualquier contaminación de las muestras; se identificaron y almacenaron en hielera a una temperatura de 4°C para ser transportadas al laboratorio.
- Para el análisis microbiológico se recolectaron las muestras de agua en recipientes herméticos de 125 ml, esterilizados para evitar cualquier alteración de la muestra;

posteriormente se identificaron y almacenaron en hielera a 4°C, para ser transportadas al laboratorio en un tiempo menor a 24 horas.

#### **8.4 Toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados:**

- Se identificaron los recipientes con el nombre del lugar, fecha y hora.
- Las muestras se tomaron donde la velocidad del flujo de agua era mayor, inclinando el recipiente a un ángulo de 45° con respecto a la horizontal, dirigiendo la entrada del recipiente contra la corriente y destapándolo cerca del agua.
- Para los parámetros fisicoquímicos y metales pesados, se tomaran 2 muestras por punto de control.
- Para el análisis microbiológico se tomó una muestra en un recipiente de 150 ml esterilizado.
- Se agregó 2 ml de ácido nítrico al recipiente para metales pesados.
- Los recipientes para los parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos se colocaron en una hielera a 4°C.
- Las muestras se trasladó al laboratorio ambiental de CUNORI.

#### **8.5 Técnica de preservación de las muestras**

Después de tomar las muestras se colocaron de inmediato en dos hieleras diferentes para preservarlas a 4°C, una hielera para las muestras del análisis microbiológico y una hielera para los análisis fisicoquímicos y metales pesados. Las muestras para el análisis de metales pesados se preservaron con ácido nítrico y se colocó en la hielera, finalmente se transportaron al laboratorio ambiental de CUNORI.

#### **8.6 Técnica de transporte de las muestras**

Las muestras de agua se trasladaron al laboratorio ambiental en un período no mayor a 24 horas, mayor tiempo puede provocar alteraciones en algunos parámetros a analizar.

## **8.7 Parámetros evaluados**

Para evaluar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de los ríos bajo estudio, se determinaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados a nivel de campo y de laboratorio.

### **8.7.1 Determinación de parámetros a nivel de campo**

A nivel de campo se determinaron parámetros críticos los cuales de acuerdo a las recomendaciones se deben medir in situ, estos son:

- Potencial de hidrógeno (en unidades de pH)
- Temperatura (en °C)
- Oxígeno disuelto (en mg/l y en %SAT)
- Temperatura ambiente (en °C)

Se utilizó un dispositivo portátil multiparametros, el cual fue previamente calibrado. Los resultados obtenidos para cada parámetro se registraron en una boleta de campo diseñada para este fin.

### **8.7.2 Determinación de parámetros a nivel de laboratorio**

Los parámetros físico-químicos, microbiológicos y metales pesados que fueron determinados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente -CUNORI- son los siguientes:

#### **Parámetros físico-químicos:**

- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT en mg/l)
- PH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/l)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/l)
- Nitritos (NO<sub>2</sub> en mg/l)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/l)
- Sulfatos (SO<sub>4</sub> en mg/l)

**Parámetros microbiológicos:**

- Coliformes Fecales (en NMP/100 ml)
- Coliformes Totales (en NMP/100 ml)

**Metales pesados:**

- Plata (Ag en mg/l)
- Plomo (Pb en mg/l)
- Arsénico (As en mg/l)

En función de los parámetros de calidad seleccionados en la presente investigación, se determinó la aptitud para el consumo humano del agua, a partir de las valoraciones para cada parámetro, establecidas en la norma COGUANOR (Norma NGO 29.001.98) y la Organización Mundial de la Salud -OMS-.

**8.8 Método de análisis para los parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos de la calidad del agua**

La metodología empleada para los análisis físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados, se basó en los métodos de análisis recomendados por el “Standard Methods of the examination of Water and Wastewater”. (Método estándar para examinar agua) que son utilizados normalmente por los laboratorios (anexo 16).

**8.9 Estimación del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Para determinar el “ICA”, se tomaron 9 parámetros de acuerdo a la propuesta de Brown, los cuales son:

1. Coliformes fecales (en NMP/100ml)
2. pH (en unidades de pH)
3. Demanda Biológica de Oxígeno en cinco días (DBO<sub>5</sub> en mg/l)
4. Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/l)
5. Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/l)
6. Cambio de la Temperatura (en °C)
7. Turbidez (en NTU)
8. Sólidos disueltos totales (en mg/l)
9. Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

### 8.9.1 Cálculo del índice de calidad del agua general

El índice de Brown o Índice de Calidad de Agua General, se determinó utilizando una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm), para este estudio se utilizó la función ponderada multiplicativa debido a que otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo del Índice de Calidad de Agua –ICA- mediante esta técnica es superior a la aritmética, es decir que es mucho más sensible a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad.

Se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

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

Dónde:

$W_i$ = Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $Sub_i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

$Sub_i$ = sub índice del parámetro  $i$ .

Para determinar el valor de Índice de Calidad de Agua se utilizó una serie de gráficas que se muestran a continuación para calcular los subíndices ( $Sub_i$ ) y los pesos relativos ( $w_i$ ) de cada uno de los 9 parámetros medidos de acuerdo al cuadro 7.

Pesos de los diversos parámetros:

**Cuadro 7. Peso relativo para cada parámetro del -ICA-**

| No. | $Sub_i$                   | $W_i$ |
|-----|---------------------------|-------|
| 1   | Coliformes fecales        | 0.15  |
| 2   | pH                        | 0.12  |
| 3   | DBO <sub>5</sub>          | 0.1   |
| 4   | Nitratos                  | 0.1   |
| 5   | Fosfatos                  | 0.1   |
| 6   | Temperatura               | 0.1   |
| 7   | Turbidez                  | 0.08  |
| 8   | Sólidos disueltos totales | 0.08  |
| 9   | Oxígeno disuelto          | 0.17  |

Fuente: SNET (1998).

Pasos a seguir para calcular los subíndices de calidad de agua:

- Coliformes fecales: si son mayores de 100,000 bact/100ml el sub1 es igual a 3; si el valor es menor a 100,00 bact/100ml, se busca el valor en (x) de la figura 2 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el Sub1 de Coliformes Fecales, luego se procede a elevarlo al peso  $w_1$ .
- pH: si es igual o menor a 2 el valor es mayor o igual a 10 el Sub2 es igual a 3. Si el valor del pH está entre 2 y 10 se busca el valor en (X) en figura 3 y se interpola en valor en el eje (Y), el valor encontrado en el Sub2 de pH y se procede a elevarlo al peso  $w_2$ .
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): si es mayor de 30 mg/l el Sub3 es igual a 2, si la DBO es menor de 30 mg/l se busca el valor en el eje de (X) en la figura 4, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub3) de DBO y se procede a elevarlo al peso  $w_3$ .
- Nitratos: si es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en la figura 5, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .
- Fosfatos: si es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en la figura 6, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub5) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_5$ .
- Temperatura: para este parámetro se calcula primero la diferencia entre la  $T^\circ$ ambiente y la  $T^\circ$ muestra y con el valor obtenido se procede. Si el valor de la diferencia es mayor de  $15^\circ$  C el (Sub6) es igual a 9, si es menor de  $15^\circ$  C se busca el valor en el eje (X) y en la figura 7 se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub6) de temperatura y se procede a elevarlo al peso  $w_6$ .

- Turbidez: si es mayor de 100 NTU el (Sub7) es igual a 5, si la turbidez es menor de 100 NTU, se busca el valor en el eje (X) y se interpola en el eje (Y) de la figura 8, el valor encontrado es el (Sub7) de turbidez y se procede a llevarlo al peso  $w_7$ .
- Sólidos disueltos totales: si son mayores de 500 mg/l el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se busca el valor en el eje de (X) en la figura 9, se interpola en el eje de la (Y), el valor encontrado es el (Sub8) de Sólidos disueltos Totales y se procede a elevarlo al peso  $w_8$ .
- Oxígeno disuelto: hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua, identificando el valor de saturación de OD según la temperatura del agua como se demuestra en el cuadro 8.

**Cuadro 8. Solubilidad de oxígeno en agua dulce.**

| Temp. | OD    | Temp. | OD    | Temp. | OD.  | Temp. | OD.  |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| 1     | 14.19 | 12    | 10.76 | 23    | 8.56 | 34    | 7.05 |
| 2     | 13.81 | 13    | 10.52 | 24    | 8.4  | 35    | 6.93 |
| 3     | 13.44 | 14    | 10.29 | 25    | 8.24 | 36    | 6.82 |
| 4     | 13.09 | 15    | 10.07 | 26    | 8.09 | 37    | 6.71 |
| 5     | 12.57 | 16    | 9.85  | 27    | 7.95 | 38    | 6.61 |
| 6     | 12.43 | 17    | 9.65  | 28    | 7.81 | 39    | 6.51 |
| 7     | 12.12 | 18    | 9.45  | 29    | 7.67 | 40    | 6.41 |
| 8     | 11.83 | 19    | 9.26  | 30    | 7.54 | 41    | 6.31 |
| 9     | 11.55 | 20    | 9.07  | 31    | 7.42 | 42    | 6.22 |
| 10    | 11.27 | 21    | 8.9   | 32    | 7.28 | 43    | 6.13 |
| 11    | 11.01 | 22    | 8.72  | 33    | 7.16 | 44    | 6.04 |

Fuente: SNET (1998).

Si el porcentaje (%) de saturación de OD es mayor a 140% el (Sub9) es igual a 47, si el valor es menor de 140% la saturación de OD se busca el valor en el eje (X) en la figura 10, se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub9) de Oxígeno Disuelto y se procede elevarlo el peso  $w_9$ . Los valores obtenidos se incorporaron en el siguiente cuadro, para calcular el valor del Índice de Calidad de Agua por cada punto de muestro.

**Cuadro 9. Cálculo del Índice de Calidad de Agua.**

| Parámetros                              |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
|-----------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| 1                                       | Coliformes Fecales        |       | NMP/100 ml   |                  | 0.15 |       |
| 2                                       | pH                        |       | Unidades pH  |                  | 0.12 |       |
| 3                                       | DBO <sub>5</sub>          |       | mg/l         |                  | 0.10 |       |
| 4                                       | Nitratos                  |       | mg/l         |                  | 0.10 |       |
| 5                                       | Fosfatos                  |       | mg/l         |                  | 0.10 |       |
| 6                                       | Temperatura               |       | °C           |                  | 0.10 |       |
| 7                                       | Tubidez                   |       | FAU          |                  | 0.08 |       |
| 8                                       | Sólidos Disueltos Totales |       | mg/l         |                  | 0.08 |       |
| 9                                       | Oxígeno Disuelto          |       | % saturación |                  | 0.17 |       |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA- |                           |       |              |                  | Suma | 0.00  |

Fuente: SNET (1998).

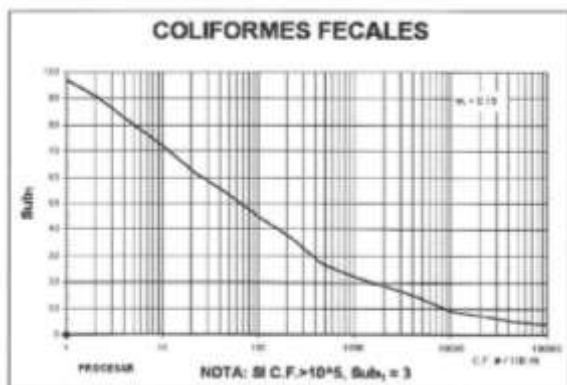
Después del cálculo del Índice de Calidad de Agua de tipo general, se clasifica la calidad del agua con base al siguiente cuadro:

**Cuadro 10. Clasificación de la “ICA” propuesta por Brown (1970).**

| CALID DEL AGUA | COLOR                                                                               | VALOR  |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Excelente      |  | 90-100 |
| Buena          |  | 70-90  |
| Regular        |  | 50-70  |
| Mala           |  | 25-50  |
| Pésima         |  | 0-25   |

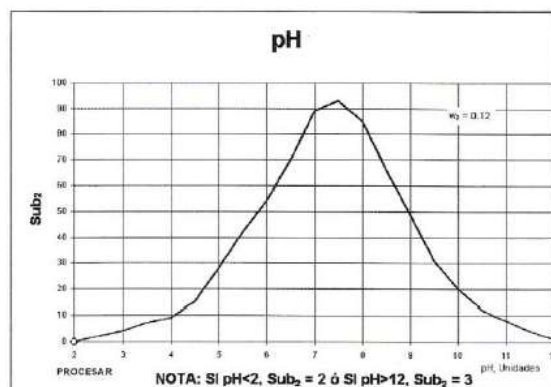
Fuente: SNET (1998).

**Figura 2. Valoración de la calidad de agua en función de coliformes fecales.**



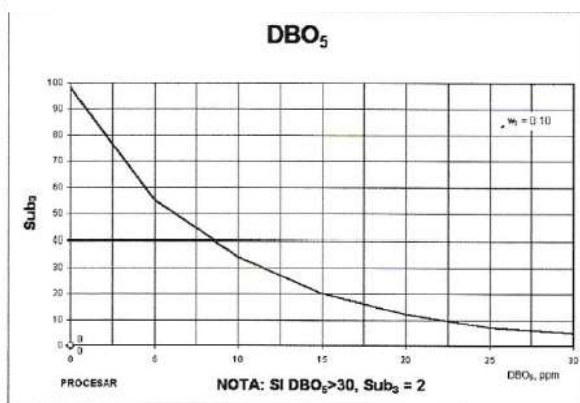
Fuente: SNET (1998).

**Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función de pH.**



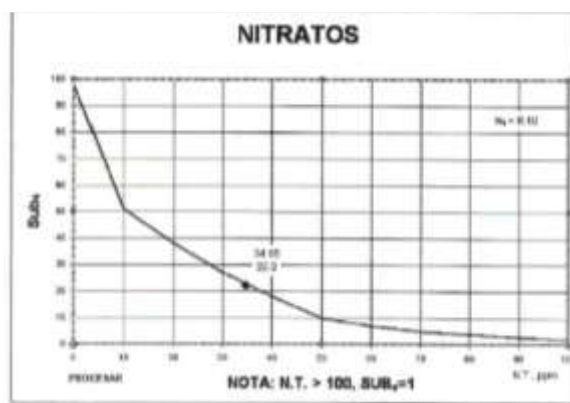
Fuente: SNET (1998).

**Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub>**



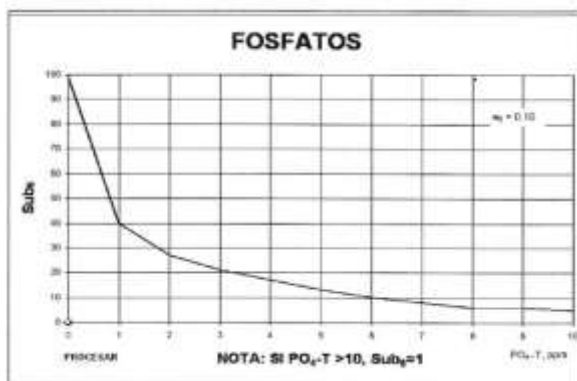
Fuente: SNET (1998).

**Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función del nitrato.**



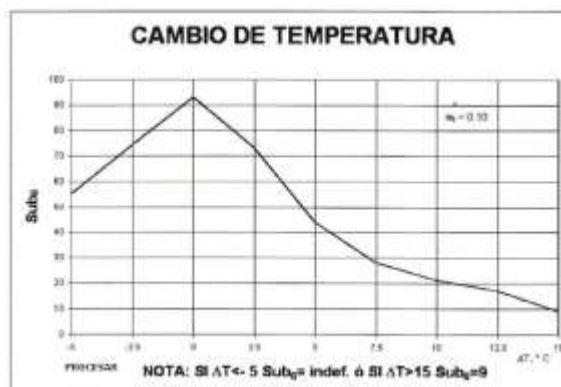
Fuente: SNET (1998).

**Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función del fósforo.**



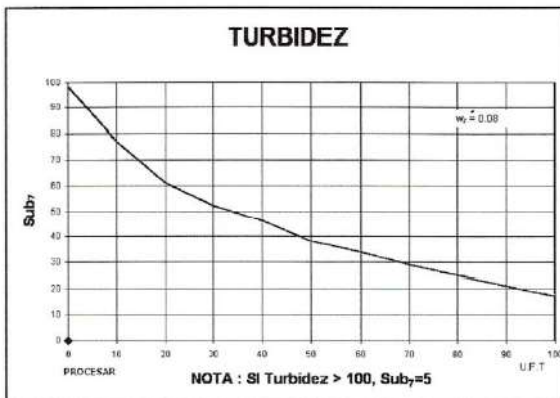
Fuente: SNET (1998).

**Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de la temperatura.**



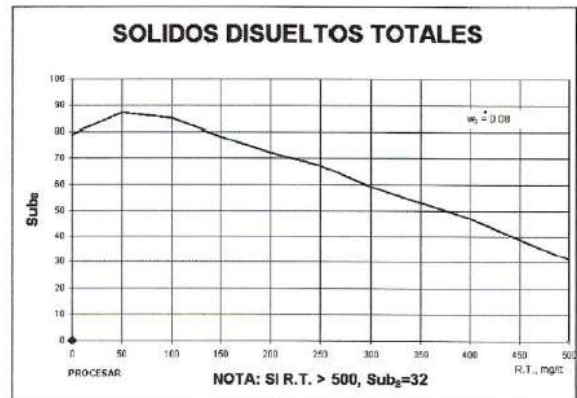
Fuente: SNET (1998).

**Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez.**



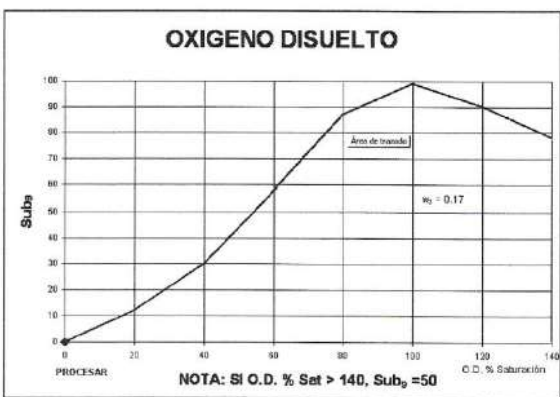
Fuente: SNET (1998).

**Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función de los sólidos disueltos.**



Fuente: SNET (1998).

**Figura 10. Valoración de la calidad de agua en función del % de saturación.**



Fuente: SNET (1998).

## 8.10 Estrategias para el manejo integral del recurso hídrico

Las estrategias para el manejo de recurso hídrico se planteó de acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados.

## 8.11 Análisis de la información

Con toda la información recabada se diseñaron tablas que utilizando el programa de Microsoft Excel los cuales contienen los resultados de los parámetros medidos, para determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, también se realizaron gráficas y finalmente se compararon los resultados de los cuatro monitoreos.

### **8.12 Período de estudio**

El período de muestreo en los puntos establecidos, se realizó por espacio de 10 meses comprendidos en enero a octubre de 2015, realizando un muestreo en los meses de enero, abril, julio y octubre, para un total de 4 monitores.

## **9. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **9.1 Puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula**

Se establecieron 18 puntos de control, en 20.4 km de cauce, distribuidos de la siguiente manera: en el río San José 6 puntos de control (6.7 km); en el río Shutaque 4 puntos de control (2.2 km), Tacó 4 puntos de control (4.9 km<sup>2</sup>) y Shusho 4 puntos de control (6.6 km).

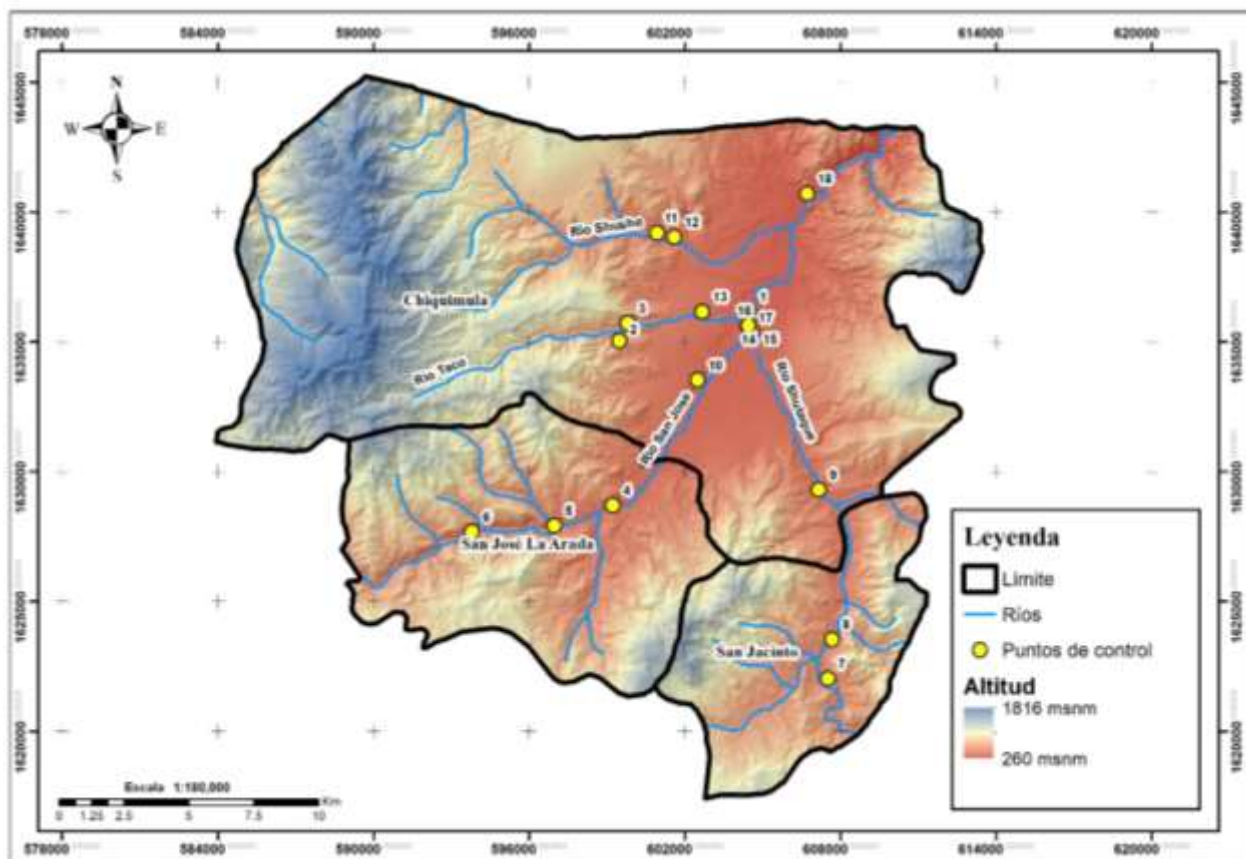
La ubicación de los puntos de control se realizó estratégicamente para determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de cada río. En el cuadro 11, se muestra los 18 puntos de control geo-referenciados utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS).

**Cuadro 11. Coordenadas geográficas de los puntos de control, en la red hidrológica superficial de los ríos San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| ID                   | Puntos de control              | X      | Y       |
|----------------------|--------------------------------|--------|---------|
| <b>RIO SHUTAUQUE</b> |                                |        |         |
| RSP-1                | Cementerio San Jacinto         | 248067 | 1629513 |
| RSP-2                | Puente San Jacinto             | 222708 | 1636104 |
| RSP-3                | Aldea Vado Hondo               | 223050 | 1636786 |
| RSP-4                | Puente callejón de los Morales | 222359 | 1629774 |
| <b>RIO SAN JOSE</b>  |                                |        |         |
| RSJP-5               | Aldea La Torera                | 220093 | 1629015 |
| RSJP-6               | Aldea Los Encuentros           | 216917 | 1628829 |
| RSJP-7               | Puente Blanco sobre Río José   | 230547 | 1622955 |
| RSJP-8               | Puente San José                | 230737 | 1624467 |
| RSJP-9               | Granja CUNORI                  | 230317 | 1630247 |
| RSJP-10              | Pozos San Jose                 | 225717 | 1634547 |
| <b>RIO TACO</b>      |                                |        |         |
| RTP-11               | Presa Molina                   | 224233 | 1640247 |
| RTP-12               | Aldea Tacó Arriba              | 224903 | 1640071 |
| RTP-13               | Puente barrio San Pedrito      | 225936 | 1637177 |
| RTP-14               | Colonia Las Rosas              | 227735 | 1636901 |
| <b>RIO SHUSHO</b>    |                                |        |         |
| RSHUP-15             | Aldea Guior                    | 227848 | 1636353 |
| RSHUP-16             | Shusho en medio                | 227681 | 1636617 |
| RSHUP-17             | Puente Shusho                  | 227687 | 1636621 |
| RSHUP-18             | Colonia la Joya                | 229557 | 1646857 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

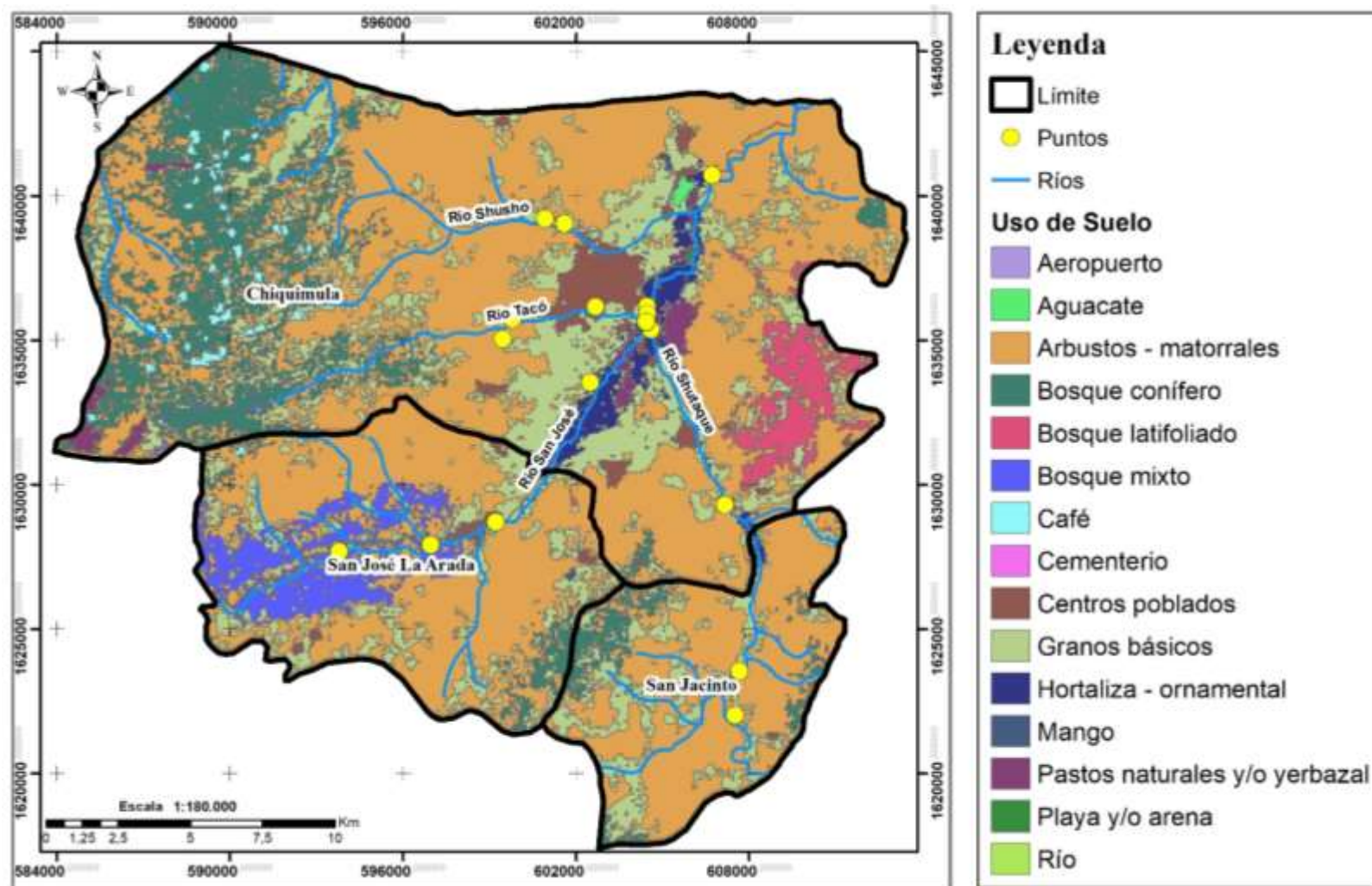
**Figura 11. Ubicación de los puntos de control en la red hidrológica superficial de los ríos San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

En la figura 12, se muestra que el área objeto de estudio se ve influenciada por diversas actividades humanas. Entre los usos que le dan al suelo alrededor a las fuentes de agua superficiales bajo estudio, destacan: la agricultura (hortalizas y granos básicos) y centros poblados.

Figura 12. Uso de suelo en la red hidrológica superficial de las microcuencas de los ríos San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula, 2015.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

## **9.2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho**

El estudio se realizó por un período de 12 meses, con monitoreos cada 3 meses (enero, abril, junio y octubre del 2015) donde se evaluaron 14 parámetros (temperatura, pH, conductividad, dureza, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, sólidos totales, turbidez, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales). Los valores obtenidos de cada parámetro se compararon con el límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) establecidos por la Comisión de Normas y Regulaciones de Guatemala (COGUANOR) para la calidad del agua y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Los resultados de los monitoreos se describen a continuación.

### **9.2.1 Temperatura del agua**

La temperatura del agua depende principalmente de las condiciones climáticas y la hora de ejecución del análisis, la temperatura influye en la solubilidad y disociación de las sales disueltas en el agua, y por lo tanto en la conductividad eléctrica y pH.

Los valores de temperatura en los cuatro monitores sobre la red hidrológica superficial de los ríos se muestran en el cuadro 12; donde se puede observar que los valores promedio de T° están entre: 22.96 °C a 29.08 °C, en los ríos Shutaque, San José, Tacó y Shusho superan el límite máximo aceptable (15 a 25 °C), debido a las condiciones climáticas en las microcuencas evaluadas, sin embargo ninguno de los valores superan el límite máximo permisible (34 °C).

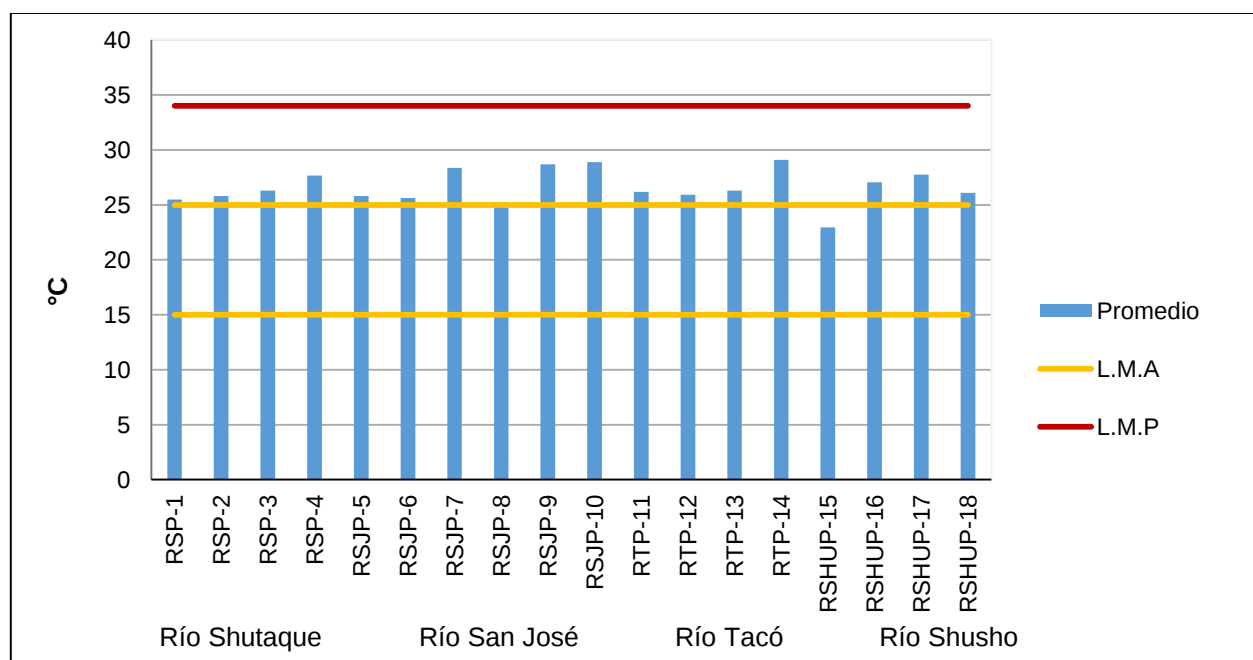
**Cuadro 12. Resultado de temperatura en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Temperatura  °C                                                                                                         |                                  |                             |                                       |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)           | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                       |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 19,08                       | 29,85                                 | 26,21                       | 26,80                         | 25,48    |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 19,10                       | 30,55                                 | 27,40                       | 26,20                         | 25,81    |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 18,40                       | 31,45                                 | 29,16                       | 26,20                         | 26,30    |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 20,85                       | 32,20                                 | 32,50                       | 25,11                         | 27,66    |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                       |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 19,75                       | 29,45                                 | 27,20                       | 26,75                         | 25,79    |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 20,60                       | 29,00                                 | 26,01                       | 26,90                         | 25,63    |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 20,85                       | 30,15                                 | 33,01                       | 29,45                         | 28,36    |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 20,60                       | 25,90                                 | 26,65                       | 27,75                         | 25,23    |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 21,25                       | 35,10                                 | 33,80                       | 24,55                         | 28,68    |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 25,70                       | 34,30                                 | 27,15                       | 28,45                         | 28,90    |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                       |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 26,80                       | 27,95                                 | 23,20                       | 26,80                         | 26,19    |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 25,65                       | 25,85                                 | 25,75                       | 26,45                         | 25,93    |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 23,65                       | 28,80                                 | 26,20                       | 26,50                         | 26,29    |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 27,30                       | ----                                  | 33,95                       | 26,00                         | 29,08    |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                       |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 18,40                       | 27,70                                 | 22,45                       | 23,30                         | 22,96    |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 22,75                       | 29,80                                 | 31,50                       | 24,15                         | 27,05    |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 24,25                       | 31,10                                 | 31,45                       | 24,15                         | 27,74    |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 26,85                       | ----                                  | ----                        | 25,35                         | 26,10    |
| Límite Máximo Aceptable -LMA- 15 a 25  °C                                                                               |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP- 34  °C |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                       |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015

De acuerdo a los resultados anteriores, se puede determinar el río Tacó presenta la temperatura del agua más alta, en comparación con los demás, obteniendo promedios con valores desde (25.93°C a 29.08°C). Mientras que los ríos Shutaque, San José y Shusho, sobrepasan ligeramente el límite máximo aceptable, como se observa en la gráfica 1.

**Gráfica 1. Valores promedio de temperatura en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015

### **9.2.2 Potencial de hidrógeno**

Este parámetro es uno de los de mayor importancia en la determinación de la calidad del agua, el pH indica el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua.

En el cuadro 13, se presentan los resultados de pH en los cuatro monitoreos. Para el río Shutaque, el pH promedio está entre 8.09 y 8.23 unidades; para el río San José el pH promedio entre 8.10 y 8.58 unidades; para el río Tacó el pH promedio entre 7.97 y 8.68 unidades; y para el río Shusho el pH promedio entre 8.48 y 8.53 unidades.

El pH alcalino en los ríos se debe a la influencia de dos factores principales: terreno con alto contenido de material calizo y la contaminación por aguas residuales, debido a la presencia de detergentes químicos u otros agentes de limpieza.

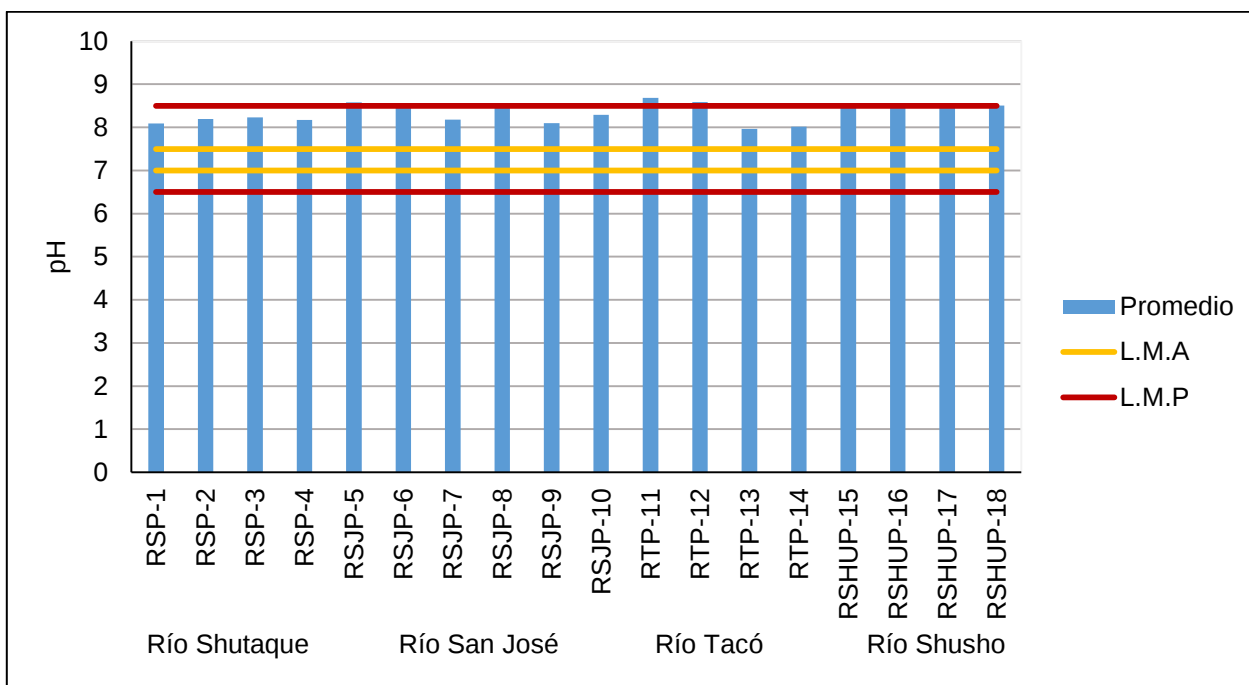
**Cuadro 13. Resultado de potencial de hidrogeno pH, en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial del río San José, río Shutaque, río Tacó y río Shusho, 2015.**

| Potencial de hidrógeno pH                                                                                               |                                  |                             |                                          |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)              | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                          |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 8,09                        | 8,67                                     | 7,72                        | 7,89                          | 8,09     |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 8,18                        | 8,72                                     | 7,90                        | 7,99                          | 8,20     |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 8,10                        | 8,75                                     | 8,00                        | 8,08                          | 8,23     |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 7,98                        | 8,52                                     | 8,18                        | 8,00                          | 8,17     |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                          |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 8,76                        | 8,98                                     | 8,50                        | 8,11                          | 8,58     |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 8,81                        | 8,86                                     | 8,24                        | 8,13                          | 8,51     |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 8,01                        | 8,61                                     | 8,09                        | 8,04                          | 8,18     |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 8,70                        | 8,84                                     | 8,17                        | 8,15                          | 8,46     |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 8,04                        | 8,30                                     | 8,01                        | 8,04                          | 8,10     |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 8,42                        | 8,37                                     | 8,26                        | 8,12                          | 8,29     |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                          |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 8,77                        | 8,68                                     | 8,59                        | 8,71                          | 8,68     |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 8,34                        | 8,70                                     | 8,60                        | 8,71                          | 8,58     |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 7,97                        | 7,72                                     | 8,00                        | 8,18                          | 7,97     |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 7,90                        | ----                                     | 8,11                        | 8,05                          | 8,02     |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                          |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 8,18                        | 8,52                                     | 8,59                        | 8,65                          | 8,48     |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 8,26                        | 8,45                                     | 8,69                        | 8,61                          | 8,50     |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 8,37                        | 8,51                                     | 8,65                        | 8,59                          | 8,53     |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 8,48                        | ----                                     | ----                        | 8,53                          | 8,50     |
| Límite Máximo Aceptable -LMA- 7 a 7.5                                                                                   |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP- 6.5 a 8.5 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                          |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

El pH se ve influenciado principalmente por la contaminación proveniente de las actividades humanas; sin embargo, la variación en los puntos es solo de 1 unidad, debido a que la mayor parte de los valores se encuentran entre 7 y 8, lo cual se considera pH neutro a ligeramente alcalino (anexo 1).

**Gráfica 2. Valores promedio de potencial de hidrógeno en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial del río Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

### **9.2.3 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica del agua se define como la capacidad del agua para conducir electricidad a través de ella. En soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor es la concentración, mayor es la conductividad.

Es importante indicar que en los puntos de control se encontraron con concentraciones elevadas en sólidos totales y dureza, esto provoca aumento en la conductividad eléctrica.

En el cuadro 14, se presentan los resultados de la conductividad eléctrica en cada punto de control, donde se observa que el río Shutaque presentó valores promedio entre 253.16 y 327.82  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; el río San José presenta valores promedio entre 387.69 y 492.69  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; el río Tacó presenta valores promedio entre 436.56 y 561.63  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y el río Shusho presenta valores promedio entre 385.19 y 489.13, en ningún punto de control los valores superan el límite máximo permisible (LMP) de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  según la norma COGUANOR.

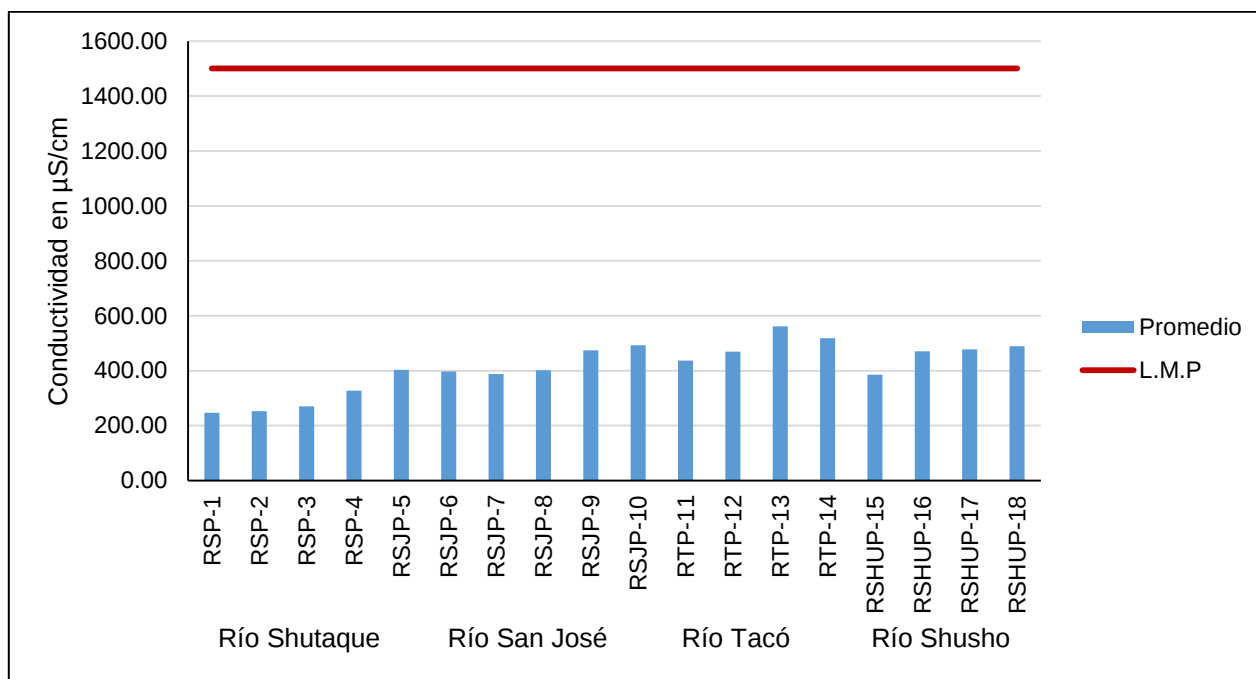
**Cuadro 14. Resultado de la conductividad eléctrica del agua, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$                                                                                   |                                  |                             |                                        |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)            | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                        |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 308,30                      | 380,25                                 | 148,70                      | 151,10                        | 247,09   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 312,35                      | 385,00                                 | 153,83                      | 161,45                        | 253,16   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 330,00                      | 409,25                                 | 169,90                      | 171,85                        | 270,25   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 360,00                      | 510,00                                 | 262,00                      | 179,28                        | 327,82   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                        |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 402,29                      | 525,00                                 | 468,00                      | 215,98                        | 402,82   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 450,50                      | 526,75                                 | 394,75                      | 217,60                        | 397,40   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 489,25                      | 293,25                                 | 474,00                      | 294,25                        | 387,69   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 496,30                      | 547,00                                 | 330,00                      | 232,25                        | 401,39   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 510,80                      | 715,25                                 | 436,25                      | 236,50                        | 474,70   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 580,25                      | 649,75                                 | 481,00                      | 259,75                        | 492,69   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                        |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 400,00                      | 492,00                                 | 364,00                      | 490,25                        | 436,56   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 498,02                      | 502,50                                 | 382,00                      | 493,75                        | 469,07   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 502,00                      | 640,50                                 | 564,75                      | 539,25                        | 561,63   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 510,00                      | ----                                   | 527,00                      | ----                          | 518,50   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                        |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 330,00                      | 449,75                                 | 371,50                      | 389,50                        | 385,19   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 360,25                      | 612,00                                 | 473,75                      | 436,75                        | 470,69   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 410,00                      | 591,00                                 | 475,50                      | 436,25                        | 478,19   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 502,00                      | ----                                   | ----                        | 476,25                        | 489,13   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no se registra                                                                           |                                  |                             | Límite Máximo Permissible -LMP-: <1500 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                        |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

La gráfica 3, muestran que el 100% de los puntos de control, la conductividad eléctrica del agua se encuentra por debajo del límite máximo permisible ( $\geq 1,500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). El punto de control con mayor conductividad eléctrica es RTP-13 perteneciente al río Tacó (561.63  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

**Gráfica 3. Valores promedio de la conductividad eléctrica en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

Al comparar los valores de la conductividad eléctrica en los ríos estudiados, se pudo determinar que estos se encuentran entre los parámetros normales para el agua superficial de los ríos, siendo el valor más alto el del punto RTP-13 del río Tacó (561.63  $\mu\text{S/cm}$ ) (anexo 2).

#### 9.2.4 Dureza

La dureza se define como la concentración de carbonato de calcio y carbonato de magnesio en el agua, es uno de los parámetros significativos en la calidad del agua. La influencia que tiene la dureza en la calidad del agua, es que disminuye el oxígeno a medida que está aumenta.

En el cuadro 15, se presentan los resultados de dureza en los puntos de control, donde se observa que el río Shutaque presenta valores promedio entre 149.16 y 183.48 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ; el río San José presenta valores promedio entre 139.92 y 273.24 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ; el río Tacó presenta valores promedio de dureza entre 250.80 y 313.28 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ; y el río Shusho presenta valores promedio entre 227.04 y 314.16 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

Los valores de dureza superan el límite máximo aceptable (LMA) de 100 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , pero no el límite máximo permisible (500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ya que las concentraciones promedio están entre 110.88 mg/l y 327.36 mg/l, por lo que el agua se puede clasificar en “moderadamente dura” y “dura”.

La dureza en ambas épocas muestra un cambio significativo; en la época seca (enero y abril) el agua tiene mayor dureza, la cual disminuye en la época lluviosa (julio y octubre). El aumento de la dureza en la época seca se debe a dos factores: la temperatura del agua aumenta provocando que las sales sean más solubles, el caudal disminuye por lo que existe una reconcentración de sales disueltas. En cuanto a la disminución de la concentración de dureza en la época lluviosa, se debe a la disminución de la temperatura del agua y aumento el caudales.

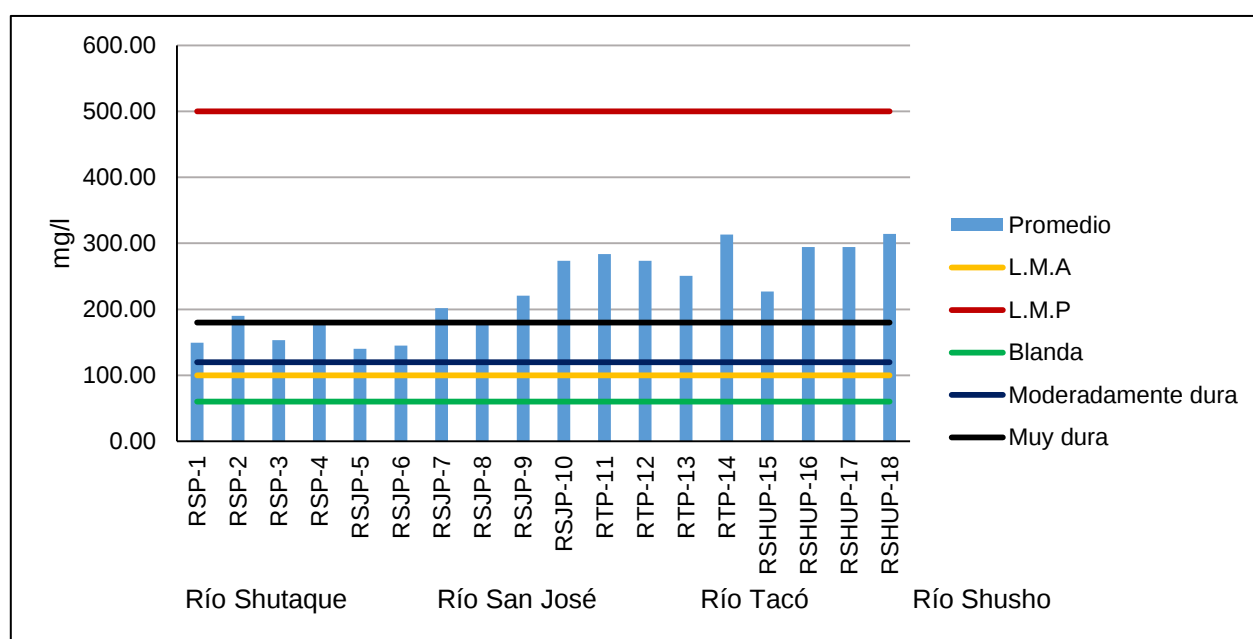
**Cuadro 15. Resultado de dureza, en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Dureza mg/l CaCO <sub>3</sub>                                                                                           |                                  |                             |                                     |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)         | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                     |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 200,64                      | 195,36                              | 89,76                       | 110,88                        | 149,16   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 290,40                      | 237,60                              | 84,48                       | 147,84                        | 190,08   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 232,32                      | 216,48                              | 105,60                      | 58,08                         | 153,12   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 248,16                      | 242,88                              | 132,00                      | 110,88                        | 183,48   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                     |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 168,96                      | 153,12                              | 121,44                      | 116,16                        | 139,92   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 174,24                      | 158,40                              | 126,72                      | 121,44                        | 145,20   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 242,88                      | 227,04                              | 179,52                      | 158,40                        | 201,96   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 211,20                      | 179,52                              | 205,92                      | 110,88                        | 176,88   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 316,80                      | 242,88                              | 158,40                      | 163,68                        | 220,44   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 237,60                      | 575,52                              | 142,56                      | 137,28                        | 273,24   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                     |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 359,04                      | 264,00                              | 190,08                      | 322,08                        | 283,80   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 264,00                      | 269,28                              | 232,32                      | 327,36                        | 273,24   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 216,48                      | 253,44                              | 216,48                      | 316,80                        | 250,80   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 258,72                      | ----                                | 353,76                      | 327,36                        | 313,28   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                     |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 227,04                      | 163,68                              | 264,00                      | 253,44                        | 227,04   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 300,96                      | 359,04                              | 237,60                      | 279,84                        | 294,36   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 311,52                      | 269,28                              | 311,52                      | 285,12                        | 294,36   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 332,64                      | ----                                | ----                        | 295,68                        | 314,16   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: 100                                                                                      |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 500 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                     |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la gráfica 4, se puede observar que 12 puntos de control presentan concentraciones de dureza superiores a 180 mg/l, donde el agua se clasifica como “Muy Dura”, estos puntos se encuentran en los ríos Shutaque, San José, Tacó y Shusho. La dureza en el agua se debe a características puramente geológica; es decir, depende del tipo de rocas presentes en los ríos. Por lo tanto, la alta concentración de dureza en los ríos, demuestra que los suelos son ricos en carbonato de calcio y carbonato de magnesio.

**Gráfica 4. Valores promedio de dureza en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

Los resultados muestran que existe relación entre la conductividad, dureza y sólidos totales, dado que su comportamiento es similar. Sin embargo, la dureza aumenta a lo largo de las microcuencas. Los puntos establecidos en la parte baja de las microcuencas presentan mayor concentración de dureza, esto se debe principalmente a la contaminación por aguas residuales proveniente de los centros poblados sin ningún tipo de tratamiento (anexo 3).

Según La Organización Mundial de la Salud (OMS), clasifica la dureza del agua de la siguiente forma.

**Cuadro 16. Clasificación de la dureza del agua según la OMS.**

| Dureza (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) | Tipos de agua      |
|--------------------------------|--------------------|
| 0 – 60                         | Blanda             |
| 61 – 120                       | Moderadamente dura |
| 121 – 180                      | Dura               |
| Mayor de 180                   | Muy dura           |

Fuente: OMS (2006)

### **9.2.5 Nitratos ( $\text{NO}_3$ )**

Los nitratos son elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, pero cuando las cantidades son excesivas en el agua, provocan el crecimiento de las algas verdes cianofíceas y por consiguiente, impiden la oxigenación del agua. El nitrato es la fase final del ciclo del proceso de nitrificación y se forma como resultado de la actuación de las bacterias aerobias.

En la red hidrológica superficial, la presencia de nitratos es evidente en la escorrentía, producto de la infiltración y arrastre de fertilizantes, el percolado de tanques sépticos, las redes de alcantarillados y letrinas son otras formas de contaminación con nitratos del agua superficial y subterránea.

En el cuadro 17, se presentan los resultados para los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 0.892 y 2.024 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 1.109 y 1.685 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio de nitratos entre 0.810 y 1.109 mg/l; y el río Shusho presenta valores promedio entre 0.713 y 1.1984 mg/l.

El cuarto monitoreo realizado en el mes de octubre presentó concentraciones elevadas de nitratos en el agua, posiblemente debido a las aplicaciones de fertilizantes que se realizan en la producción agrícola, los cuales son arrastrados por la escorrentía hacia el cauce de los ríos, es importante indicar que los niveles de nitratos no superan límite máximo establecido en la norma COGUANOR de 10 mg/l.

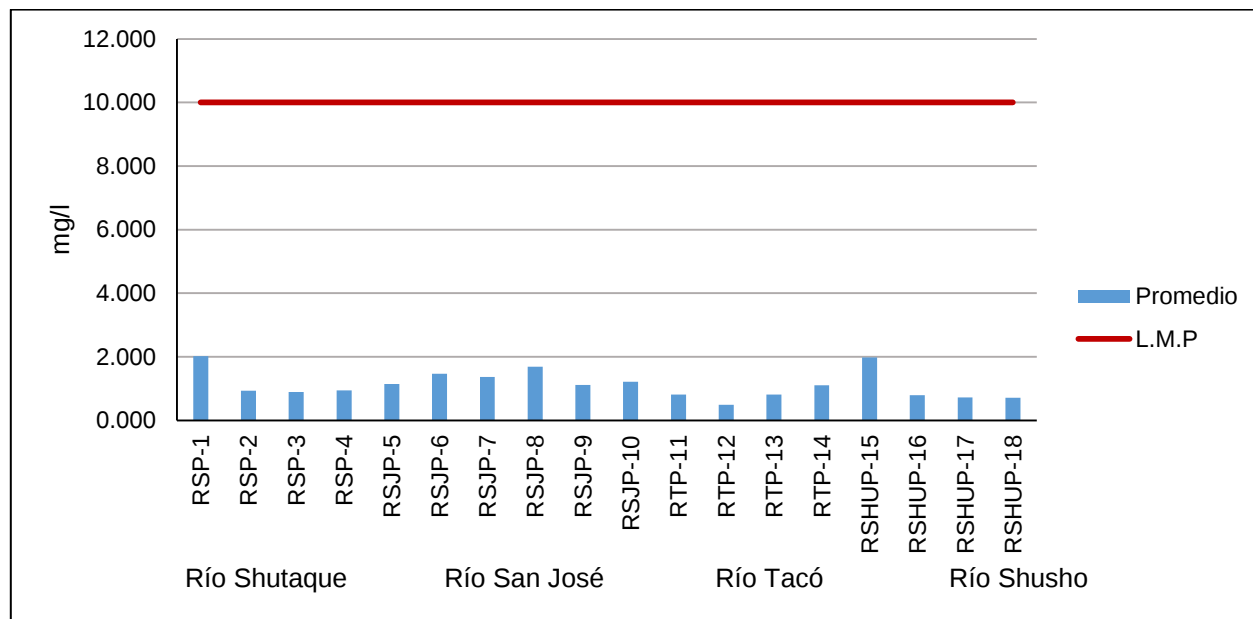
**Cuadro 17. Resultado de Nitratos en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Nitratos NO <sub>3</sub> en mg/l                                                                                        |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)        | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 0,516                       | 4,416                              | 2,133                       | 1,031                         | 2,024    |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 0,454                       | 0,660                              | 1,690                       | 0,939                         | 0,936    |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 0,557                       | 0,932                              | 1,103                       | 0,976                         | 0,892    |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 0,323                       | 0,774                              | 0,932                       | 1,726                         | 0,939    |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 0,315                       | 0,465                              | 1,685                       | 2,117                         | 1,145    |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 0,402                       | 0,527                              | 2,160                       | 2,764                         | 1,463    |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 0,859                       | 0,709                              | 1,239                       | 2,660                         | 1,367    |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 0,484                       | 0,455                              | 3,101                       | 2,700                         | 1,685    |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 0,745                       | 1,071                              | 1,106                       | 1,516                         | 1,109    |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 0,389                       | 1,031                              | 1,372                       | 2,053                         | 1,211    |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,408                       | 0,702                              | 0,658                       | 1,486                         | 0,813    |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 0,500                       | 0,605                              | 0,557                       | 0,313                         | 0,494    |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 0,938                       | 0,580                              | 0,516                       | 1,208                         | 0,810    |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 0,951                       | ----                               | 1,277                       | 1,099                         | 1,109    |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 0,821                       | 0,821                              | 0,620                       | 5,674                         | 1,984    |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 0,696                       | 0,696                              | 0,560                       | 1,236                         | 0,797    |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 0,698                       | 0,698                              | 0,427                       | 1,060                         | 0,721    |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 0,826                       | 0,826                              | ----                        | 0,601                         | 0,713    |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: ---                                                                                      |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 10 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia 2015.

En la gráfica 5, se puede observar que los puntos de control que presentan mayores valores de nitratos son: RSP-1 (río Shutaque), RSPJ-8 (río San José), RTP-14 (río Tacó) y RSHUP-15 (río Shusho), sin embargo, los valores no superan el límite máximo permisible (10 mg/l).

**Gráfica 5. Valores promedio de Nitratos en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

La concentración de nitratos, aumenta ligeramente en los puntos de control cercanos a los centros poblados, y disminuyen a lo largo del cauce hasta cerca de otro centro poblado o zona agrícola (figura 12 y anexo 4).

### **9.2.6 Oxígeno disuelto**

El oxígeno es el elemento para todas las formas de vida, por lo tanto, el agua necesita determinada cantidad de oxígeno disuelto (mayor a 5 mg/l). Los procesos naturales de purificación de las corrientes de agua requieren niveles de oxígeno adecuados para posibilitar la existencia de formas de vida aeróbicas; cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua están por debajo de 5,0 mg/l la vida acuática está en peligro.

Es uno de los parámetros in-situ que puede considerarse de mayor fluctuación y mayor impacto en la calidad del agua, porque sirve como oxidante en los procesos de autodepuración. Los factores externos que tiene mayor influencia en la solubilidad del oxígeno, se encuentra la temperatura ambiente porque a mayor temperatura disminuye el factor de solubilidad del oxígeno.

En el cuadro 18, se presentan los resultados promedio de oxígeno disuelto para los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 8.23 y 8.74 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 7.34 y 8.90 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio entre 3.79 y 6.97 mg/l; y el río Shusho presenta valores promedio entre 7.45 y 11.21 mg/l.

El río Taco presenta los valores más bajos de oxígeno disuelto, debido a la carga de contaminación que recibe, al bajo caudal en la época seca, así mismo se observa en leve aumento de oxígeno en la época lluviosa. El punto RTP-14 (río Tacó) es el que se encuentra por debajo del límite máximo permisible (4 mg/l).

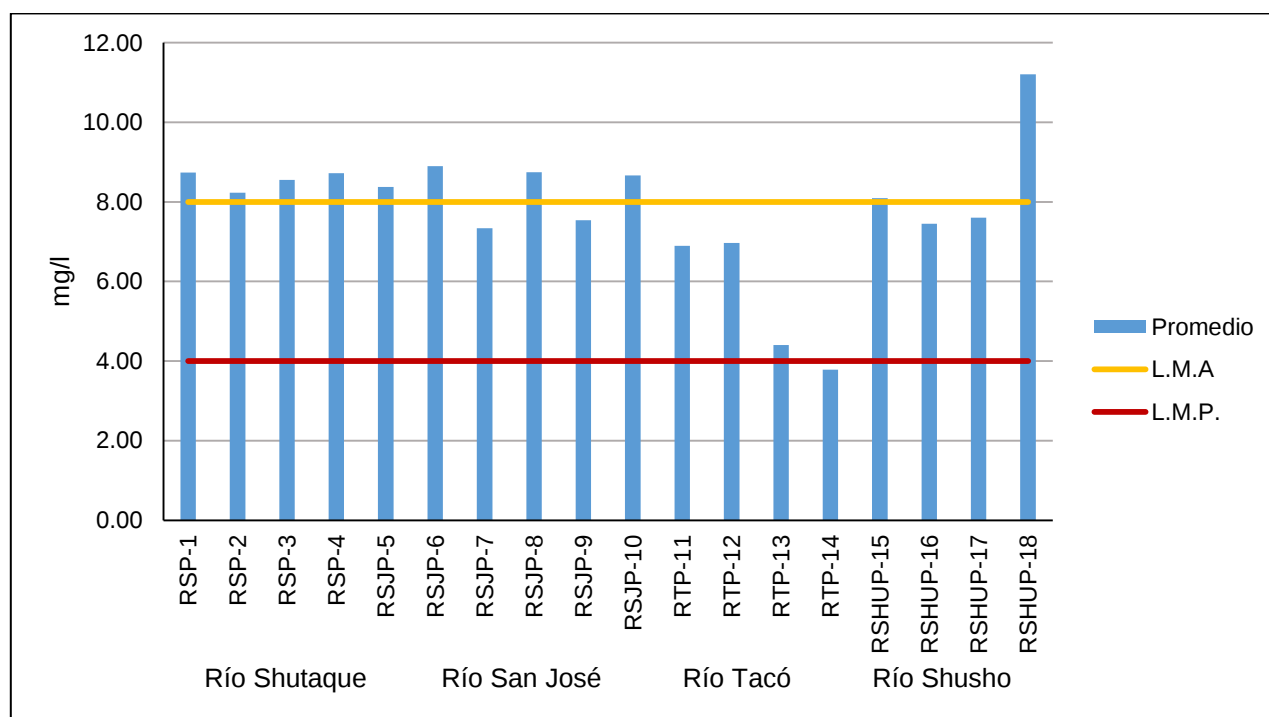
**Cuadro 18. Resultado de oxígeno disuelto en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Oxígeno disuelto mg/l                                                                                                   |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)       | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 7,71                        | 12,19                             | 7,55                        | 7,53                          | 8,74     |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 7,77                        | 10,14                             | 7,45                        | 7,56                          | 8,23     |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 8,13                        | 11,10                             | 7,28                        | 7,72                          | 8,56     |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 6,26                        | 13,67                             | 7,10                        | 7,88                          | 8,73     |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 9,63                        | 8,65                              | 7,59                        | 7,65                          | 8,38     |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 11,33                       | 9,05                              | 7,63                        | 7,59                          | 8,90     |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 7,58                        | 9,02                              | 5,93                        | 6,83                          | 7,34     |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 10,28                       | 9,97                              | 7,24                        | 7,50                          | 8,75     |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 8,03                        | 9,70                              | 4,66                        | 7,76                          | 7,54     |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 8,04                        | 12,60                             | 6,85                        | 7,19                          | 8,67     |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 4,08                        | 7,91                              | 8,06                        | 7,53                          | 6,89     |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 4,01                        | 8,28                              | 8,06                        | 7,54                          | 6,97     |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 2,96                        | 1,40                              | 8,11                        | 5,16                          | 4,40     |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 1,56                        | ----                              | 5,11                        | 4,70                          | 3,79     |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 8,71                        | 7,81                              | 7,95                        | 7,93                          | 8,10     |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 8,48                        | 6,62                              | 6,83                        | 7,89                          | 7,45     |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 9,06                        | 6,46                              | 6,99                        | 7,90                          | 7,60     |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 14,49                       | ----                              | ----                        | 7,92                          | 11,21    |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: 8                                                                                        |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 4 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

Como se puede observar en la gráfica 6, el 50% de los ríos en total presentan concentraciones superiores al límite máximo aceptable (8mg/l), mientras que el otro 50% se encuentra debajo de dicho límite, siendo el punto RPT-14 el que presenta una concentración debajo del límite máximo permisible (4 mg/l). Dichos resultados son un indicador que las fuentes de agua tienen una oxigenación natural media.

**Gráfica 6. Valores promedio de oxígeno disuelto en los 18 puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

El comportamiento del oxígeno disuelto en la red hidrológica, se mantiene estable sobre cauce del río San José; sin embargo, éste disminuye cuando se une la corriente del río Tacó, que después de pasar por la ciudad de Chiquimula presenta alta contaminación bacteriológica, factor que influye de manera directa en el al oxígeno disuelto del agua (anexo 5).

### **9.2.7 Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>**

La demanda biológica de oxígeno se analiza para determinar los requerimientos de oxígeno que permita la degradación de la materia orgánica en los cuerpos de agua, con el objeto de calcular los efectos adversos que provocan las descargas de efluentes domésticos e industriales sobre la calidad del agua de los cuerpos receptores.

La Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT- junto con la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) ha establecido un límite máximo permisible (LMP) de 30 mg/l para el agua de uso público urbano y protección de vida acuática.

En el cuadro 19, se presentan los resultados de los monitoreos de DBO<sub>5</sub> para los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 33.75 y 39.88 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 38.27 y 52.70 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio entre 31.35 y 51.38 mg/l; y el río Shusho presenta valores promedio entre 36.24 y 57.35 mg/l; dichos valores superan el límite máximo permisible (30 mg/l) de acuerdo a la norma mexicana NOM-001 SEMANART.

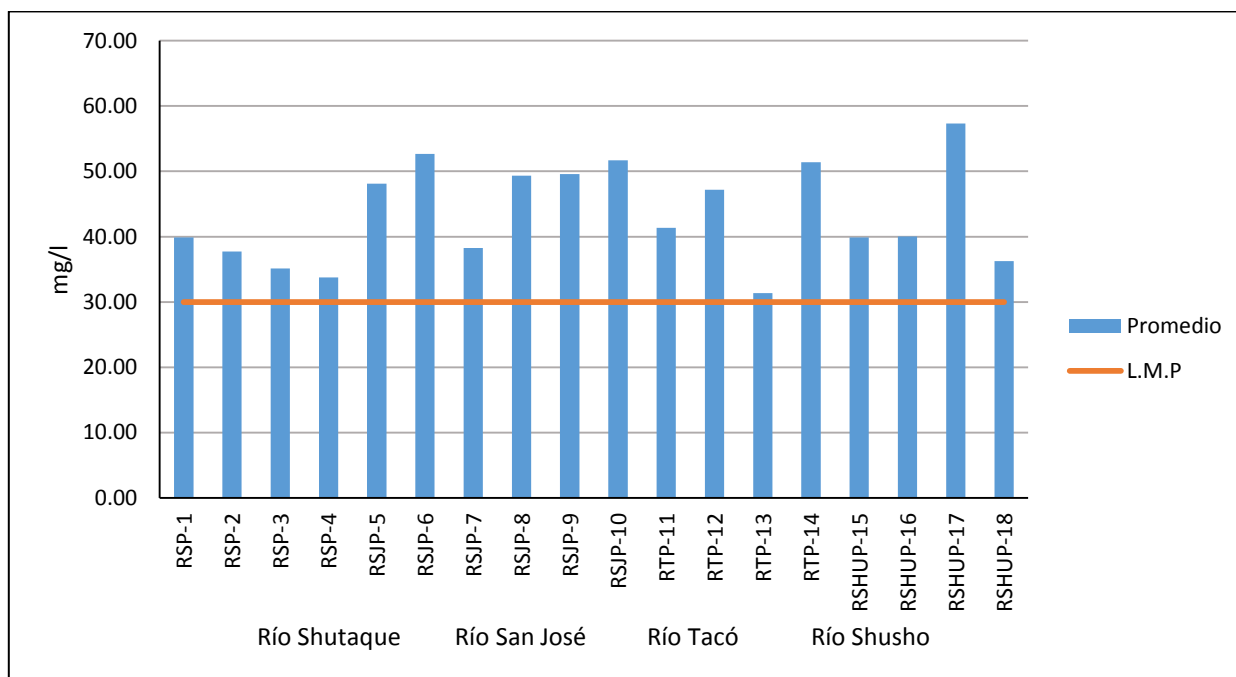
**Cuadro 19. Resultado de Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| DBO <sub>5</sub> en mg/l                                                                                                |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)        | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 21,51                       | 42,87                              | 62,19                       | 32,94                         | 39,88    |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 26,88                       | 41,07                              | 57,72                       | 25,17                         | 37,71    |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 22,44                       | 39,51                              | 53,79                       | 24,75                         | 35,12    |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 18,78                       | 41,88                              | 55,08                       | 19,26                         | 33,75    |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 32,79                       | 44,64                              | 85,17                       | 29,82                         | 48,11    |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 59,88                       | 46,56                              | 84,81                       | 19,53                         | 52,70    |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 22,86                       | 36,84                              | 67,32                       | 26,04                         | 38,27    |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 25,77                       | 57,84                              | 90,03                       | 23,70                         | 49,34    |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 28,56                       | 65,46                              | 78,48                       | 25,83                         | 49,58    |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 30,54                       | 64,68                              | 88,98                       | 22,65                         | 51,71    |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 26,55                       | 72,21                              | 46,89                       | 19,83                         | 41,37    |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 35,22                       | 92,61                              | 38,55                       | 22,41                         | 47,20    |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 19,26                       | 19,02                              | 26,04                       | 61,08                         | 31,35    |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 97,80                       | ----                               | 54,09                       | 2,25                          | 51,38    |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 20,97                       | 85,32                              | 34,74                       | 18,54                         | 39,89    |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 9,48                        | 87,27                              | 37,80                       | 25,59                         | 40,04    |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 89,13                       | 85,14                              | 36,15                       | 18,96                         | 57,35    |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 47,37                       | ----                               | ----                        | 25,11                         | 36,24    |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no registra                                                                              |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 30 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                    |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

La gráfica 7, muestra que el agua de los ríos bajo estudio tiene altos niveles de  $\text{DBO}_5$ , debido principalmente a la presencia de materia orgánica, producto de la descarga de aguas residuales de los centros poblados como San Jacinto, San José la Arada y la ciudad de Chiquimula.

**Gráfica 7. Valores promedio de demanda biológica de oxígeno  $\text{DBO}_5$  en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

La Demanda Biológica de Oxígeno está relacionada con la presencia de materia orgánica, la cual requiere de oxígeno para su degradación, al existir alto contenido de materia orgánica, en muchos casos producto de la contaminación que sufren los cuerpos de agua, los niveles de oxígeno disminuyen y aumenta la  $\text{DBO}_5$ , lo que afecta la calidad del agua y la vida acuática, lo que afecta la calidad del agua y la vida acuática porque existen especies acuáticas que no sobreviven en agua con niveles altos de  $\text{DBO}_5$  por la ausencia de oxígeno (anexo 6).

### **9.2.8 Turbidez (NTU)**

Turbidez es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión, cuanta más concentración de sólidos en suspensión hay en el líquido más turbio parecerá y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua cuanto más turbia, menor será su calidad, porque las partículas suspendidas ayudan a la adhesión de metales pesados y otros compuestos orgánicos tóxicos.

La turbidez es un parámetro importante en el agua natural porque la actividad fotosintética depende de la penetración de la luz y las aguas turbias presentan una actividad fotosintética más débil.

En el cuadro 20, se muestran los resultados de turbidez de los monitoreos en los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 40.03 y 42.48 NTU; el río San José presenta valores promedio entre 44.66 y 154.71 NTU; el río Tacó presenta valores promedio entre 85.56 y 202.45 NTU y el río Shusho presenta valores promedio entre 6.55 y 16.19 NTU.

La época del año tiene mucha influencia sobre la turbidez, los análisis muestran que en la época lluviosa (julio y octubre) los niveles de turbidez aumentan por el arrastre de materia orgánica y sólidos disueltos en el agua de escorrentía.

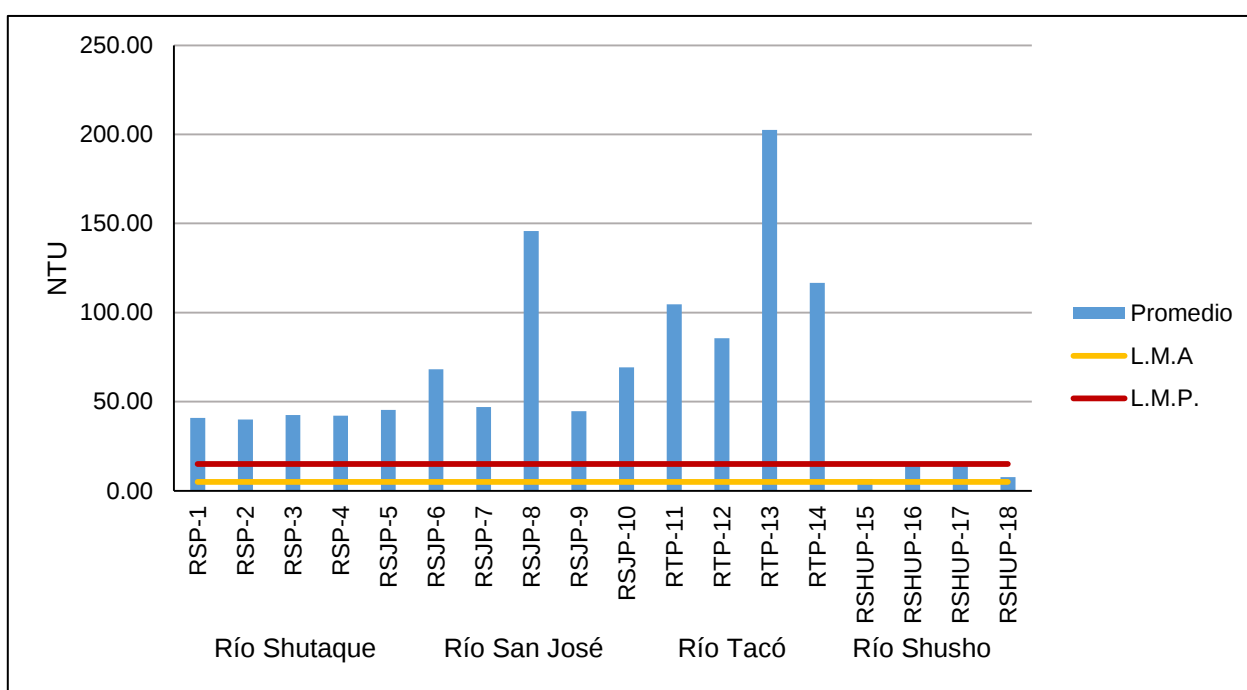
**Cuadro 20. Resultado de turbidez en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Turbidez NTU                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)          | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 2,76                        | 6,11                                 | 64,05                       | 90,90                         | 40,96    |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 2,78                        | 4,21                                 | 90,00                       | 63,15                         | 40,03    |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 1,93                        | 5,25                                 | 78,10                       | 84,65                         | 42,48    |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 1,67                        | 3,29                                 | 57,25                       | 106,50                        | 42,18    |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 7,65                        | 17,10                                | 90,40                       | 66,00                         | 45,29    |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 7,31                        | 18,75                                | 179,50                      | 67,50                         | 68,27    |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 4,00                        | 3,20                                 | 120,00                      | 61,00                         | 47,05    |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 5,69                        | 20,15                                | 486,00                      | 71,00                         | 145,71   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 4,69                        | 13,45                                | 57,50                       | 103,00                        | 44,66    |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 3,76                        | 4,65                                 | 201,50                      | 67,00                         | 69,23    |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,74                        | 11,70                                | 33,00                       | 373,00                        | 104,61   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 6,43                        | 10,80                                | 23,50                       | 301,50                        | 85,56    |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 44,80                       | 342,50                               | 22,00                       | 400,50                        | 202,45   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 52,55                       | ----                                 | 15,50                       | 282,00                        | 116,68   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 5,86                        | 3,85                                 | 5,50                        | 11,00                         | 6,55     |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 3,82                        | 3,65                                 | 4,00                        | 50,00                         | 15,37    |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 2,75                        | 6,00                                 | 3,00                        | 53,00                         | 16,19    |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 3,69                        | ----                                 | ----                        | 11,50                         | 7,59     |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: 5,0                                                                                      |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 15,0 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

Se puede observar en la gráfica 8, que en 14 puntos de control los niveles promedios son superiores al límite máximo aceptable y permisible, únicamente 1 punto de control presenta niveles promedio inferiores al límite máximo permisible, y como se mencionó anteriormente, las partículas suspendidas en el agua de la corriente superficial en la época lluviosa aumentan la turbidez, disminuyendo la actividad fotosintética y por lo tanto la calidad del agua.

**Gráfica 8. Valores promedio de turbidez en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

La turbidez se encuentra influenciada por la concentración de sólidos totales que posee el agua (anexo 7 y 8). Como se muestra en el anexo 18, existe una mayor concentración de turbidez en la desembocadura del río Shusho y el río Tacó, dado que reciben una carga de contaminación mayor y poseen vertederos de desechos sólidos al pasar por la ciudad de Chiquimula.

### **9.2.9 Sólidos totales**

Los sólidos totales están compuestos por los sólidos filtrables disueltos y los suspendidos, siendo un parámetro importante para determinar la calidad del agua.

La concentración de sólidos en el agua puede provocar un sabor y olor desagradables, aumentar la salinidad, provocar variaciones en la solubilidad del oxígeno. Los sólidos disueltos provienen de aguas residuales, la erosión natural y las prácticas agrícolas.

El cuadro 21, muestra los resultados promedio de sólidos totales para los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 255 y 452 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 432 y 897 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio entre 425 y 892 mg/l y el río Shusho presenta valores promedio entre 268 y 550 mg/l. Siendo los puntos: RSJP-6, RSJP-8, RSJP-10, del río San José; RTP-12, RTP-13, RTP-14, del río Tacó; y RSHUP-16 del río Shusho, con mayor concentración de sólidos totales, sobrepasando el límite máximo aceptable (500 mg/L).

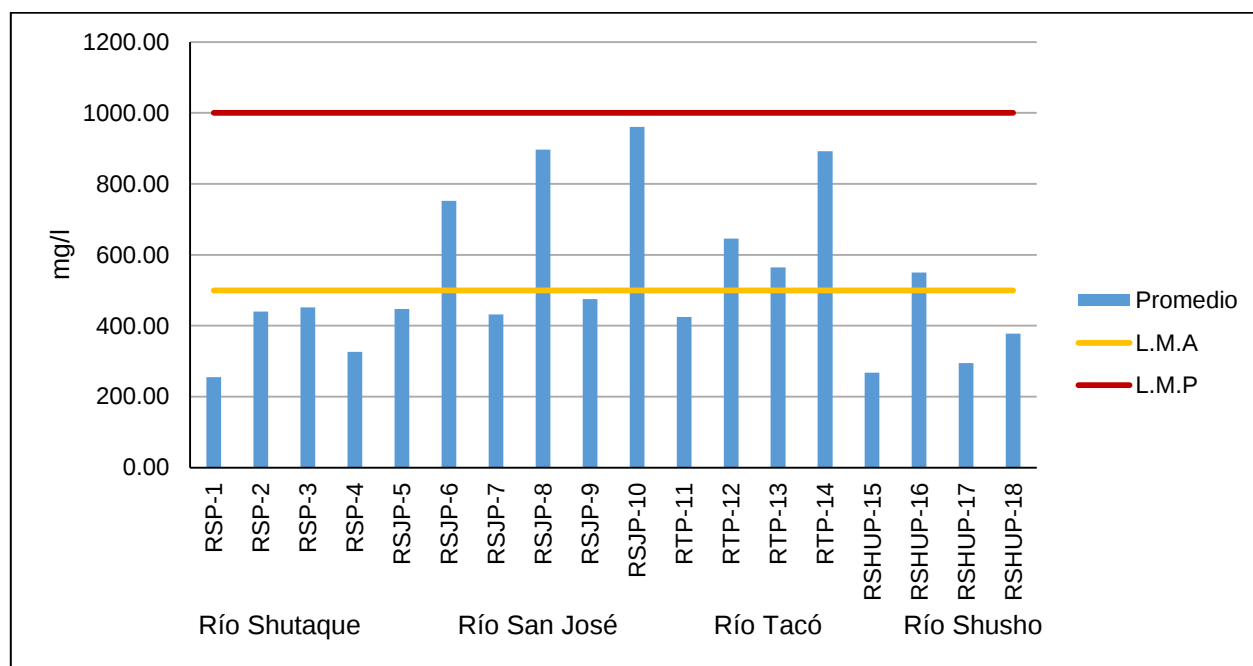
**Cuadro 21. Resultado de solidos totales, en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Sólidos totales mg/l                                                                                                    |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)          | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 212,00                      | 324,00                               | 268,00                      | 216,00                        | 255,00   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 248,00                      | 224,00                               | 400,00                      | 888,00                        | 440,00   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 264,00                      | 272,00                               | 396,00                      | 876,00                        | 452,00   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 300,00                      | 472,00                               | 302,80                      | 232,00                        | 326,70   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 356,00                      | 436,00                               | 756,00                      | 240,00                        | 447,00   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 356,00                      | 456,00                               | 1288,00                     | 908,00                        | 752,00   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 468,00                      | 384,00                               | 512,00                      | 364,00                        | 432,00   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 392,00                      | 356,00                               | 2476,00                     | 364,00                        | 897,00   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 468,00                      | 416,00                               | 680,00                      | 336,00                        | 475,00   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 436,00                      | 384,00                               | 2732,00                     | 292,00                        | 961,00   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 280,00                      | 248,00                               | 544,00                      | 628,00                        | 425,00   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 412,00                      | 260,00                               | 668,00                      | 1244,00                       | 646,00   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 640,00                      | 368,00                               | 472,00                      | 780,00                        | 565,00   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 672,00                      | ----                                 | 512,00                      | 1492,00                       | 892,00   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 364,00                      | 216,00                               | 296,00                      | 196,00                        | 268,00   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 476,00                      | 448,00                               | 308,00                      | 968,00                        | 550,00   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 304,00                      | 356,00                               | 340,00                      | 180,00                        | 295,00   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 456,00                      | ----                                 | ----                        | 300,00                        | 378,00   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: 500                                                                                      |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 1000 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la siguiente gráfica, se puede observar que en 7 puntos de control los sólidos totales superan el límite máximo aceptable (LMA), pero no el límite máximo permisible (LMP), de acuerdo a este parámetro la mayor parte de los puntos de control tienen agua con concentraciones de sólidos inferiores al límite máximo permisible.

**Gráfica 9. Valores promedio de los de sólidos totales en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

Los sólidos totales tienen relación con la turbidez, porque los puntos que registraron mayor concentración de sólidos totales también tienen mayor turbidez, (anexo 7 y 8).

### **9.2.10 Nitritos NO<sub>2</sub>**

Los nitritos son compuestos no deseados en el agua de consumo público, la presencia se debe a la oxidación incompleta del amoníaco con la reducción de nitratos existentes en el agua. La reducción de nitratos a nitritos se lleva a cabo por la acción bacteriana, el agua que contenga nitritos se considera sospechosa de una contaminación reciente por materias fecales.

La Organización Mundial de la Salud -OMS- establece el límite para nitritos de 3 mg/l, para este estudio se utilizó como referencia el límite máximo permisible (LMP) establecido en la norma COGUANOR el cual es de 1 mg/l.

El cuadro 22, muestra los niveles promedio de nitritos de los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 0.0122 y 0.0175 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 0.0109 y 0.0891 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio entre 0.0201 y 0.0542 mg/l y el río Shusho presenta valores promedio entre 0.0033 y 0.0274 mg/l. Sin embargo, todos los puntos de control se encuentran por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la norma COGUANOR (1 mg/l). Es importante indicar que la mayor concentración nitritos se registró en la época lluviosa (julio y octubre) probablemente por el arrastre de estos por medio del agua.

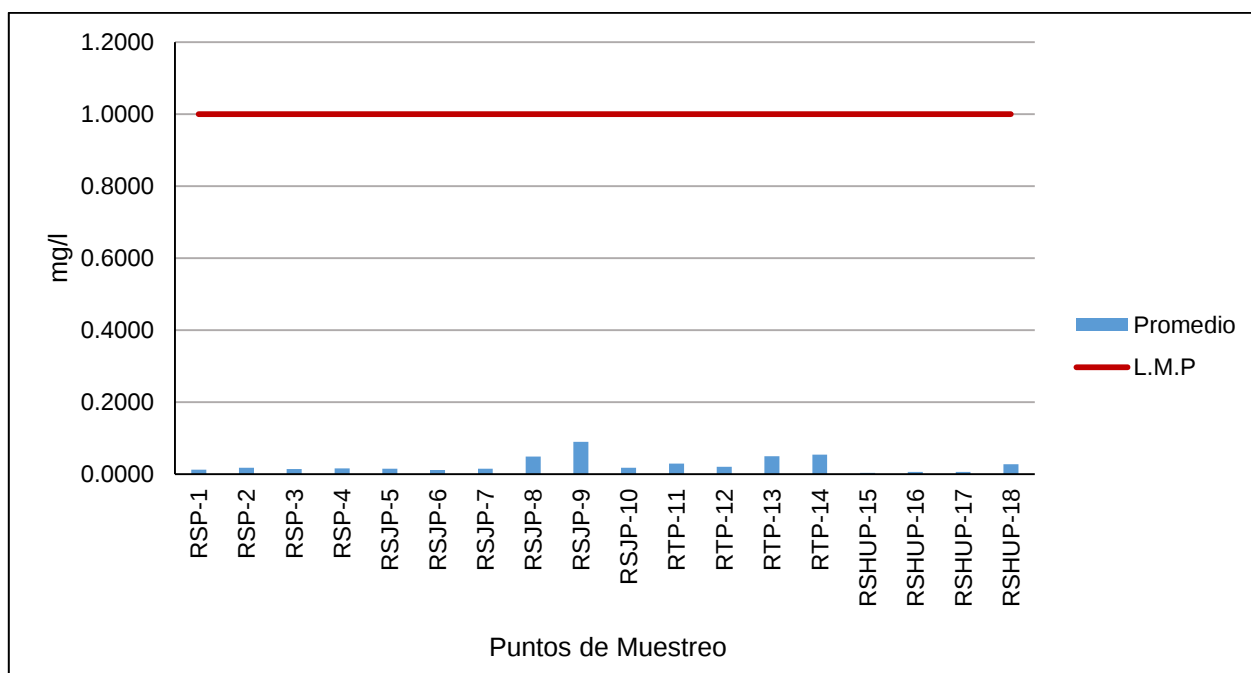
**Cuadro 22. Resultado de los niveles nitritos, en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Nitritos NO <sub>2</sub> en mg/l                                                                                        |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)       | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 0,0049                      | 0,0035                            | 0,0121                      | 0,0283                        | 0,0122   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 0,0036                      | 0,0049                            | 0,0305                      | 0,0309                        | 0,0175   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 0,0048                      | 0,0079                            | 0,0165                      | 0,0257                        | 0,0137   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 0,0019                      | 0,0063                            | 0,0202                      | 0,0349                        | 0,0158   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 0,0045                      | 0,0049                            | 0,0241                      | 0,0243                        | 0,0145   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 0,0037                      | 0,0061                            | 0,0078                      | 0,0259                        | 0,0109   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 0,0122                      | 0,0094                            | 0,0133                      | 0,0259                        | 0,0152   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 0,0036                      | 0,0460                            | 0,1184                      | 0,0268                        | 0,0487   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 0,1372                      | 0,1133                            | 0,0658                      | 0,0399                        | 0,0891   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 0,0020                      | 0,0140                            | 0,0261                      | 0,0276                        | 0,0174   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,0003                      | 0,0037                            | 0,0115                      | 0,0990                        | 0,0286   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 0,0010                      | 0,0029                            | 0,0081                      | 0,0685                        | 0,0201   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 0,0493                      | 0,0776                            | 0,0233                      | 0,0474                        | 0,0494   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 0,0507                      | ----                              | 0,0667                      | 0,0452                        | 0,0542   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 0,0019                      | 0,0032                            | 0,0040                      | 0,0041                        | 0,0033   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 0,0026                      | 0,0028                            | 0,0055                      | 0,0143                        | 0,0063   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 0,0019                      | 0,0035                            | 0,0053                      | 0,0120                        | 0,0056   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 0,0450                      | ----                              | ----                        | 0,0097                        | 0,0274   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no registra                                                                              |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 1 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                   |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

Se observa en la gráfica 10, que los niveles promedio de nitritos en los puntos de control, son inferiores al límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR (1 mg/l).

**Gráfica 10. Valores promedio de Nitritos en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

La concentración de nitritos en agua superficial es relativamente baja, sin embargo, puede aparecer ocasionalmente en concentraciones elevadas cuando la contaminación por aguas residuales domésticas supera la carga bacteriana que es capaz de soportar el río, el cual depende de su caudal. Las aguas superficiales de los ríos bajo estudio poseen niveles de nitratos relativamente bajos que no superan el (0.1 mg/l), ver anexo 9.

### **9.2.11 Fosfatos PO<sub>4</sub>**

El fósforo es un importante nutriente de las plantas y en el agua superficial conducen al crecimiento de las algas, provocando la eutrofización de los cuerpos hídricos disminuyendo la calidad del agua. La presencia de fósforo en el agua superficial puede ser por las siguientes causas: contaminación por aguas residuales, fertilizantes utilizados de la producción agrícola, excretas humanas, de animales, detergentes y productos de limpieza.

La Agencia de Protección Ambiental -EPA- de Estados Unidos establece el límite para la concentración de fosfatos en 0.25 mg/l.

En el cuadro 23, se muestran los niveles promedio de fosfatos en los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 0.92 y 1.92 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 1.20 y 2.68 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio entre 0.93 y 7.49 mg/l y el río Shusho presenta valores promedio entre 0.33 y 0.71 mg/l.

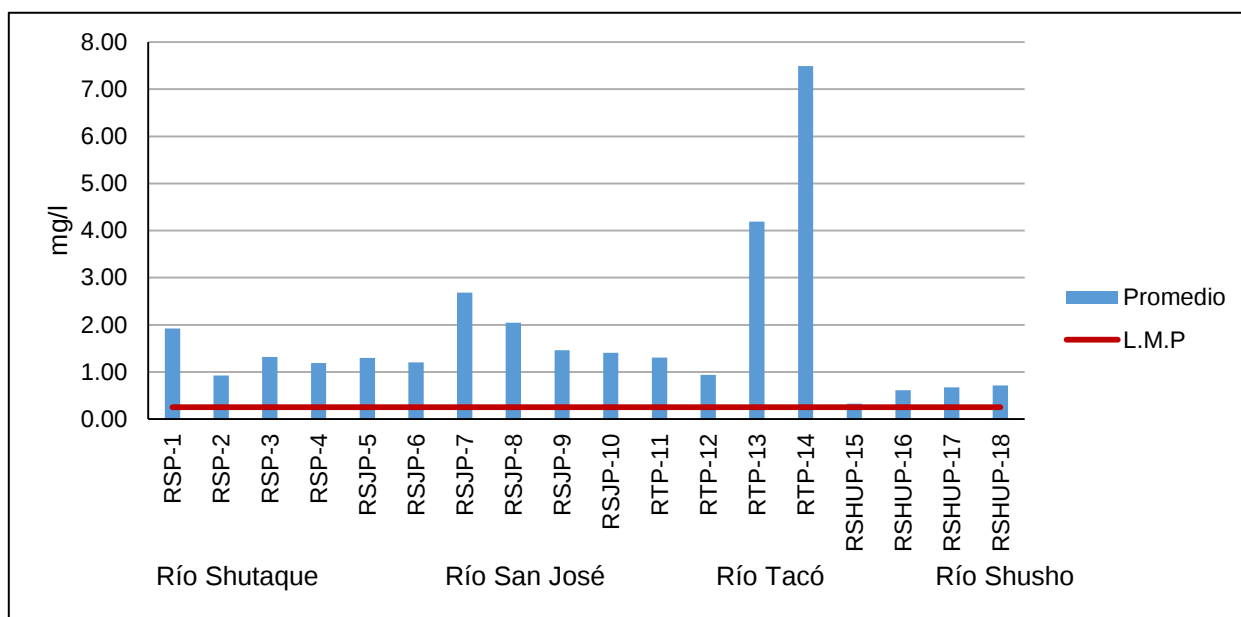
**Cuadro 23. Resultado de fosfatos, en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Fosfatos PO <sub>4</sub> en mg/l                                                                                        |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)          | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 2,85                        | 0,34                                 | 2,56                        | 1,94                          | 1,92     |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 0,70                        | 0,36                                 | 1,10                        | 1,53                          | 0,92     |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 1,92                        | 0,48                                 | 1,36                        | 1,51                          | 1,32     |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 1,30                        | 1,23                                 | 0,89                        | 1,32                          | 1,19     |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 0,86                        | 1,07                                 | 2,25                        | 1,01                          | 1,30     |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 0,80                        | 1,13                                 | 1,29                        | 1,58                          | 1,20     |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 5,77                        | 1,17                                 | 0,89                        | 2,90                          | 2,68     |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 1,08                        | 1,20                                 | 3,96                        | 1,95                          | 2,05     |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 1,48                        | 1,20                                 | 1,10                        | 2,05                          | 1,46     |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 0,73                        | 1,28                                 | 2,20                        | 1,41                          | 1,41     |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,38                        | 0,32                                 | 0,75                        | 3,77                          | 1,31     |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 0,18                        | 0,32                                 | 0,75                        | 2,50                          | 0,93     |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 12,47                       | 1,08                                 | 0,49                        | 2,72                          | 4,19     |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 16,14                       | ----                                 | 0,29                        | 6,03                          | 7,49     |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 0,33                        | 0,14                                 | 0,33                        | 0,52                          | 0,33     |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 0,51                        | 0,37                                 | 0,61                        | 0,95                          | 0,61     |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 0,66                        | 0,35                                 | 0,58                        | 1,11                          | 0,67     |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 0,89                        | ----                                 | ----                        | 0,54                          | 0,71     |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no registra                                                                              |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 0.25 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la gráfica 11, se puede observar que los niveles de fosfatos son superiores al LMP según la EPA (0.25 mg/l), esto se debe principalmente a la descarga de aguas residuales sin tratamiento sobre el cauce de los ríos, dichas aguas son de uso doméstico con altas concentraciones de jabones y detergentes; así como agua proveniente de las áreas agrícolas que por lo general aplican fertilizantes fosfatados.

**Gráfica 11. Valores promedio de fosfato en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

Los puntos con mayor concentración de fosfatos coinciden con las áreas de producción agrícola cercanos a los ríos (figura 12). Así mismo, los puntos de control con altas concentraciones de fosfatos presentan una mayor carga bacteriana (anexos 11 y 12).

### **9.2.13 Parámetros microbiológicos**

Se determinó la presencia de coliformes totales y fecales en cada uno de los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó y Shusho, los resultados se presentan a continuación.

#### **a. Coliformes totales**

Los coliformes totales son especies de bacterias que tienen características bioquímicas en común e importancia como indicadores de la contaminación del agua, son bacterias propias de los suelos.

En el cuadro 24, se muestran las concentraciones de coliformes totales para los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 1860 y 2400 NMP; el río San José presenta valores promedio entre 1802 y 2400 NMP; el río Tacó presenta valores promedio entre 1853 y 2400 NMP; y el río Shusho presenta valores promedio mayores a 2400 NMP.

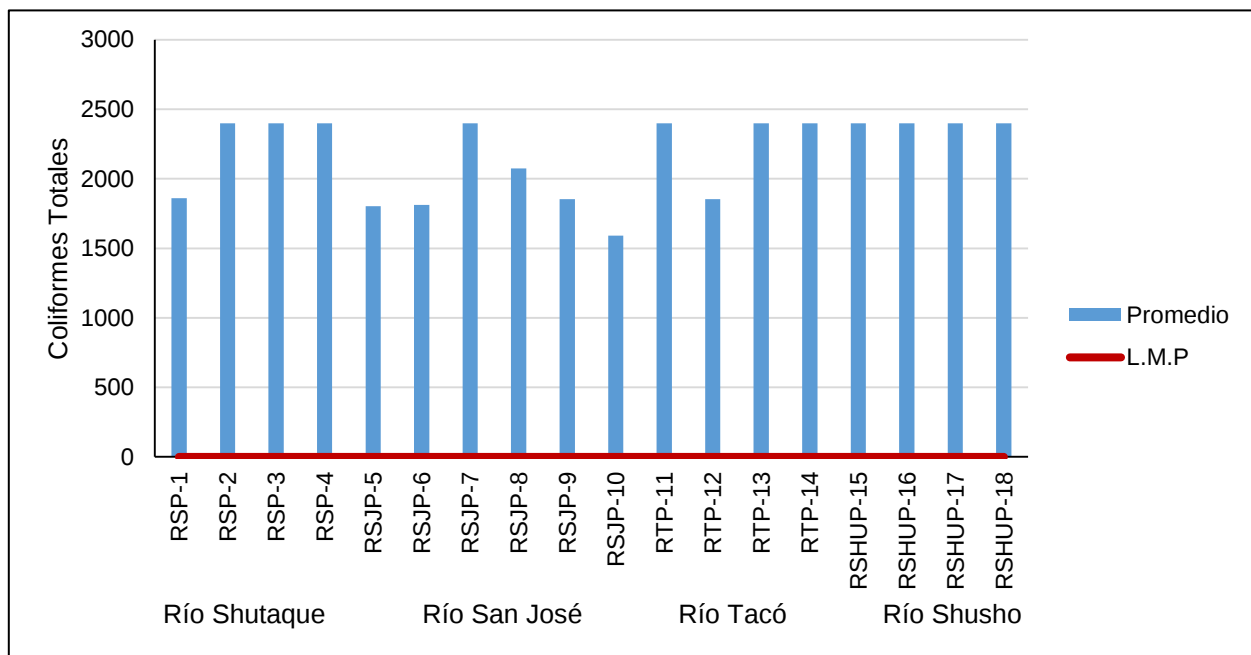
**Cuadro 24. Resultado de coliformes totales en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Coliformes totales                                                                                                      |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015) | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| <b>Río Shutaque</b>                                                                                                     |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | ≥2400                       | 240                         | ≥2400                       | ≥2400                         | 1860     |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| <b>Río San José</b>                                                                                                     |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | ≥2400                       | 9,00                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 1802     |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | ≥2400                       | 43,00                       | ≥2400                       | ≥2400                         | 1811     |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | ≥2400                       | 1100                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 2075     |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 210                         | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | 1853     |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 460                         | 1100                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 1590     |
| <b>Río Tacó</b>                                                                                                         |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | ≥2400                       | 210                         | ≥2400                       | ≥2400                         | 1853     |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | ≥2400                       | ----                        | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| <b>Río Shusho</b>                                                                                                       |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | ≥2400                       | ----                        | ----                        | ≥2400                         | ≥2400    |
| <b>Valor de referencia: 0 (ausencia)</b>                                                                                |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                             |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la gráfica 12, se puede observar que la totalidad de los puntos de control establecidos en los ríos bajo estudio tienen concentraciones de bacterias que superan el límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR (3 NMP/100 ml) y OMS, debido principalmente a la contaminación por aguas residuales.

**Gráfica 12. Valores promedio de coliformes totales, en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

La contaminación por coliformes totales se encuentra estrechamente relacionado a las descargas de aguas residuales de los centros poblados. Los puntos de control con mayor concentración de bacterias coliformes totales, son los cercanos a los centros poblados (figura 12 y anexo 12).

## **b. Coliformes fecales**

Las bacterias coliformes fecales se encuentran naturalmente en el intestino de humanos y animales de sangre caliente, su presencia en fuentes y cuerpos de agua se utiliza como indicador de contaminación microbiológica. Cuando estas bacterias están presentes en el agua, indican fuerte contaminación por heces fecales o aguas servidas. Las bacterias coliformes fecales afectan la salud del ser humano y son capaces de generar enfermedades diarreicas que dependiendo del colectivo pueden desencadenar la muerte. El agua con altas concentraciones de bacterias puede contener una amplia gama de parásitos y virus causantes de enfermedades, que pueden variar de condiciones leves como las infecciones agudas del oído, hasta otras más graves que amenazan la vida como la fiebre tifoidea y la hepatitis. Los parásitos y los patógenos bacterianos como Salmonella, también se encuentran comúnmente en el agua con presencia de bacterias coliformes fecales.

En el cuadro 25, se muestran las concentraciones promedio de bacterias coliformes fecales de los puntos de control, donde el río Shutaque presenta concentraciones promedio entre 1222 y 2400 NMP; el río San José presenta concentraciones promedio entre 1492 y 2400 NMP; el río Tacó presenta concentraciones promedio entre 1915 y 2400 NMP; y el río Shusho presenta concentraciones promedio entre 1915 y 2400 NMP. La mayor concentración de bacterias coliformes fecales se presenta en la época lluviosa.

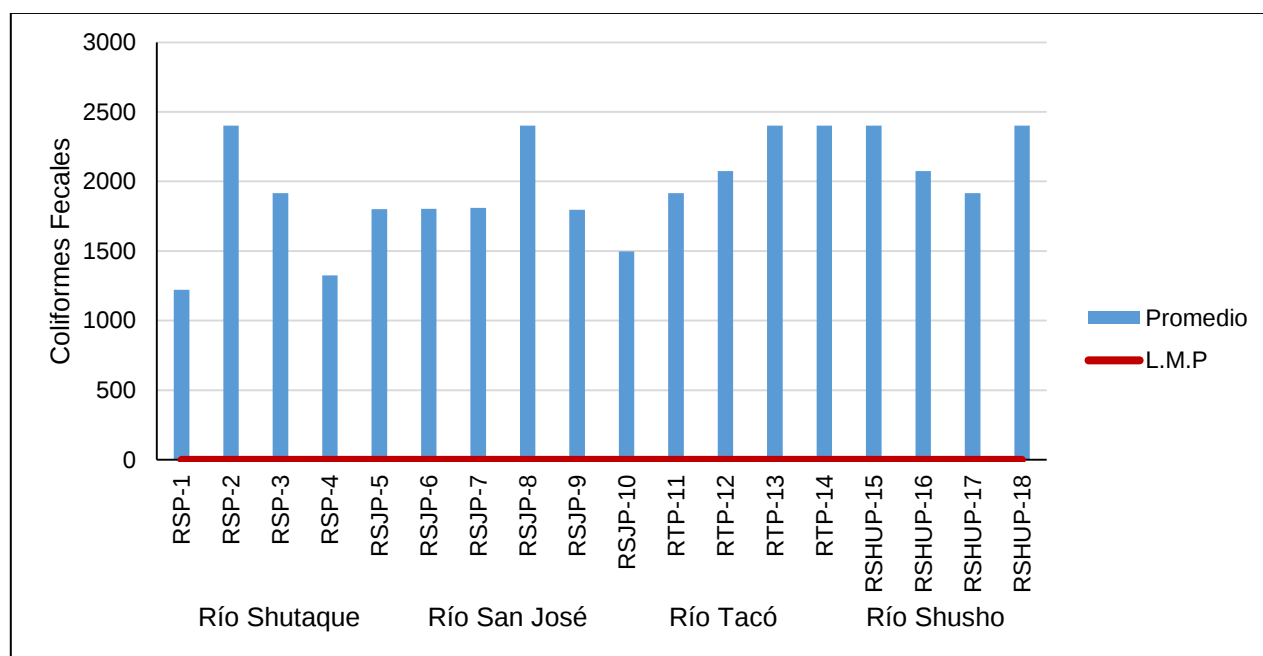
**Cuadro 25. Resultado de bacterias coliformes fecales en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Coliformes Fecales                                                                                                      |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015) | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| <b>Río Shutaque</b>                                                                                                     |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 43                          | 43                          | ≥2400                       | ≥2400                         | 1222     |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | ≥2400                       | 460                         | ≥2400                       | ≥2400                         | 1915     |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 39                          | 460                         | ≥2400                       | ≥2400                         | 1325     |
| <b>Río San José</b>                                                                                                     |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | ≥2400                       | 9,00                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 1802     |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | ≥2400                       | 15,00                       | ≥2400                       | ≥2400                         | 1804     |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 39                          | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | 1810     |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 93                          | 1100                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 1797     |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 1100                        | 460                         | ≥2400                       | ≥2400                         | 1498     |
| <b>Río Tacó</b>                                                                                                         |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | ≥2400                       | 460                         | ≥2400                       | ≥2400                         | 1915     |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | ≥2400                       | 1100                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 2075     |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | ≥2400                       | ----                        | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| <b>Río Shusho</b>                                                                                                       |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | ≥2400    |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | ≥2400                       | 1100                        | ≥2400                       | ≥2400                         | 2075     |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 460                         | ≥2400                       | ≥2400                       | ≥2400                         | 1915     |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | ≥2400                       | ----                        | ----                        | ≥2400                         | ≥2400    |
| <b>Valor de referencia: 0 (ausencia)</b>                                                                                |                                  |                             |                             |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                             |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la gráfica 13, se puede observar que la totalidad de los puntos de control en los ríos bajo estudio tienen altas concentraciones de bacteria coliformes fecales, superando el límite máximo permisible (LMP) establecido por la norma COGUANOR y OMS (3 NMP/100 ml), debido a la contaminación por aguas servidas provenientes de las áreas urbanas.

**Gráfica 13. Valores promedio de bacterias de coliformes fecales, en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015.

## **9.2.14 Metales pesados**

### **a. Plata Ag**

La plata es un elemento relativamente escaso, que se encuentra en la naturaleza como un elemento libre o mezclado con otros metales. Los principales minerales que contienen plata son la argentita, la cerargirita o cuerno de plata, y otros minerales donde el sulfuro de plata está combinado con los sulfuros de otros metales.

La OMS no establece un valor de referencia para la plata, porque según estudios las personas y animales solo absorben una pequeña porción, con una tasa de retención entre 0 y 10%. Sin embargo, se recomienda que la concentración de plata no supere los (0.05 mg/l).

En el cuadro 26, se muestran concentraciones promedio de plata para los puntos de control, donde el río Shutaque presenta valores promedio entre 0.0083 y 0.0106 mg/l; el río San José presenta valores promedio entre 0.0059 y 0.0108 mg/l; el río Tacó presenta valores promedio entre 0.072 y 0.0108 mg/l y el río Shusho presenta valores promedio entre 0.0068 y 0.0133 mg/l. Sin embargo, todos los valores están por debajo del límite máximo aceptable establecido por la OMS (0.05 mg/l).

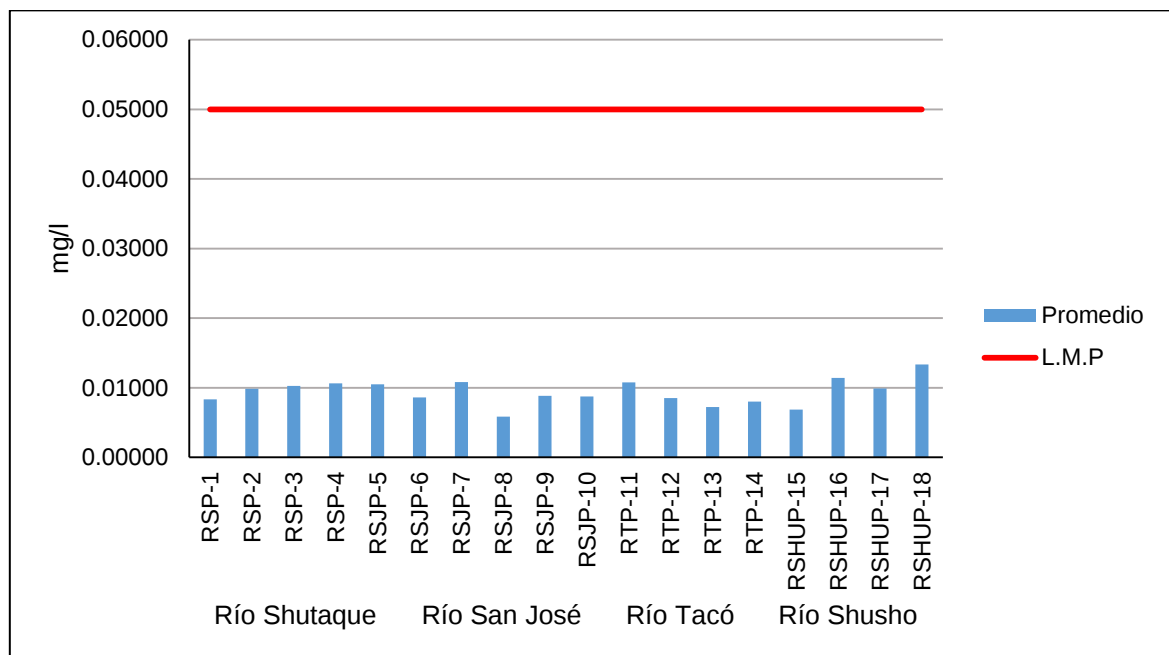
**Cuadro 26. Resultado de la concentración plata en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Plata en mg/l                                                                                                           |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)          | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 0,0117                      | 0,0056                               | 0,0060                      | 0,0100                        | 0,0083   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 0,0106                      | 0,0065                               | 0,0088                      | 0,0134                        | 0,0098   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 0,0140                      | 0,0096                               | 0,0056                      | 0,0118                        | 0,0103   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 0,0167                      | 0,0118                               | 0,0059                      | 0,0081                        | 0,0106   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 0,0181                      | 0,0126                               | 0,0075                      | 0,0037                        | 0,0105   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 0,0074                      | 0,0150                               | 0,0038                      | 0,0083                        | 0,0086   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 0,0230                      | 0,0122                               | 0,0028                      | 0,0053                        | 0,0108   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 0,0086                      | 0,0124                               | 0,0023                      | 0,0001                        | 0,0059   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 0,0116                      | 0,0169                               | 0,0031                      | 0,0038                        | 0,0089   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 0,0110                      | 0,0158                               | 0,0056                      | 0,0025                        | 0,0087   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,0068                      | 0,0129                               | 0,0079                      | 0,0154                        | 0,0108   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 0,0076                      | 0,0112                               | 0,0067                      | 0,0000                        | 0,0085   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 0,0082                      | 0,0112                               | 0,0033                      | 0,0062                        | 0,0072   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 0,0137                      | -----                                | 0,0054                      | 0,0049                        | 0,0080   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 0,0072                      | 0,0183                               | 0,0050                      | 0,0083                        | 0,0068   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 0,0116                      | 0,0172                               | 0,0071                      | 0,0086                        | 0,0114   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 0,0114                      | 0,0207                               | 0,0040                      | 0,0070                        | 0,0099   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 0,0155                      | -----                                | -----                       | 0,0038                        | 0,0133   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no registra                                                                              |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 0,05 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015

La presencia de plata en el agua de los ríos bajo estudio es baja, porque la plata es un mineral poco soluble, que tiende a sedimentarse rápidamente. Como se puede observar en la siguiente gráfica.

**Gráfica 14. Valores promedio de plata en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015

## **b. Plomo Pb**

El plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública.

El plomo se encuentra de forma natural, de donde pequeñas cantidades pueden entrar en contacto con el agua de ríos, lagos y arroyos; así mismo el plomo puede provenir de cañerías y soldaduras cuando estas tienen contacto con agua ácida o blanda.

La OMS y la norma COGUANOR, establecen un valor máximo permisible de 0.01 mg/l, debido a la alta toxicidad que representa para la salud humana porque el plomo en el organismo deteriora el funcionamiento del sistema nervioso, provoca anemia, daños en el cerebro, riñones, infertilidad, abortos, entre otros.

En el cuadro 27, se muestran los resultados de las concentraciones de plomo para los puntos de control y los cuatro monitoreos realizados, donde se observa que el río Shutaque únicamente 1 punto de control presento presencia de plomo, para el río San José 3 puntos presentaron presencia de plomo, para el río Tacó 2 puntos presentaron presencia de plomo, para el río Shusho únicamente 1 punto presento presencia de plomo. La presencia de plomo en el agua de los ríos bajo estudio puede estar asociada a la contaminación proveniente de los centros poblados donde pueden existir fuentes de contaminación porque muchos de los productos utilizados contienen plomo que puede entrar contacto con el agua superficial.

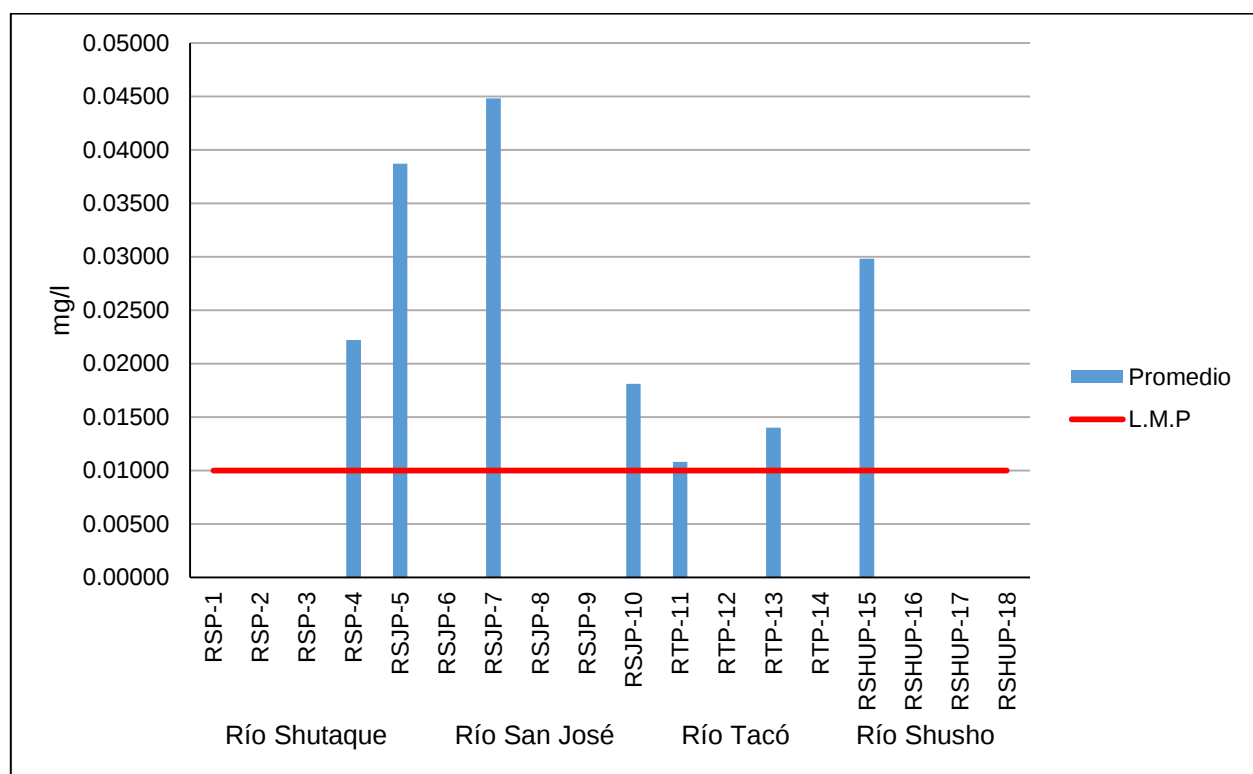
**Cuadro 27. Resultado de la concentración de plomo en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Plomo en mg/l                                                                                                           |                                  |                             |                                            |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)                | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                            |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0222                      | 0,0000                        | 0,0222   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                            |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0387                        | 0,0387   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 0,0448                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0448   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 0,0181                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0181   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                            |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,0000                      | 0,0108                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0108   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 0,0199                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0081                        | 0,0140   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 0,0000                      | -----                                      | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                            |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0298                        | 0,0298   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 0,0000                      | 0,0000                                     | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 0,0000                      | -----                                      | -----                       | 0,0000                        | 0,0000   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no registra                                                                              |                                  |                             | Límite Máximo Permissible -LMP-: 0,01 mg/l |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                            |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015

La gráfica 15, muestra que los promedios de la concentración de plomo son mayores al límite máximo permisible establecido por OMS, esta condición puede indicar que las actividades antropogénicas son las principales causas de la presencia de plomo de los ríos bajo estudio.

**Gráfica 15. Valores promedio de plomo en los puntos de control establecidos en los ríos Shutaque, San José, Tacó, Shusho, 2015.**



Fuente: elaboración propia, 2015

### **c. Arsénico As**

El arsénico es un elemento liberado al ambiente por volcanes, erosión de depósitos minerales que contienen diversos compuestos de arsénico, así como por actividades comerciales, agrícolas e industriales.

En los ríos, la concentración de arsénico es relativamente baja, sin embargo, la presencia puede ser causada por dos razones: procesos geológicos y se atribuyen a la presencia de material volcánico que se depositó en el suelo; y actividades antrópicas como la agricultura por el uso de plaguicidas que contienen arsénico, que es la causa más común de contaminación del agua de ríos.

La exposición al arsénico inorgánico puede causar graves efectos sobre la salud como: irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel e irritación de los pulmones.

La norma COGUANOR, en base a los valores de referencia de la OMS, establece un límite máximo permisible de 0.01 mg/l.

El cuadro 28, se muestran los resultados promedio de arsénico para los puntos de control, donde únicamente en el río San José se identificó la presencia de arsénico con un valor que supera el límite máximo permisible (0.01 mg/l), cuya concentración es de 0.239 mg/l en el tercer monitoreo llevado a cabo en el mes de julio. Que puede significar que la contaminación se debe a actividades agrícolas, porque la contaminación por causas naturales debería manifestarse durante todas las épocas del año.

**Cuadro 28. Resultado de la concentración de arsénico en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Arsénico en mg/l                                                                                                        |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
| ID                                                                                                                      | Punto de control                 | Monitoreo 1<br>(Enero 2015) | Monitoreo 2<br>(Abril 2015)          | Monitoreo 3<br>(Julio 2015) | Monitoreo 4<br>(Octubre 2015) | Promedio |
| Río Shutaque                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSP-1                                                                                                                   | Cementerio San Jacinto           | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSP-2                                                                                                                   | Puente San Jacinto               | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSP-3                                                                                                                   | Aldea Vado Hondo                 | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSP-4                                                                                                                   | Puente callejón de los Morales   | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| Río San José                                                                                                            |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSJP-5                                                                                                                  | Aldea La Torera                  | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-6                                                                                                                  | Aldea Los Encuentros             | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-7                                                                                                                  | Puente blanco sobre río San José | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-8                                                                                                                  | Puente San José                  | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSJP-9                                                                                                                  | Granja CUNORI                    | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,2390                      | 0,0000                        | 0,2390   |
| RSJP-10                                                                                                                 | Pozos San José                   | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| Río Tacó                                                                                                                |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RTP-11                                                                                                                  | Presa Molino                     | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RTP-12                                                                                                                  | Aldea Tacó Arriba                | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RTP-13                                                                                                                  | Puente barrio San Pedrito        | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RTP-14                                                                                                                  | Colonia Las Rosas                | 0,0000                      | -----                                | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| Río Shusho                                                                                                              |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |
| RSHUP-15                                                                                                                | Aldea Guior                      | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSHUP-16                                                                                                                | Shusho en medio                  | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSHUP-17                                                                                                                | Puente Shusho                    | 0,0000                      | 0,0000                               | 0,0000                      | 0,0000                        | 0,0000   |
| RSHUP-18                                                                                                                | Colonia La joya                  | 0,0000                      | -----                                | -----                       | 0,0000                        | 0,0000   |
| Límite Máximo Aceptable -LMA-: no registra                                                                              |                                  |                             | Límite Máximo Permisible -LMP-: 0,01 |                             |                               |          |
| Nota: Los espacios con guiones, no aparecen resultados porque al momento del muestreo no disponían de agua superficial. |                                  |                             |                                      |                             |                               |          |

Fuente: elaboración propia, 2015

### **9.3 Índice de Calidad del Agua (ICA) en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho**

El Índice de Calidad de Agua –ICA- se determinó utilizando los valores de nueve parámetros: coliformes fecales, pH, demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto en porcentaje de saturación; en los cuatro monitoreos realizados.

En el cuadro 29, se presentan los valores del Índice de Calidad de Agua para cada uno de los cuatro monitoreos realizados y el promedio de cada punto de control en ríos bajo estudio; donde se puede observar que el menor índice de calidad se obtuvo en el cuarto monitoreo (mes de octubre), el mayor índice de calidad de agua se obtuvo en el primer monitoreo (mes de enero). Esto se debe principalmente a que en la época lluviosa los ríos tienen mayor influencia de contaminación por arrastre de partículas de suelo y nutrientes como el nitrógeno y fósforo. El río con menor índice de calidad de agua en promedio es el río San José (42.54) y el río con mayor índice de calidad de agua en promedio es el río Shusho (47.09).

**Cuadro 29. Índice de Calidad de Agua en los puntos de control establecidos, sobre la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| Índice de Calidad de Agua -ICA- |                                  |                         |                         |                         |                         |                |                  |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------------------|
| ID                              | Punto de control                 | Monitoreo 1 (Ene. 2015) | Monitoreo 2 (Abr. 2015) | Monitoreo 3 (Jul. 2015) | Monitoreo 4 (Oct. 2015) | Promedio -ICA- | Promedio ICA/Río |
| Río Shutaque                    |                                  |                         |                         |                         |                         |                |                  |
| RSP-1                           | Cementerio San Jacinto           | 53.68                   | 52.13                   | 36.60                   | 36.84                   | 44.81          | 44.33            |
| RSP-2                           | Puente San Jacinto               | 52.59                   | 48.09                   | 35.89                   | 38.68                   | 43.81          |                  |
| RSP-3                           | Aldea Vado Hondo                 | 49.18                   | 49.85                   | 37.42                   | 37.77                   | 43.56          |                  |
| RSP-4                           | Puente callejón de los Morales   | 56.51                   | 44.38                   | 42.41                   | 37.29                   | 45.15          |                  |
| Río San José                    |                                  |                         |                         |                         |                         |                |                  |
| RSJP-5                          | Aldea La Torera                  | 44.94                   | 49.87                   | 40.35                   | 39.39                   | 43.64          | 42.54            |
| RSJP-6                          | Aldea Los Encuentros             | 41.61                   | 48.00                   | 37.14                   | 39.67                   | 41.61          |                  |
| RSJP-7                          | Puente blanco sobre río San José | 47.22                   | 43.14                   | 41.70                   | 40.48                   | 43.14          |                  |
| RSJP-8                          | Puente San José                  | 41.67                   | 39.05                   | 37.39                   | 38.45                   | 39.14          |                  |
| RSJP-9                          | Granja CUNORI                    | 47.82                   | 46.35                   | 41.40                   | 35.16                   | 42.68          |                  |
| RSJP-10                         | Pozos San José                   | 51.04                   | 49.49                   | 39.26                   | 40.33                   | 45.03          |                  |
| Río Tacó                        |                                  |                         |                         |                         |                         |                |                  |
| RTP-11                          | Presa Molino                     | 49.73                   | 51.87                   | 43.91                   | 34.26                   | 44.94          | 43.97            |
| RTP-12                          | Aldea Tacó Arriba                | 50.35                   | 53.60                   | 44.20                   | 33.95                   | 45.52          |                  |
| RTP-13                          | Puente barrio San Pedrito        | 40.33                   | 42.06                   | 48.71                   | 35.87                   | 41.74          |                  |
| RTP-14                          | Colonia Las Rosas                | 39.94                   | ----                    | 50.37                   | 40.7                    | 43.67          |                  |
| Río Shusho                      |                                  |                         |                         |                         |                         |                |                  |
| RSHUP-15                        | Aldea Guior                      | 46.53                   | 49.39                   | 47.97                   | 45.61                   | 47.38          | 47.09            |
| RSHUP-16                        | Shusho en medio                  | 51.57                   | 49.51                   | 47.72                   | 36.50                   | 46.32          |                  |
| RSHUP-17                        | Puente Shusho                    | 53.24                   | 49.73                   | 47.13                   | 40.07                   | 47.54          |                  |
| RSHUP-18                        | Colonia La joya                  | 48.33                   | ----                    | ----                    | 45.89                   | 47.11          |                  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

En el cuadro 30, se hace una comparación de los resultados del ICA obtenidos en el presente estudio y los resultados del ICA del estudio realizado en el 2010, donde se puede observar que el índice de calidad de agua se ha reducido en los cuatro ríos bajo estudio, lo cual indica mayor grado de contaminación.

**Cuadro 30. Comparación del Índice de Calidad de Agua en los ríos San José, Shutaque, Tacó y Shusho, en el 2010 y 2015.**

| <b>Índice de Calidad de Agua</b> |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Nombre</b>                    | <b>2010</b> | <b>2015</b> |
| Río San José                     | 61          | 44.33       |
| Río Tacó                         | 56.5        | 42.54       |
| Río Shutaque                     | 68          | 43.97       |
| Río Shusho                       | 65.5        | 47.09       |

Fuente: elaboración propia, 2015.

#### **9.4 Calidad del agua en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho**

Para determinar la calidad del agua, se utilizaron los resultados del Índice de Calidad de Agua –ICA- y la clasificación propuesta por Brown (1970) donde la calidad del agua se divide en cinco escalas: excelente, buena, regular, mala y pésima.

En el cuadro 31, se presenta la calidad del agua para cada punto de control de los ríos bajo estudio, donde en promedio la calidad del agua en la totalidad de los puntos de control es “Mala”, con un índice entre 25-50 (cuadro 1).

**Cuadro 31. Calidad del agua, en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho, 2015.**

| ID                  | Puntos de control              | Promedio -ICA- | Clasificación de -ICA- |
|---------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|
| <b>RIO SHUTAQUE</b> |                                |                |                        |
| RSP-1               | Cementerio San Jacinto         | 44.81          | Mala                   |
| RSP-2               | Puente San Jacinto             | 43.81          | Mala                   |
| RSP-3               | Aldea Vado Hondo               | 43.56          | Mala                   |
| RSP-4               | Puente callejón de los Morales | 45.15          | Mala                   |
| <b>RIO SAN JOSE</b> |                                |                |                        |
| RSJP-5              | Aldea La Torera                | 43.64          | Mala                   |
| RSJP-6              | Aldea Los Encuentros           | 41.61          | Mala                   |
| RSJP-7              | Puente Blanco sobre Río José   | 43.14          | Mala                   |
| RSJP-8              | Puente San José                | 39.14          | Mala                   |
| RSJP-9              | Granja CUNORI                  | 42.68          | Mala                   |
| RSJP-10             | Pozos San José                 | 45.03          | Mala                   |
| <b>RIO TACO</b>     |                                |                |                        |
| RTP-11              | Presa Molina                   | 44.94          | Mala                   |
| RTP-12              | Aldea Tacó Arriba              | 45.53          | Mala                   |
| RTP-13              | Puente barrio San Pedrito      | 41.74          | Mala                   |
| RTP-14              | Colonia Las Rosas              | 43.67          | Mala                   |
| <b>RIO SHUSHO</b>   |                                |                |                        |
| RSHUP-15            | Aldea Guior                    | 47.38          | Mala                   |
| RSHUP-16            | Shusho en medio                | 46.33          | Mala                   |
| RSHUP-17            | Puente Shusho                  | 47.54          | Mala                   |
| RSHUP-18            | Colonia la Joya                | 47.11          | Mala                   |

Fuente: elaboración propia, 2015.

#### **9.4.1 Calidad del agua según los criterios generales de uso**

Se realizó una evaluación de la calidad del agua utilizando los lineamientos del panel de expertos Dinius (1987) citado por García 2010, basado en función del uso para el cual es destinada el agua de una fuente superficial, donde se establecieron cinco criterios generales de uso: agua potable, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreativa (cuadro 2)

**Cuadro 32. Calidad del agua según los criterios generales de uso.**

| CALIDAD DEL AGUA SEGÚN SU USO |                                  |                                                |                         |                       |                       |                       |                       |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ID                            | Puntos de control                | Promedio del índice de calidad del Agua - ICA- | Agua Potable            | Agricultura           | Pesca y vida acuática | industrial            | recreación            |
| <b>RIO SHUTAUQUE</b>          |                                  |                                                |                         |                       |                       |                       |                       |
| RSP-1                         | Cementerio San Jacinto           | 53.68                                          | Fuertemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada |
| RSP-2                         | Puente San Jacinto               | 52.59                                          | Fuertemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada |
| RSP-3                         | Aldea Vado Hondo                 | 49.18                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| RSP-4                         | Puente Callejón de los morales   | 59.03                                          | Fuertemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada |
| <b>RIO SAN JOSE</b>           |                                  |                                                |                         |                       |                       |                       |                       |
| RSJP-5                        | Aldea la Torera                  | 44.94                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| RSJP-6                        | Aldea Los Encuentros             | 41.61                                          | Fuertemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada |
| RSJP-7                        | Puente blanco sobre río San Jose | 47.22                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| RSJP-8                        | Puente San José                  | 41.61                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| RSJP-9                        | Granja CUNORI                    | 47.82                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| RSJP-10                       | Pozos San José                   | 51.04                                          | Fuertemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Aceptable             |
| <b>RIO TACO</b>               |                                  |                                                |                         |                       |                       |                       |                       |
| RTP-11                        | Presa Molino                     | 49.73                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           |
| RTP-12                        | Aldea Tacó Arriba                | 50.35                                          | Contaminada             | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Aceptable             |
| RTP-13                        | Puente barrio San Pedrito        | 40.33                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           |
| RTP-14                        | Colonia Las Rosas                | 39.94                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| <b>RIO SHUSHO</b>             |                                  |                                                |                         |                       |                       |                       |                       |
| RSHUP-15                      | Aldea Guior                      | 46.53                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |
| RSHUP-16                      | Shusho en medio                  | 51.57                                          | Contaminada             | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Aceptable             |
| RSHUP-17                      | Puente Shusho                    | 53.24                                          | Contaminada             | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Levemente contaminada | Aceptable             |
| RSHUP-18                      | Colonia La joya                  | 48.33                                          | Fuertemente contaminada | Contaminada           | Contaminada           | Contaminada           | Levemente contaminada |

Fuente: elaboración propia, 2015.

De acuerdo al Índice de Calidad de Agua –ICA- y según los criterios generales en los puntos de control monitoreados se clasifican de la siguiente manera:

- a. **Agua potable:** se puede observar que el 67% de los puntos de control están fuertemente contaminados y el otro 33% de los puntos se encuentran en un rango de agua contaminada, que no es apta para consumo humano sin tratamiento.
- b. **Agrícola:** el 67% de los puntos se encuentra contaminada por lo que requiere de un tratamiento previo para el uso en cultivos y el otro 37% se encuentra levemente contaminada, por lo cual puede ser utilizado en la mayoría de los cultivos.
- c. **Pesca y vida acuática:** el agua se clasifica como contaminada y levemente contaminada que indica, que la vida acuática es limitada a especies muy resistentes y en algunos puntos es inaceptable para este uso.
- d. **Industrial:** el agua está contaminada y levemente contaminada por lo que requiere un tratamiento previo para uso industrial.
- e. **Recreación:** el agua está contaminada y levemente contaminada donde existe restricción para el uso de agua en deportes de inmersión; en los puntos donde el agua tiene calidad aceptable se puede practicar cualquier tipo de recreación.

## **9.5 Lineamientos generales para la protección del recurso hídrico**

El agua es un bien natural de carácter estratégico porque satisface necesidades vitales, y es necesaria para la mayor parte de actividades económicas e indispensables para los procesos esenciales.

La red hidrológica superficial de los ríos bajo estudio es contaminada por descargas de aguas residuales que provienen de los sistemas de drenaje de los centros poblados, así como por residuos sólidos generados también en los centros poblados ocasionando alteraciones fisicoquímicas, bacteriológicas, y biológicas en el agua de las corrientes superficiales. A continuación, se presentan los siguientes lineamientos estratégicos para la protección del recurso hídrico.

### **9.5.1 Coordinación interinstitucional y desarrollo de alianzas estratégicas**

La importancia de la coordinación entre instituciones para la generación e implementación de propuestas integrales dirigidas a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales en general, y particularmente del recurso hídrico en las microcuencas. Con la intervención de los grupos locales de las comunidades que intervienen directa e indirectamente en el detrimento de dichos recursos.

### **9.5.2 Participación comunitaria en la protección del recurso hídrico**

Generar mecanismos de participación comunitaria como mesas de concertación, talleres comunales, jornadas ambientales en las poblaciones que conduzca a identificar las potencialidades de su entorno y, que identifique la problemática ambiental actual que contribuya a la toma conjunta de decisiones respecto al uso de sus recursos y a la implementación de acciones consensuadas.

### **9.5.3 Organización comunitaria**

La conformación de comités encargados del manejo de la microcuenca, a partir de las organizaciones de base existentes como lo son los COCODES (Consejos Comunitarios de Desarrollo), los comités de agua, en donde cumpla con funciones planificadoras, coordinadoras, facilitadoras, implementadoras y de gestión de recursos dirigidos a optimizar el uso del recurso hídrico y la protección de las microcuencas.

#### **9.5.4 Plan para la sensibilización sobre el uso y manejo del agua**

Promover cambios en toda la población, especialmente los centros de educación preescolar, primaria, secundaria y universitaria que permitan promover de manera permanente actividades de capacitación, educación ambiental, cultura hídrica y reflexión objetiva sobre la importancia y necesidad de gestionar el recurso hídrico.

#### **9.5.5 Buenas prácticas agrícolas para evitar la contaminación**

- Fomentar prácticas para reducir riesgos de contaminación del agua.
- Proteger las fuentes de agua con barreras físicas que disminuyan el riesgo de contaminación.
- Protección de las riberas de nacientes, ríos y quebradas
- Utilizar barreras de protección para limitar el contacto de los productos químicos y las fuentes de agua.
- Realizar periódicamente análisis de calidad de agua en laboratorio y sistematizar los resultados.
- La manipulación de productos químicos o fertilizantes, se debe realizar de forma que se reduzca la contaminación del agua, evitando el uso de pesticidas y fertilizantes a una distancia menor de 10 metros del cauce de las fuentes de agua superficiales.
- Evitar el uso de fertilizantes o agroquímicos que contengan metales pesados.

#### **9.6.6 Protección de fuentes de agua**

Identificar las zonas de recarga hídrica en las microcuencas para desarrollar acciones que permitan recuperar la vegetación de los ecosistemas manteniendo e incrementando los beneficios ambientales, promoviendo la reforestación con especies endógenas.

## CONCLUSIONES

1. Con base a los análisis, se pudo determinar que los parámetros dureza, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, coliformes fecales y totales se encuentran en niveles superiores al límite máximo permisible en los puntos de control establecidos sobre la corriente superficial de los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque.
2. Los resultados muestran que el agua de la corriente superficial de los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque se encuentra contaminada, por la presencia de bacterias coliformes fecales, lo cual limita el uso para actividades domésticas y productivas.
3. Al determinar el Índice de Calidad del Agua –ICA- en los diferentes puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial, se identificó que la calidad del agua en los ríos San José, Shutaque, Shusho y Tacó se clasifica como “Mala”, con valores de ICA 42.54, 44.33, 47.09 y 43.97 respectivamente.
4. Al realizar la comparación del Índice de Calidad del Agua de los ríos Shutaque, San José, Tacó y Shusho con los valores del estudio realizado en el año 2010 se determinó que el Índice de Calidad del Agua ha disminuido y por lo tanto también la calidad del agua de estas fuentes.
5. Con base al estudio se pudo identificar la presencia de plomo en siete puntos de control, en los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque, con niveles de 0.034 mg/l, 0.012 mg/l, 0.030 mg/l y 0.022 mg/l respectivamente, los cuales son superiores al límite máximo permisible establecido en la OMS y la norma COGUANOR (0.01 mg/l).
6. Se identificó la presencia de plata en el agua superficial de los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque, en concentraciones promedio de 0.0068 mg/l y 0.0133 mg/l, los cuales no superan el límite máximo permisible (0.05 mg/l) recomendado por la OMS.

7. Con base al estudio se identificó la presencia de arsénico en un punto de control del Río San José, presentando una concentración de 0.2390 mg/l, dicho valor es superior al límite máximo permisible (0.01 mg/l) establecido por la norma COGUANOR y la OMS.

## RECOMENDACIONES

1. Identificar las principales fuentes de contaminación del agua superficial en los ríos objetos de estudio para proponer medidas de mitigación que contribuya a mejorar la calidad del agua.
2. Continuar con el monitoreo de metales pesados principalmente en los ríos San José y Tacó donde se identificaron concentraciones que superan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y la norma COGUANOR.
3. Realizar estudios de metales pesados a nivel de sedimentos en las microcuencas del río San José y Tacó.
4. Implementar buenas prácticas agrícolas para el uso eficiente de fertilizantes y agroquímicos en las áreas de producción agropecuaria de las microcuencas de los ríos San José, Tacó, Shusho, Shutaque para contribuir con la protección y conservación del recurso hídrico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association). 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater (en línea). 18 ed. Washington, United States of America, APHA. 541 p. Consultado 15 jul. 2014. Disponible en [https://www.mwa.co.th/download/file\\_upload/SMWW\\_1000-3000.pdf](https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf)
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2009. Estudios de caso en medicina ambiental: la toxicidad del arsénico (en línea). Estados Unidos de América. 110 p. Consultado 25 ago. 2016. Disponible en [https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic\\_csem\\_spanish.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf)
- Casasola Garza, AK. 2014. Línea base de la calidad de las fuentes de agua superficiales en la finca Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2013. Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 160 p.
- Cerón Elías, VC. 2016. Línea base para la determinación de arsénico en el agua de pozo de la ciudad de Chiquimula, municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula, Guatemala, 2015. Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 101 p.
- COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 2003. Norma guatemalteca obligatoria; agua potable. Guatemala. (en línea). Guatemala, DRPSA. 12 p. Consultado 15 jun. 2014. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/normas2/Norma-Gua.pdf>
- De La Cruz, JR. 1976. Clasificación para las zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, INAFOR. 24 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, United States). 1997. Volunteer stream monitoring: a methods manual (en línea). Estados Unidos de América. 227 p. Consultado 6 jun. 2014. Disponible en <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/stream.pdf>

- García Álvarez, JR. 2010. Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula (en línea). Tesis M.Sc. Guatemala, FAUSAC. 68 p. Consultado 9 abr. 2013. Disponible en <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/TPF-00018.pdf>
- Girón Girón, D. 2009. Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la Ciudad de Chiquimula, 2009 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 96 p. Consultado 6 jul. 2014. Disponible en: [http://cunori.edu.gt/descargas/Girn.D.2009.Evaluacin\\_Mapeo\\_AguaSubternea\\_Chiquimula.pdf](http://cunori.edu.gt/descargas/Girn.D.2009.Evaluacin_Mapeo_AguaSubternea_Chiquimula.pdf)
- Gramajo Cifuentes, B. 2004. Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC. 50 p. Consultado 28 ago. 2014. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0907\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0907_Q.pdf)
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2002. Características de la población y de los locales de habitación censados (en línea). Guatemala. 278 p. Consultado 10 may. 2014. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/20/jZqeGe1H9WdUDngYXkWt3GIhUUQCukcg.pdf>
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2008. Guatemala: estimaciones de la población por municipio, período 2008-2020 (al 30 de junio) (en línea). Guatemala. 6 p. Consultado 20 nov. 2014. Disponible en: [http://www.oj.gob.gt/estadistica/j/repotes/poblacion-total-por-municipio\(1\).pdf](http://www.oj.gob.gt/estadistica/j/repotes/poblacion-total-por-municipio(1).pdf)
- Lemus Garza, RE. 2013. Ensayo sobre calidad del agua superficial en Latinoamérica (en línea). Guatemala, USAC, FAUSAC. 10 p. Consultado 30 oct. 2014. Disponible en: [http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/c/cf/Lemus\\_Garza\\_Ra%C3%BAI\\_Eliazar\\_201021879\\_Aplicaci%C3%B3n\\_Word.pdf](http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/c/cf/Lemus_Garza_Ra%C3%BAI_Eliazar_201021879_Aplicaci%C3%B3n_Word.pdf)

- Lenntech BV, Holanda. 1998-2017. Plomo (Pb) y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud (en línea, sitio web). Holanda. Consultado 20 jun. 2014. Disponible en: <https://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm>
- Lillo, J. 2012. Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas (en línea). Madrid, España, UCM. 33 p. Consultado 24 dic. 2013. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Peligros%20geoqu%C3%ADmicos%20del%20ars%C3%A9nico%20-%20Javier%20Lillo.pdf>
- López Gappa, J. s.f. Bioacumulación (en línea, sitio web). *In* Breve enciclopedia del ambiente. Volkheimer, W; Scafati, L; Melendi, DL (eds.). Argentina, CRICYT. Consultado 8 jul. 2013. Disponible en <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Bioac.htm>
- López-Serrano Oliver, A. 2014. Modelo alternativo al TEST OECD 305 para la bioacumulación de especies y nanopartículas metálicas (en línea). Tesis Dr. Madrid, España, UCM. 273 p. Consultado 20 abr. 2014. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/25667/1/T35413.pdf>
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2006. Guías para la calidad de agua potable: primer apéndice a la tercera edición (en línea). Ginebra, Suiza. v.1, p. 250 – 251. Consultado 20 dic. 2013. Disponible en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1)
- Rodas Arzet, AM. 2010. Evaluación de la calidad fisicoquímica, bacteriológica y medición del caudal en agua de pozos para consumo humano del casco urbano del municipio de Chiquimula (en línea). Guatemala, DIGI-USAC. 70 p. Consultado 29 may. 2014. Disponible en <http://www.chiquimulaonline.com/blog/wp-content/uploads/2010/02/Informe-Final-DIGI-CUNORI.pdf>

Rodas Arzet, AM. 2012. Determinación y evaluación de la calidad del agua en zonas de recarga hídrica del municipio de Chiquimula (en línea). Guatemala, Proyecto FODECYT-CUNORI. 114 p. Consultado 29 may. 2014. Disponible en: <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202012.60.pdf>

Ros Moreno, A. 2011. Clasificación de los ICA (en línea, sitio web). *In* El agua, calidad y contaminación (2/2). París, Francia. Consultado 20 sep. 2013. Disponible en <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/clasificacion-ica>

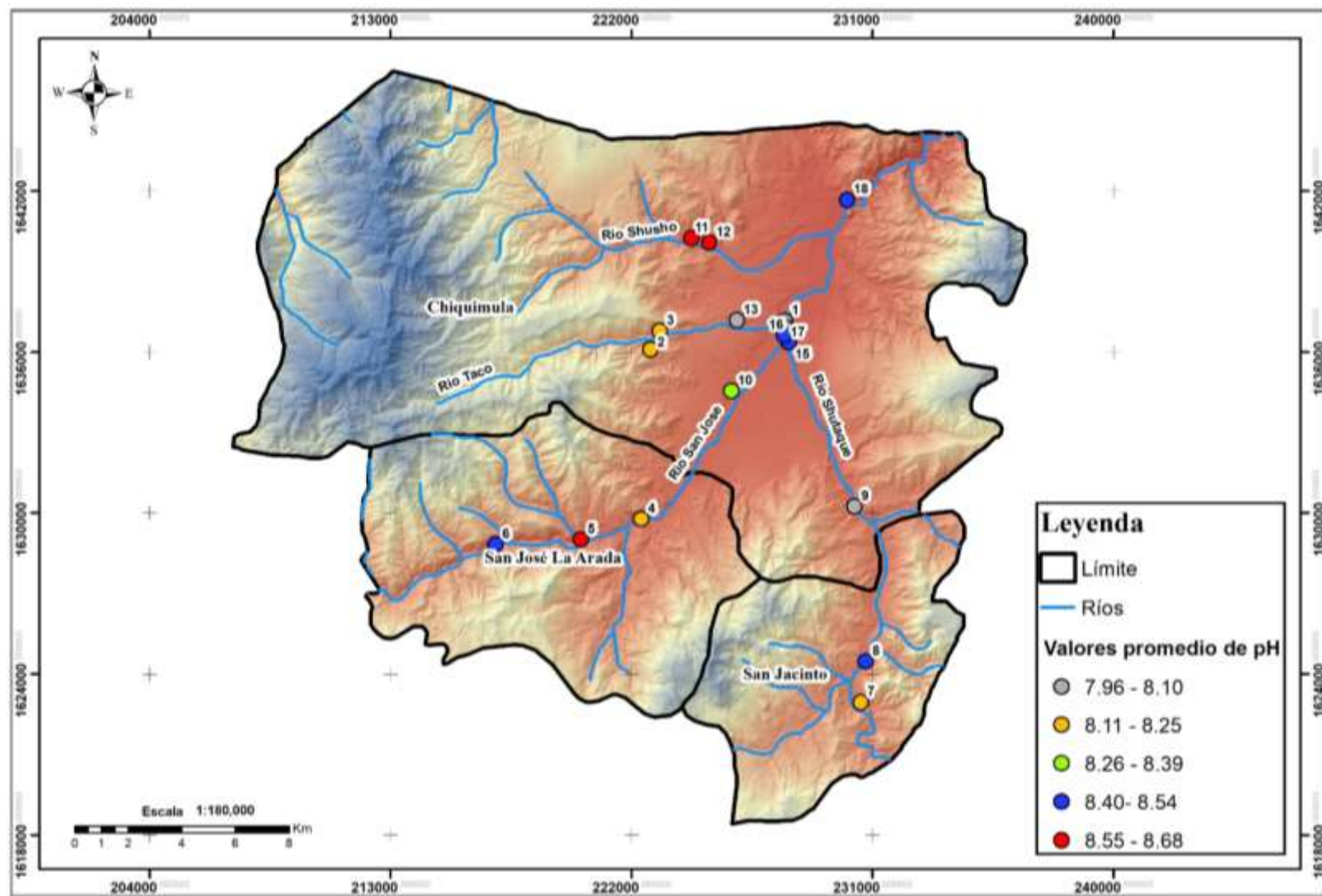
SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 1998. Índice de calidad del agua general "ICA" (en línea). San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales; SNET. 14 p. Consultado 8 jul. 2013. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>

Thiel, I. s.f. Metales pesados (en línea, sitio web). *In* Breve enciclopedia del ambiente. Volkheimer, W; Scafati, L; Melendi, DL (eds.). Argentina, CRICYT Mendoza, Argentina. Consultado 8 jul. 2013. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia>



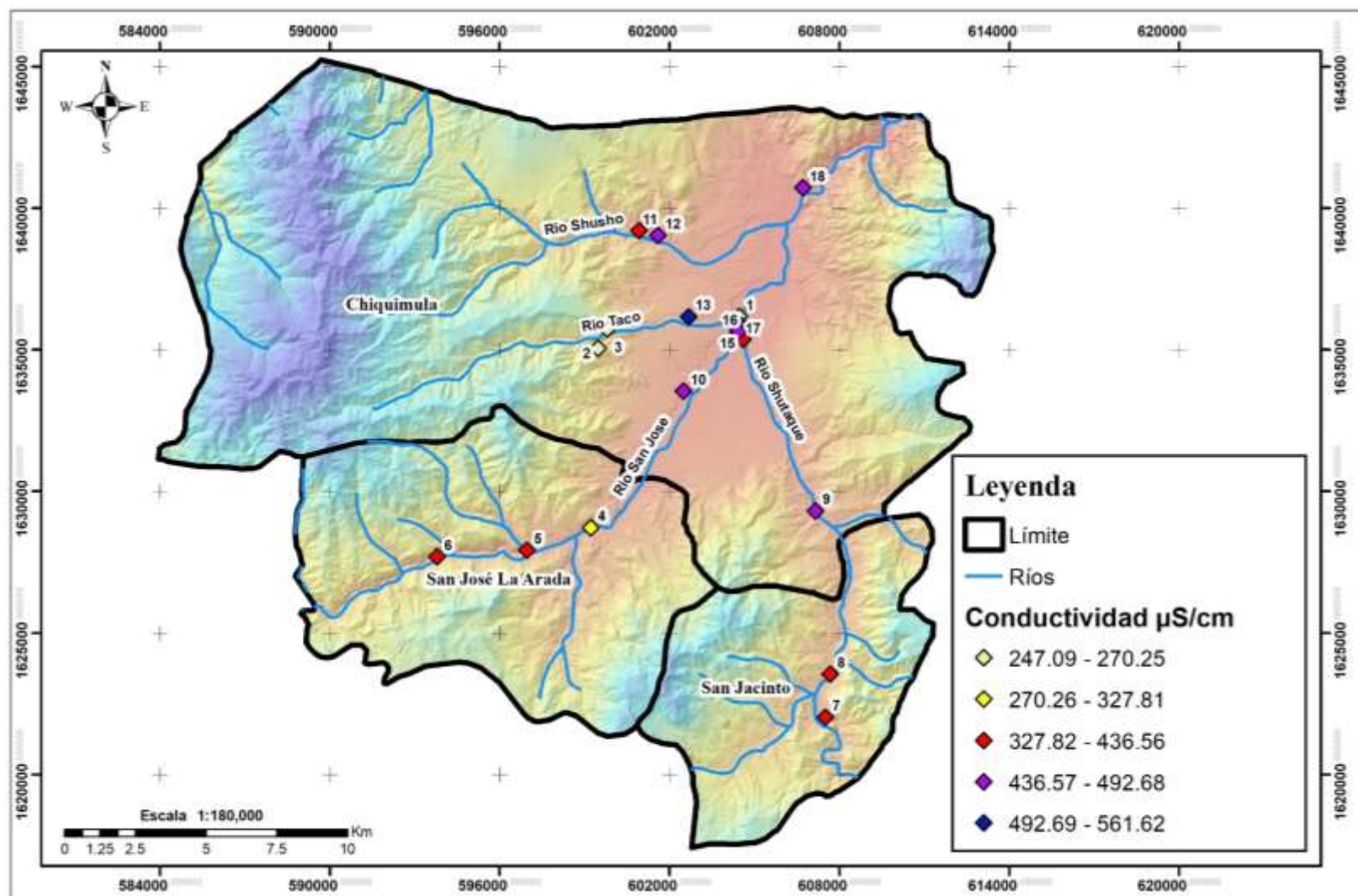
## **ANEXOS**

**Anexo 1. Potencial de hidrógeno en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.**



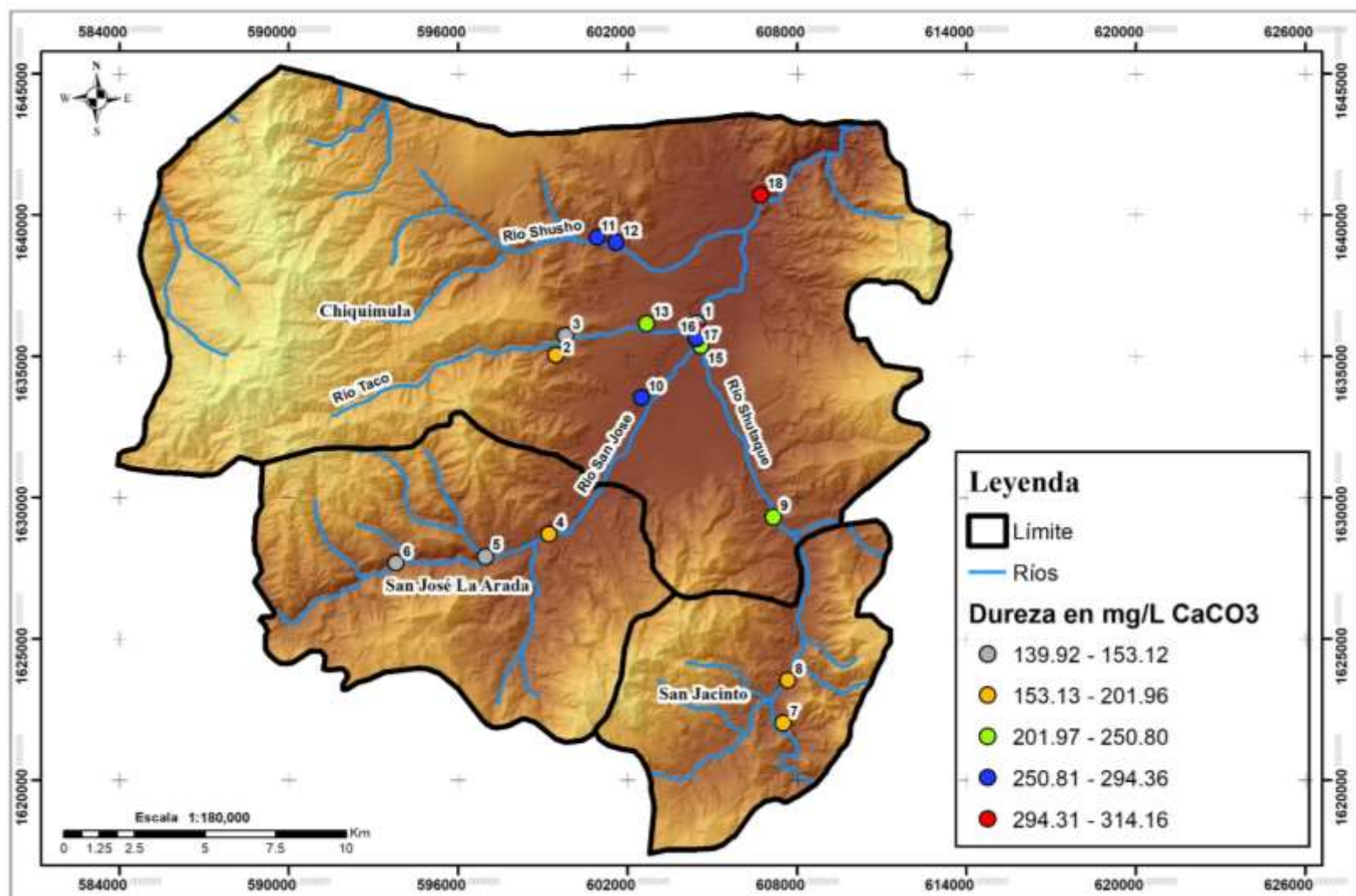
Fuente: elaboración propia, 2015.

## Anexo 2. Conductividad eléctrica en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



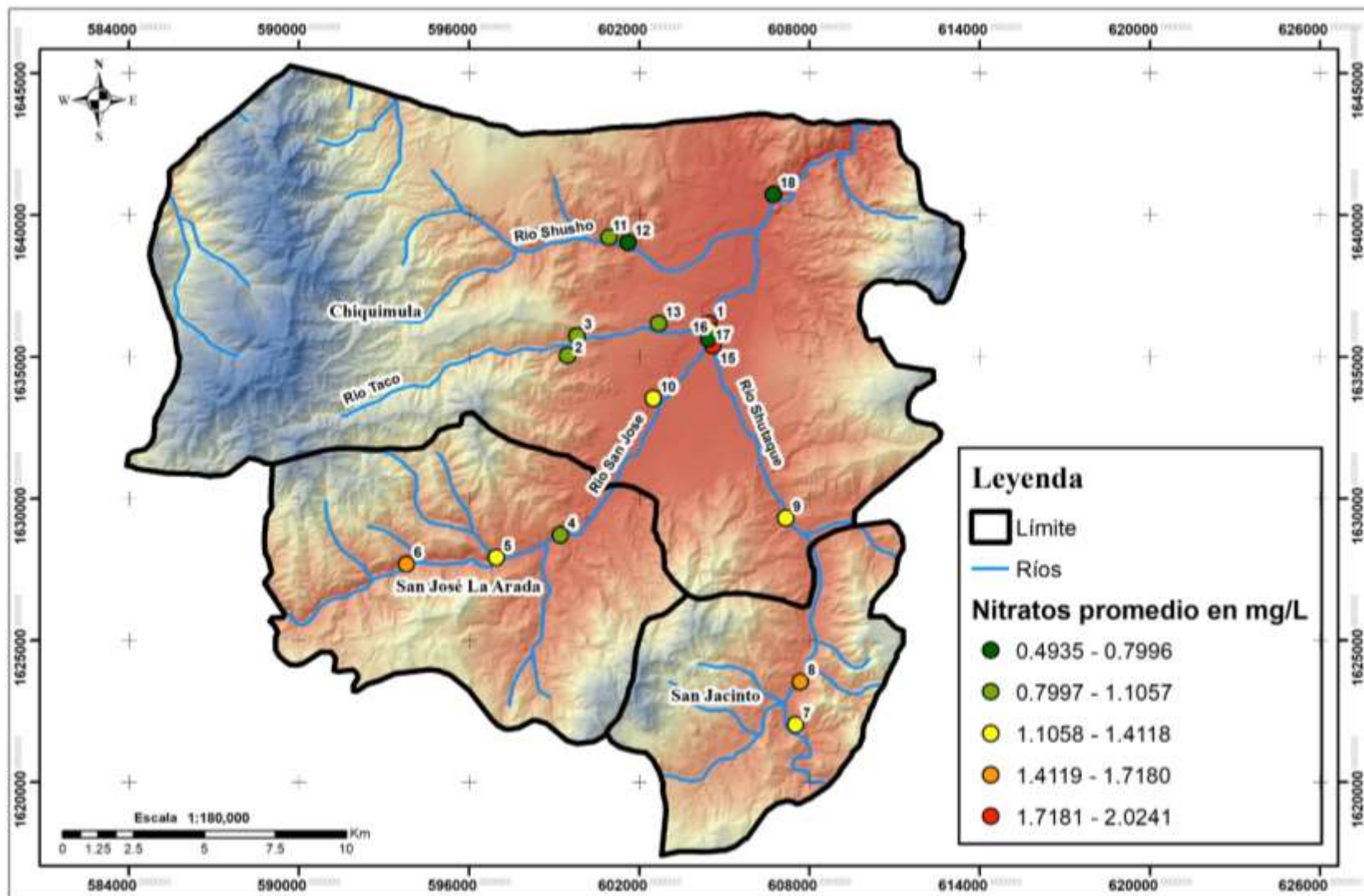
Fuente: elaboración propia, 2015.

### Anexo 3. Dureza en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



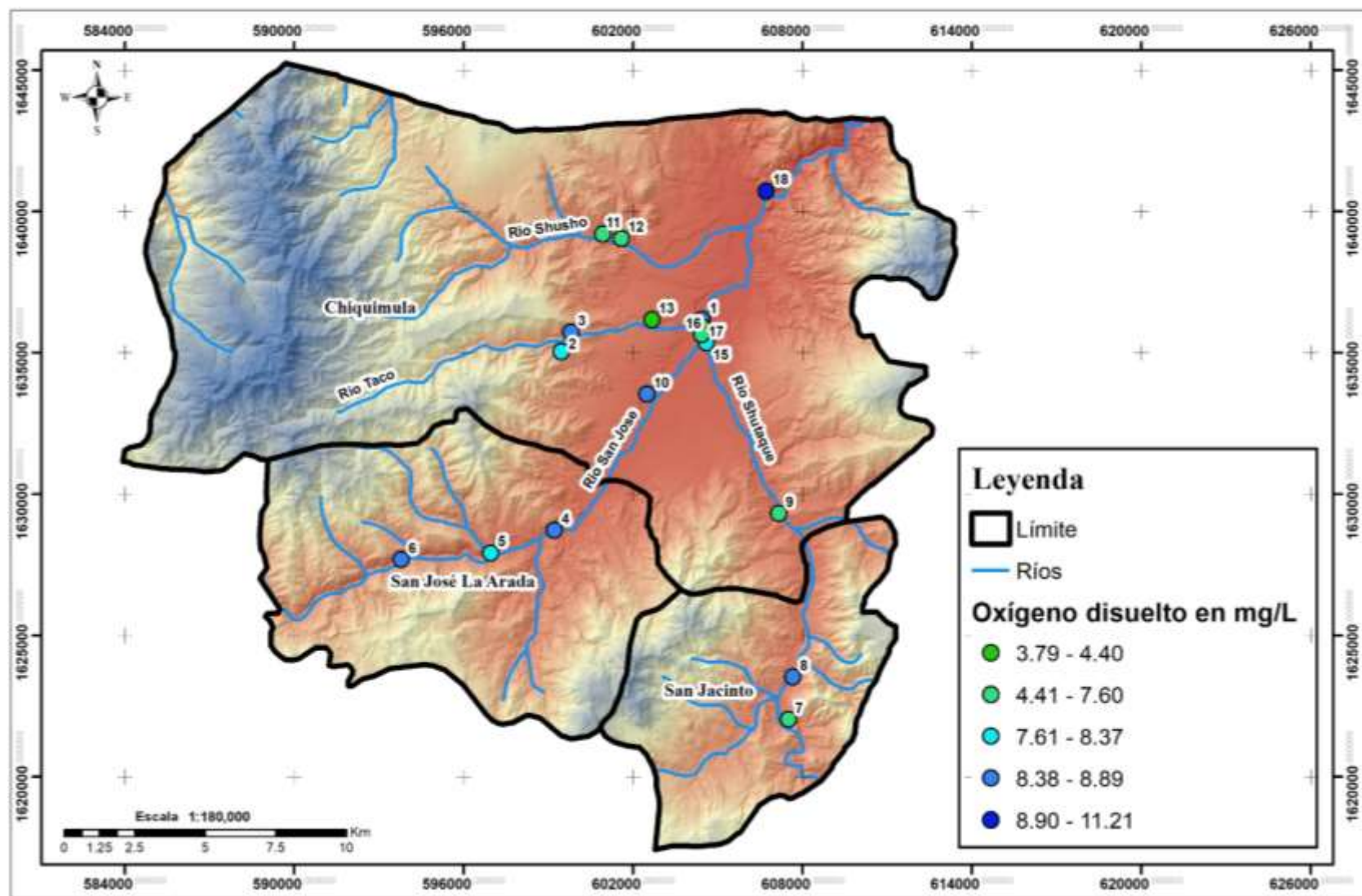
Fuente: elaboración propia, 2015.

#### Anexo 4. Dureza en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



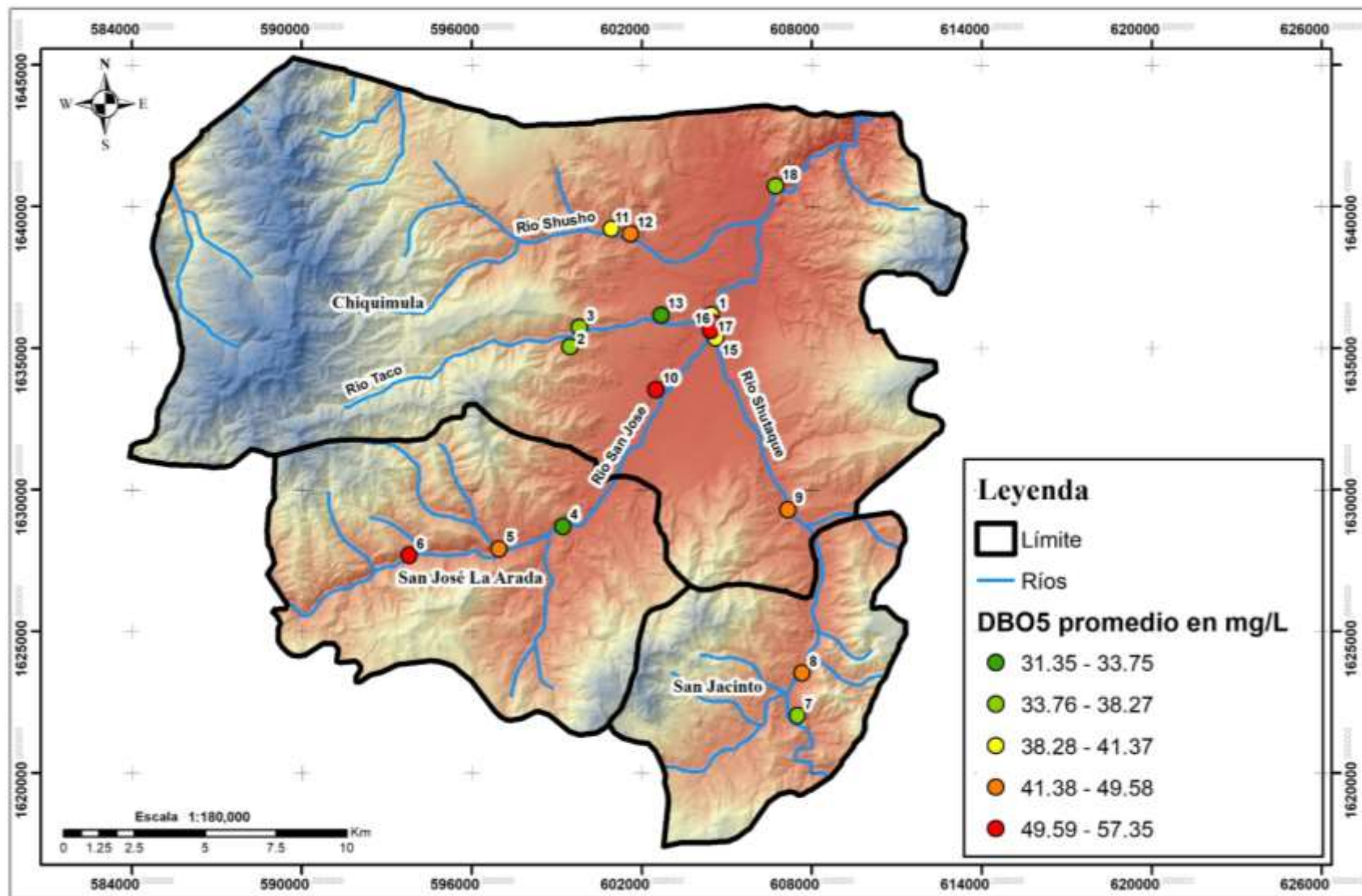
Fuente: elaboración propia, 2015.

# Anexo 5. Oxígeno disuelto en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



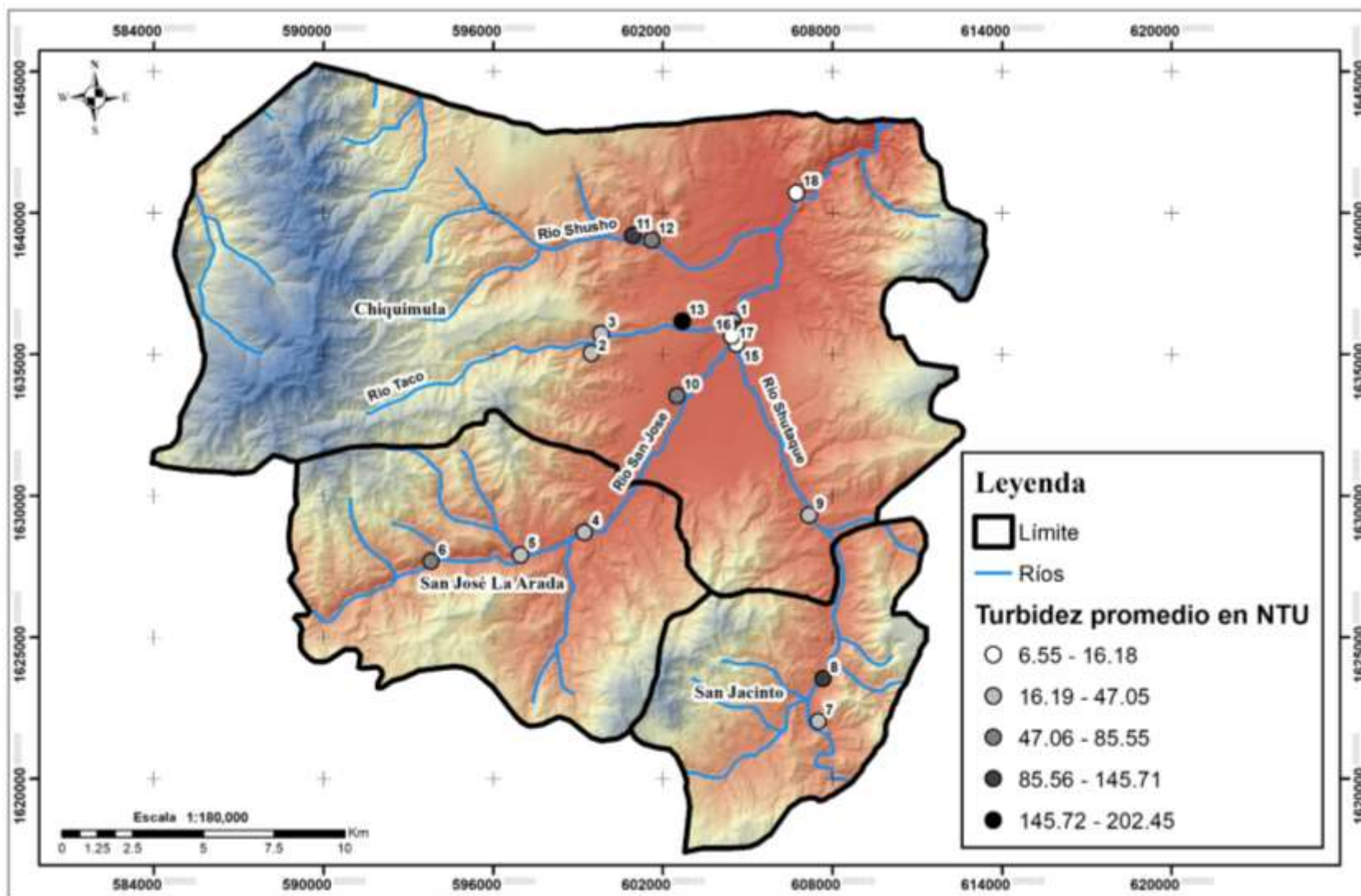
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 6. Demanda Biológica de Oxígeno en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



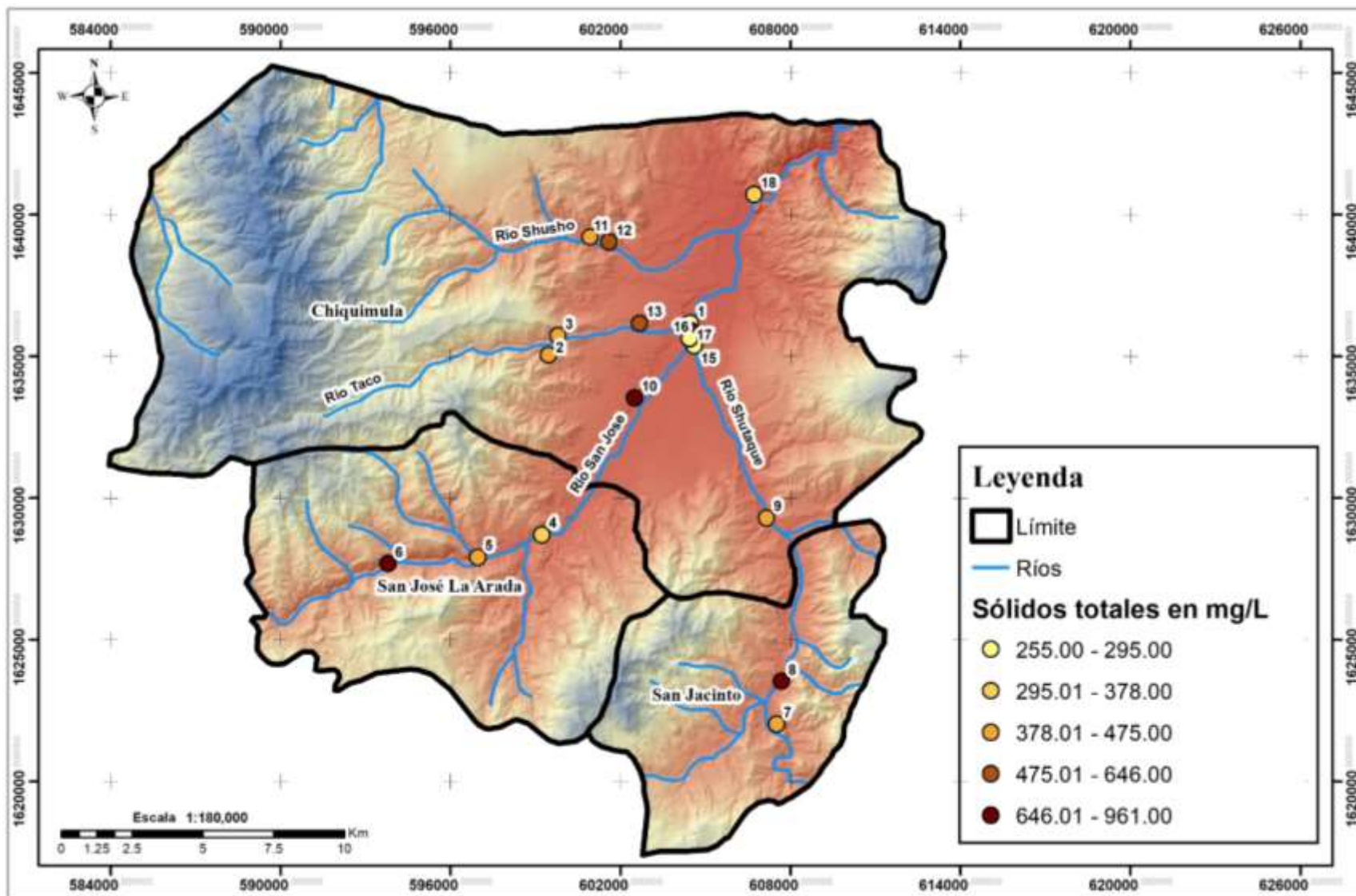
Fuente: elaboración propia, 2015.

## Anexo 7. Turbidez en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



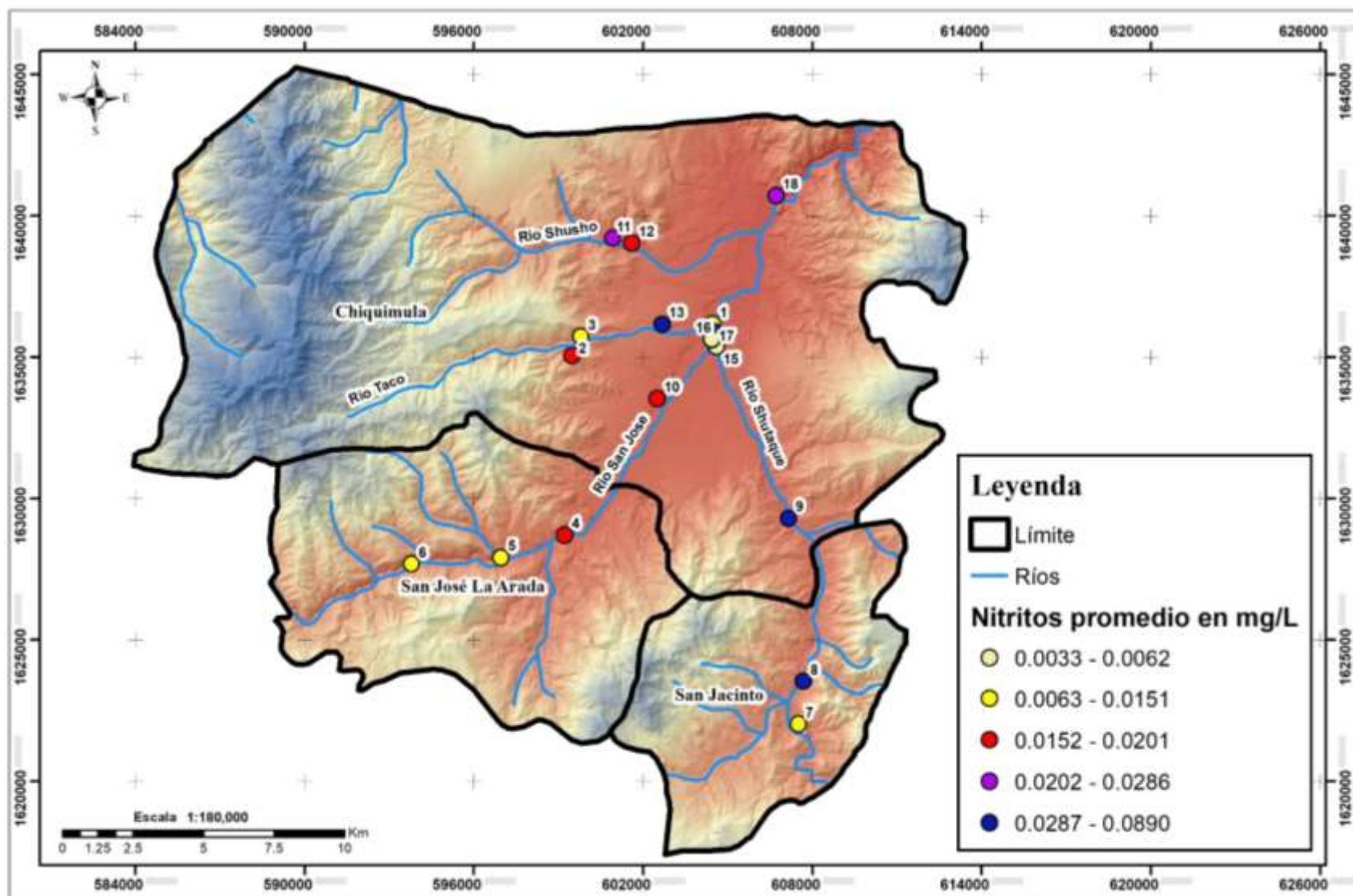
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 8. Sólidos totales en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



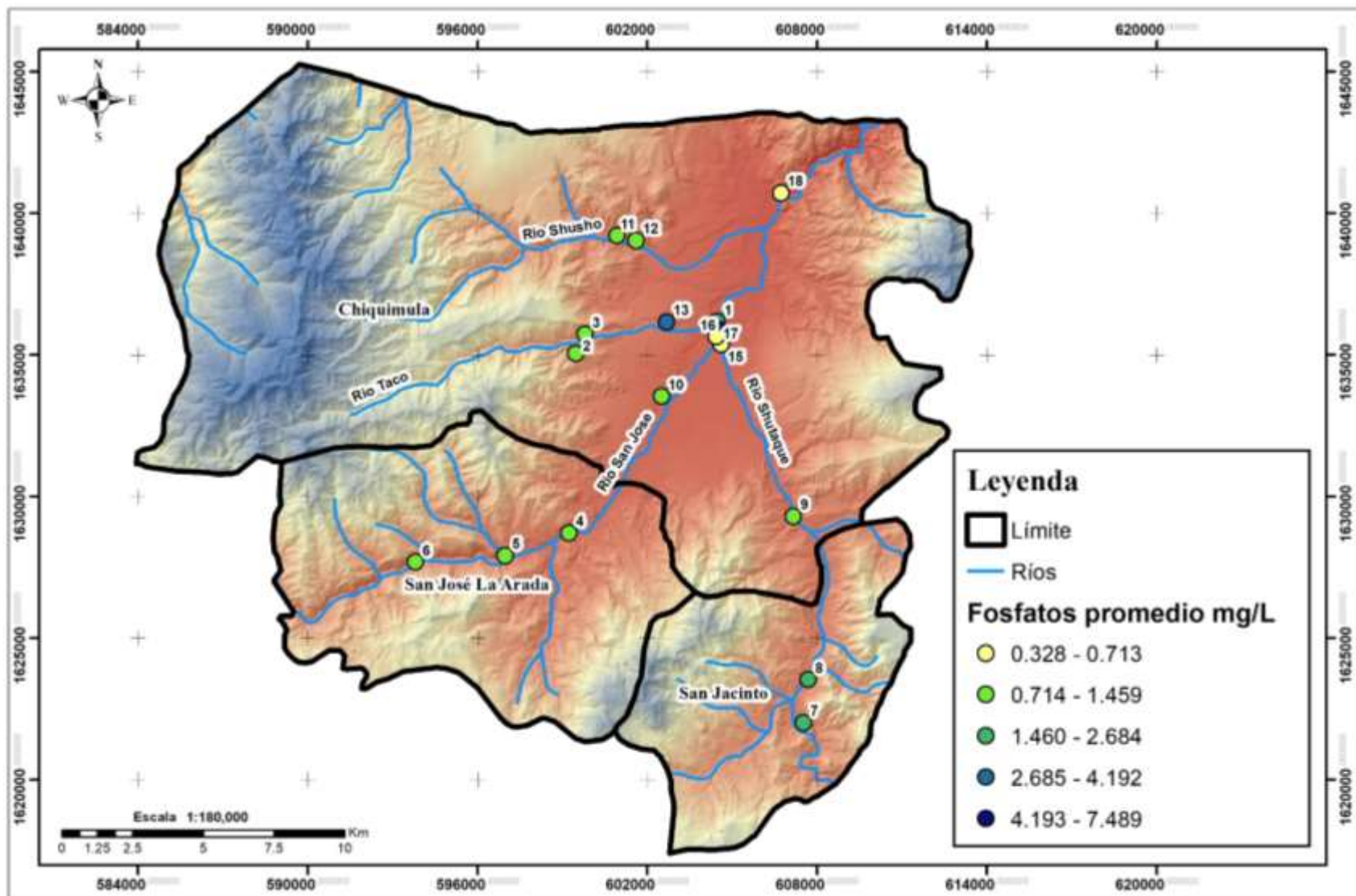
Fuente: elaboración propia, 2015.

## Anexo 9. Nitritos en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



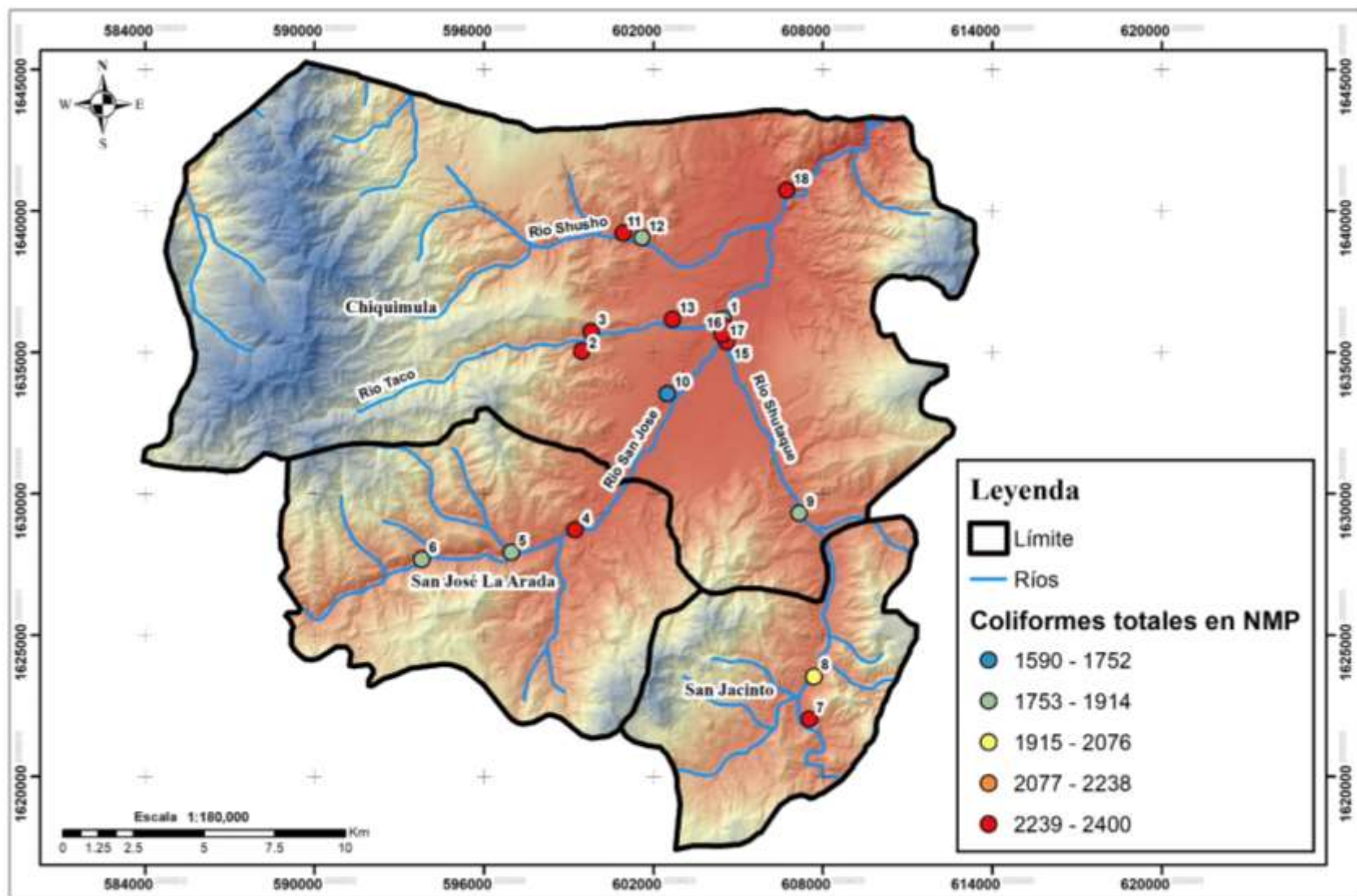
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 10. Fosfatos en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



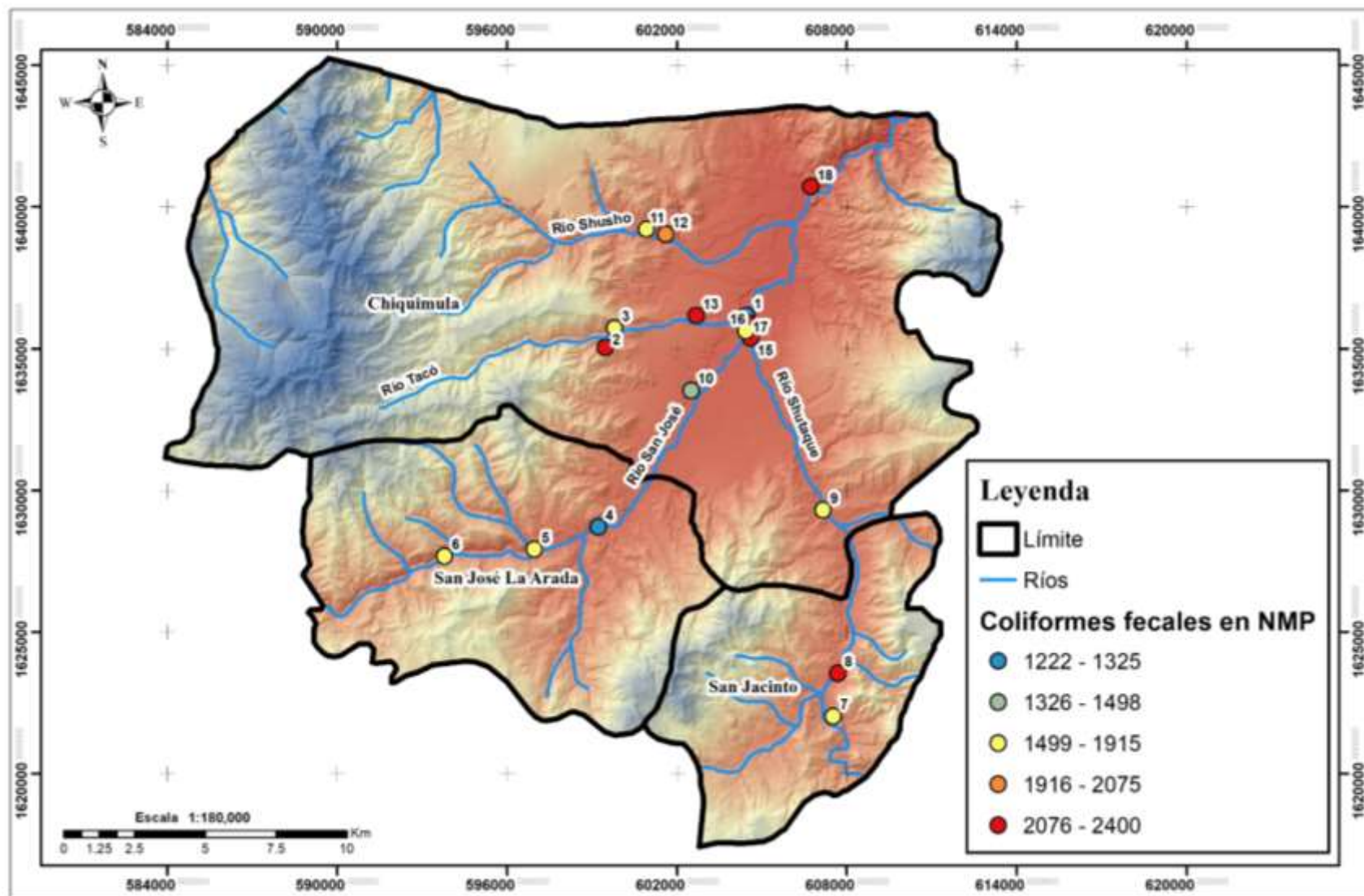
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 11. Coliformes totales en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



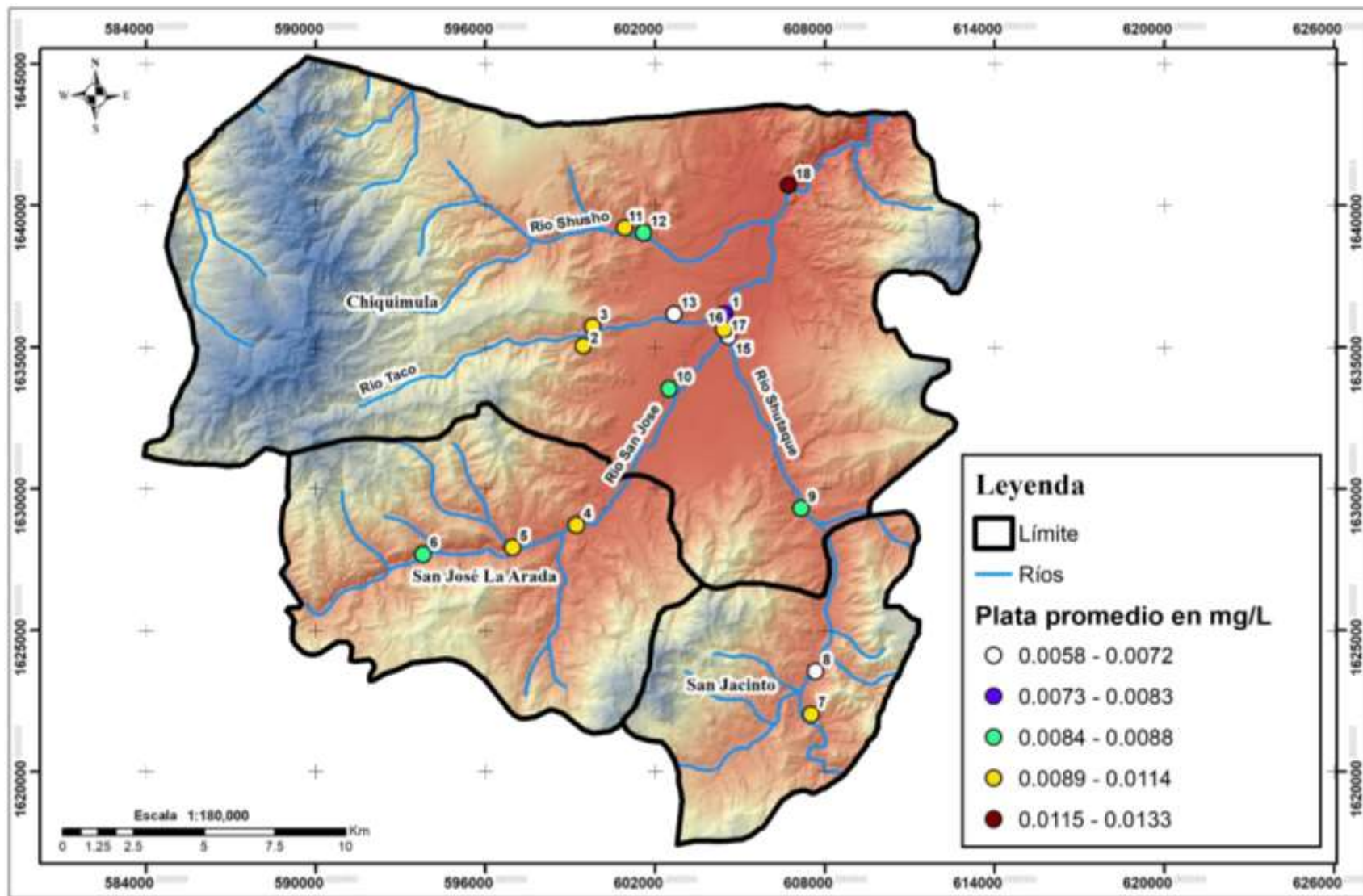
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 12. Coliformes fecales en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



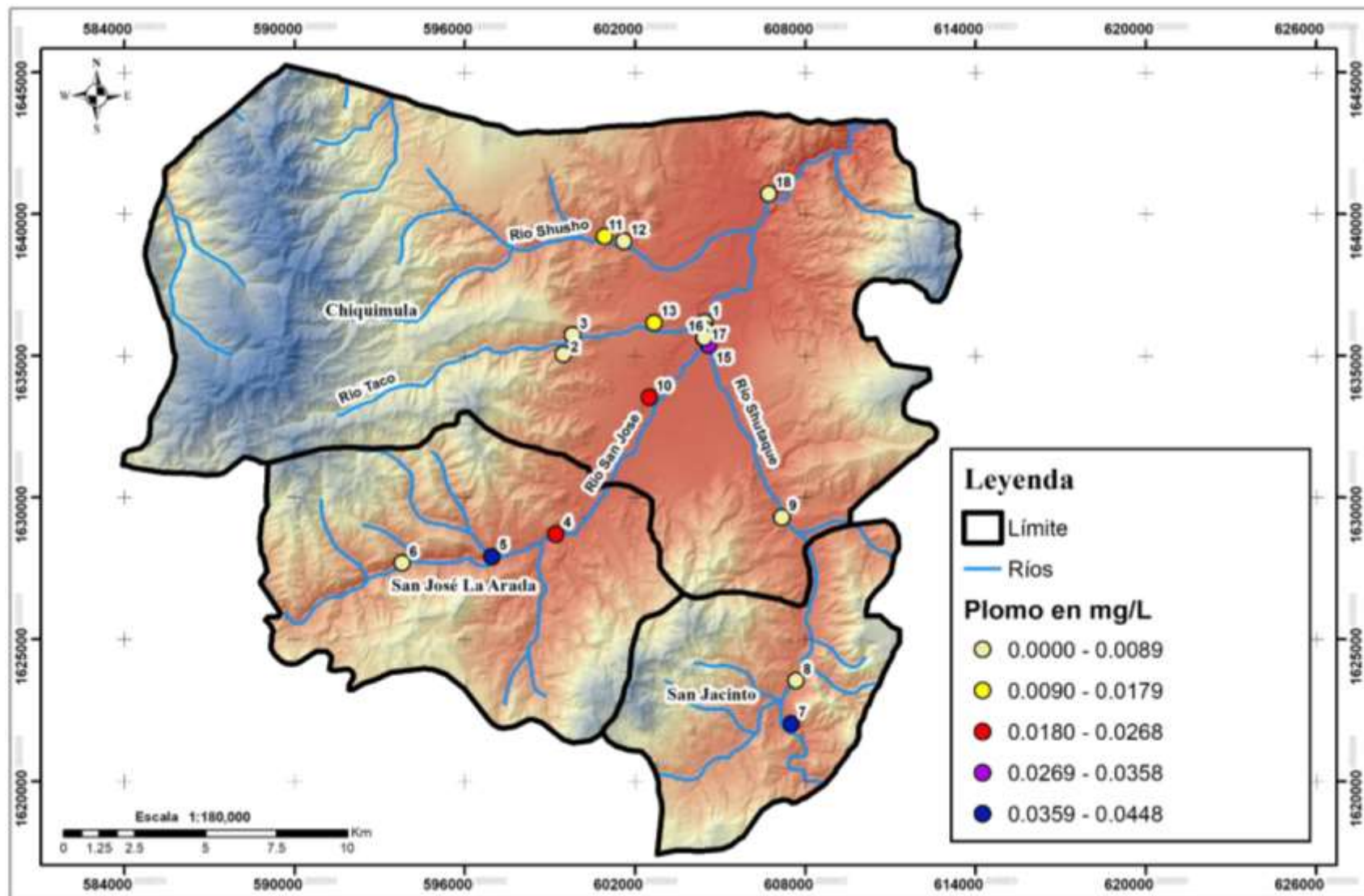
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 13. Plata en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



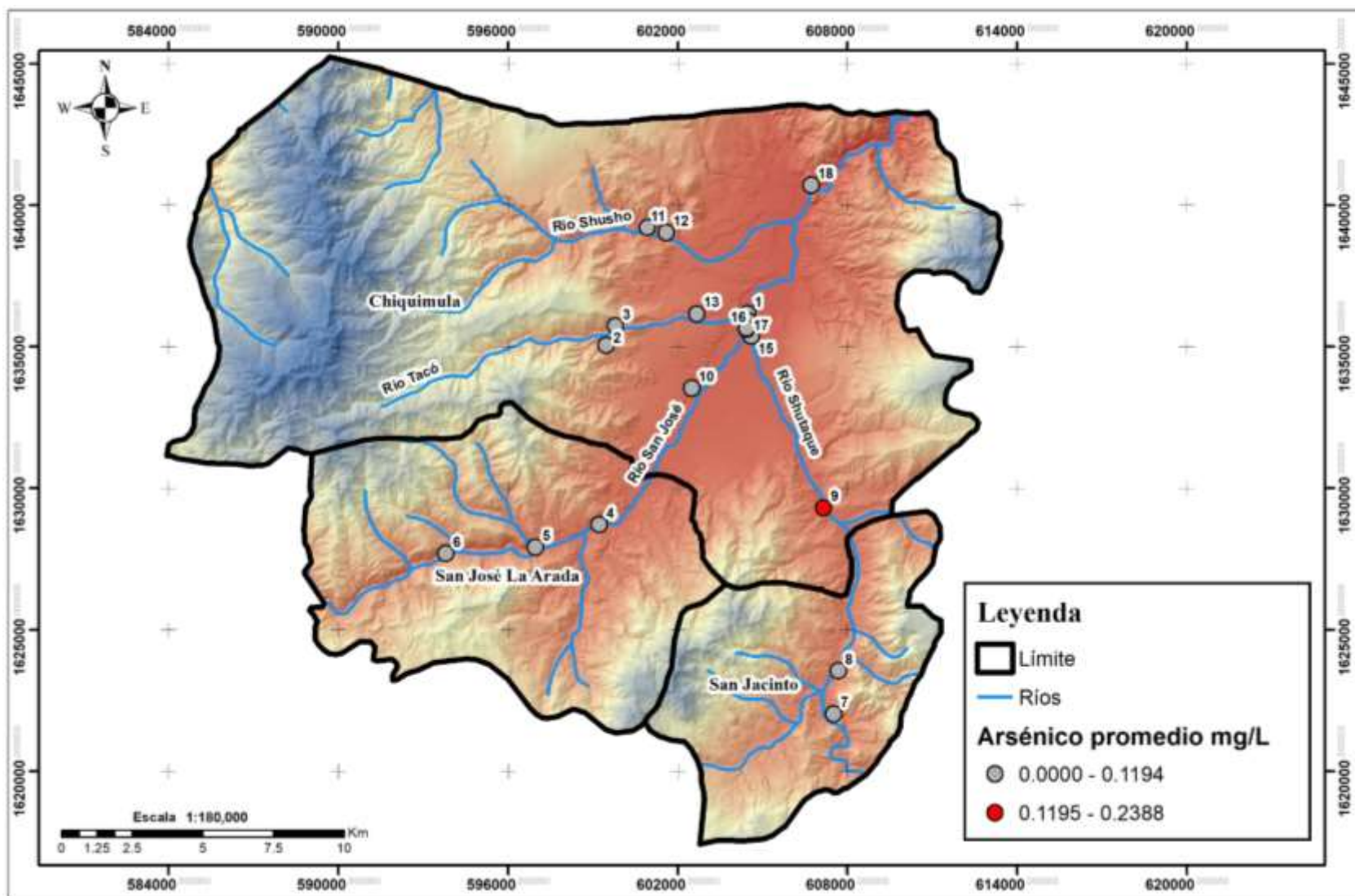
Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 14. Plomo en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Anexo 15. Arsénico en la red hidrológica superficial del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho.



Fuente: elaboración propia, 2015.

## **Anexo 16. Procedimiento para la determinación de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados en el agua.**

### **A. Nitratos NO<sub>3</sub>**

Se utiliza el método de salicilato de sodio; el rango de este método se encuentra entre 0.1 y 2 mg de nitrógeno de nitratos por litro. Muestras con mayores concentraciones requieren un volumen inicial menor.

#### **Procedimiento**

- Preparar la solución de salicilato de sodio disolviendo 0.05 gr de salicilato en 25 ml de agua destilada.
- Agregar 25 ml de la muestra filtrada en sus respectivas capsulas agregando 1 ml de salicilato preparado anteriormente
- Dejar las capsulas toda la noche de 70 °C a 90 °C hasta sequedad
- Mientras la capsula de porcelana aún está caliente, disolver el residuo con 1 ml de ácido sulfúrico por todas las paredes de la porcelana
- Lavar la porcelana con agua destilada y raspar las paredes con una varilla de vidrio misma que se utiliza para traspasar el agua al balón
- Agregar 7 ml de solución NaOH-tartrato y completar 100 ml del balón con agua destilada
- Agitar por inversión para mayor homogenización
- Leer a 420 nm en el espectrofotómetro sin corrección de fondo.

### **B. Nitritos NO<sub>2</sub>**

Este método es apropiado para concentraciones de ion nitrito de 1 a 20 ug de nitrógeno de nitrito por litro.

#### **Procedimiento**

- Servir 25 ml de muestra por duplicado en tubos de ensayo
- Agregar 0.5 ml de N-(1-Naftil) etilendiamina
- Agregar 0.5 ml de sulfanilamida
- Agitar por inversión para mayor homogenización
- Leer a 550 nm en el espectrofotómetro utilizando corrección de fondo

### **C. Fosfatos PO<sub>4</sub>**

Para la determinación de fosfatos se tiende a preparar los siguientes reactivos:

- A) 14.0 ml de ácido sulfúrico concentrado aforado con agua a 100 ml
- B)
- C) 0.0274 g de tartrato de antimonil-potasio en 10 ml de agua destilada
- D) 1.00 g de heptamolibdato de amonio en 25 ml de agua destilada
- E) 0.88 g de ácido ascórbico en 50 ml de agua destilada

#### **Procedimiento**

- Mezclar en el siguiente orden 80 ml de A, 8 ml de B, 24 ml de C y 48 ml de D
- Agregar 2.0 ml de esta mezcla a 10 ml de muestra filtrada por duplicado
- Agitar por inversión para mayor homogenización
- Leer a 880 nm utilizando corrección de fondo

### **D. Sulfatos SO<sub>4</sub>**

Para la determinación de sulfatos se prepara el reactivo condicionante

- Mezclar 50 ml de glicerol con una solución preparada mezclando 30 ml de HCL, 300 ml de H<sub>2</sub>O, 100 ml de etanol o isopropanol y 75 g de NaCl

#### **Procedimiento**

- Servir 25 ml de muestra por duplicado en tubos de ensayo
- Agregar 2 ml de reactivo condicionante a los tubos de ensayo
- Añadir una pizca de BaCl<sub>2</sub>
- Tapar los tubos y agitarlos a una velocidad constante para mayor homogenización
- Leer a 420 nm utilizando corrección de fondo

### **E. Demanda biológica de oxígeno en 5 días DBO<sub>5</sub>**

#### **Procedimiento:**

- En una botella de DBO de 300ml coloque 25 ml de la muestra y 1 ml de las soluciones A, B, C, y D.
- Complete con agua destilada hasta el cuello de la botella y determine el oxígeno disuelto con la sonda de oxímetro.
- Al sacar el detector complete con agua destilada hasta la mitad del cuello de la botella.
- Taparla de forma tal que no queden burbujas de aire dentro de la botella y colocarla en incubación a 20°C durante 5 días exactos.
- Incubar además una botella que solamente contenga las soluciones A, B, C y D y agua destilada.
- Al terminar el período de incubación determine el oxígeno disuelto.

#### **Cálculos**

$$DBO = (OD \text{ inicial} - OD \text{ final}) 10\text{ml/L}$$

### **F. Sólidos Totales**

Para la determinación de los sólidos totales primero debe de realizarse la preparación de la capsula:

#### **Preparación de la cápsula de porcelana:**

- Identificar la cápsula de porcelana a ser utilizada. Puede utilizarse marcador para identificarla.
- Llevar a peso constante la cápsula de porcelana a utilizar. Esto puede hacerse colocando la cápsula dentro de un horno de microondas y calentándolo por 5 minutos. Luego de calentar la cápsula ya no puede tocarla con las manos.
- Sacar la cápsula de porcelana del horno de microondas utilizando una pinza.
- Colocar la cápsula de porcelana dentro de una desecadora para esperar que se enfríe y pueda ser pesada en la balanza analítica.
- Anotar el peso.

Para este análisis se utiliza la fórmula:

- ***Sólidos totales = peso final – peso inicial***

### **Medición de la muestra:**

Las muestras de agua deben de estar preservadas a 4°C. Antes de ser medidas deben de llevarse a temperatura ambiente.

- Agitar la botella que contiene la muestra por lo menos durante 3 minutos para homogenizarla bien.
- Medir 100 ml de agua dentro de la cápsula de porcelana, la cápsula no puede ser tomada con la mano.
- Agarrar la cápsula de porcelana con una pinza y colocarle dentro de un horno. Llevar a 85°C y dejar por 24 horas para que el agua se evapore. Si el tiempo no ha sido suficiente se deja la cápsula dentro del horno a la misma temperatura, hasta que esté completamente seca.
- Sacar la cápsula del horno utilizando para ello una pinza (no debe ser tomada con la mano, ya que la grasa que se pueda tener en los dedos altera el peso de la cápsula) y colocarla dentro de una desecadora. Dejar enfriar, permitir que llegue a peso constante y pesar en la balanza analítica.
- Anotar el peso y calcular por diferencia.

### **G. Dureza**

#### **Procedimiento**

- Aplicar 5 ml de la muestra por duplicado en los Erlenmeyer
- Aplicar 25 ml de agua destilada en los Erlenmeyer
- Agregar 5 gotas de Buffer de Amonio
- Agregar 3 gotas de Negro Ericromo T
- Agitarlos hasta que tomen una coloración rosa
- Titular con solución EDTA moviendo el Erlenmeyer a una velocidad constante
- Anotar el volumen gastado de solución EDTA al momento que el agua tome una coloración azul.

## **H. Turbidez**

La turbidez será medida utilizando un turbidímetro.

### **Procedimiento:**

- Calibrar el medidor de turbidez con soluciones de calibración.
- La medición con este método se realiza introduciendo en forma progresiva una fracción de líquido a analizar en el tubo, previamente calibrado; la muestra debe de llegar hasta la marca blanca de la celda.
- Limpiar las paredes de la celda con papel mayordomo.
- colocar en el medidor de turbidez la muestra y leer en auto rango.

Cada vez que se analice una muestra diferente, el recipiente debe de ser enjuagado con agua destilada.

## **Determinación de parámetros bacteriológicos**

Los indicadores más usados para estos fines son los llamados organismos coliformes.

El estimado o determinación de los organismos coliformes se realiza empleando la técnica de los tubos múltiples.

## **I. Análisis de coliformes**

Se analizaron coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia Coli*.

### **Procedimiento:**

- Preparación de Agar.
- Hacer 1 agar simple, y 1 agar doble; en el agar simple se utiliza 17 gramos de mlx en 1000 ml, y en el agar doble se utiliza 17 mlx en 500 ml.
- Preparar 9 tubos de ensayo por cada muestra que se desee realizar.
- De esos 9 tubos de ensayo a 6 les agrego 9 ml del agar simple, a los otros 3 se le agrega 10 ml del agar doble.
- Hacer la siembra; para esto debe de colocarse a 3 tubos de ensayo de concentración simple 0.1 ml de la muestra, en los otros 3 tubos de ensayo de concentración simple colocar 1 ml de la muestra; y en los últimos 3 tubos de ensayo de concentración doble agregar 10 ml de la muestra.
- Incubar a 25°C por 24 hrs.

Después de las 24 horas, realizar la lectura de los tubos de ensayo. La lectura se realizará por un cambio de color, reacción Indol positiva o negativa.

- Por último, estos resultados se interpretan por una tabla establecida por la norma COGUANOR.

## **J. Método para cuantificación de metales por Absorción Atómica**

**Procedimiento para la determinación de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica por el método de flama (FLAAS).**

*Materiales y equipos*

- *Equipo*
  - Espectrofotómetro de Absorción Atómica THERMO iCE 3000 SERIES
  - Lámpara de cátodo hueco del elemento a determinar.
  - Quemador de 100 mm.
- *Reactivos*
  - Solución estándar certificado de 1000 mg/l de Arsénico
  - Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) grado analítico al 65% (concentrado).
  - Agua destilada – desmineralizada.
- *Materiales de vidrio/plástico*
  - Balones aforados clase A de 25 mL.
  - Beakers de 50 mL y 100 mL.
  - Pipetas graduadas clase A de 10 mL.

*Preparación de equipo y reactivos*

- *Preparación de cristalería.*
  - Todo el material de vidrio y plástico a utilizar, lavarlo de la siguiente forma:
    - Los recipientes serán lavados por triplicado con detergente libre de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (detergente iónico o extran) sean estos nuevos o usados con anterioridad. Luego del primer lavado se enjuagarán con agua del chorro en cada lavado.

- Posteriormente lavar los recipientes con solución ácido clorhídrico (HCL) al 2% por triplicado, para eliminar las sales que puedan existir en ellos.
- Y finalmente se lavarán los frascos con agua (H<sub>2</sub>O) destilada, nuevamente por triplicado, para eliminar los residuos del HCL de los recipientes.
- *Preservación de la muestra*
  - Las muestras de agua (superficial, subterránea, residual) deben ser almacenadas en envases de vidrio o plástico de 1 litro.
  - Tomada la muestra, agregar 2 mL de HNO<sub>3</sub>
  - Una vez acidificada la muestra, preservarla a 4°C.
  - La preservación de las muestras para análisis de metales pesados dura 6 meses, analizar lo antes posible.
- *Preparación de curva de calibración*
  - *Solución Intermedia de Arsénico de 100 mg/l*
    - Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 2.5 mL de la solución estándar certificado de 1000 mg/l de Arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.
    - Agregar 2 mL de ácido nítrico concentrado al balón aforado con la solución estándar de arsénico.
    - Aforar a 25 mL con agua destilada (esta solución es estable durante 6 meses).
    - Tapar y agitar por inversión 10 veces.

○ *Preparación de estándares<sup>1</sup>*

Para realizar éste paso, se toma en cuenta la sensibilidad del espectrofotómetro para el elemento de arsénico, el cual puede leer hasta 40 mg/l. Por lo tanto, para el cálculo de la curva se hace lo siguiente:

| <i>Diseño de curva de calibración</i>        | Cálculos                                      |                          |                                             |               |               |               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Cálculo del valor mínimo de lectura</i>   | $\frac{40 \text{ mg/l}}{10} = 4 \text{ mg/L}$ |                          | $\frac{4 \text{ mg/l}}{2} = 2 \text{ mg/L}$ |               | 2 mg/l        |               |
| <i>Calculando concentraciones estándares</i> | E1                                            | E2<br>(E1 <sup>2</sup> ) | E3<br>(E1*E2)                               | E4<br>(E2+E3) | E5<br>(E2+E4) | E6<br>(E2+E5) |
|                                              | 2                                             | 4                        | 8                                           | 12            | 16            | 20            |

Una vez, calculada la curva de calibración se procede de la siguiente forma:

- Servir en un beaker de 50 mL, aproximadamente 10 mL de la solución intermedia de arsénico.
- Etiquetar 7 balones aforados de 25 mL, de acuerdo a la concentración de arsénico que tendrá cada estándar.
- Blanco: Con una pipeta graduada de 50 mL, servir 20 mL de agua destilada o desmineralizada.
- Estándar de 2 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 0.5 mL de la solución intermedia de arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.
- Estándar de 4 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 1 mL de la solución intermedia de arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.
- Estándar de 8 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 2 mL de la solución intermedia de arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.

<sup>1</sup> En caso de que analizar más muestras en los días siguientes, trasvasar los estándares a botes plásticos con tapadera para continuar utilizándolos. Éstos deberán ser almacenados en un lugar lejos de la luz a temperatura ambiente. Los estándares serán estables durante 3 o 5 días.

- Estándar de 12 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 3 mL de la solución intermedia de arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.
- Estándar de 16 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 4 mL de la solución intermedia de arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.
- Estándar de 20 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 5 mL de la solución intermedia de arsénico y servirlo en un balón aforado de 25 mL.
- Agregar 2 mL de ácido nítrico concentrado a cada balón y aforarlos a 25 mL con agua destilada.
- Tapar y agitar por inversión cada balón, 10 veces.

*Procedimiento para el análisis*

- En un balón aforado de 25 mL, servir 20 mL de la muestra preservada.
- Agregar 2 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado.
- Aforar a 25 mL con agua destilada.
- Agitar por inversión, 10 veces.
- Encender el espectrofotómetro de absorción atómica y dejar calentar durante unos 10 minutos.
- Ingresar el factor de dilución: 1.25 (25/20).
- Ingresar la curva de calibración en el espectrofotómetro, según vaya pidiendo los estándares preparados anteriormente.
- Una vez ingresada la curva de calibración, el equipo procederá a la lectura de las muestras preparadas.
- Terminada la lectura de cada muestra, el equipo mostrará la concentración de arsénico de cada muestra en mg/l.

*Fuentes:*

*APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1992.*

*Cerón Elías, VC. Línea base para la determinación de arsénico en el agua de pozo de la ciudad de Chiquimula, municipio de Chiquimula, Departamento de Chiquimula, Guatemala, 2015.*

## **Procedimiento para la determinación de plomo por espectrofotometría de absorción atómica por el método de flama (FLAAS).**

### *Materiales y equipos*

- *Equipo*
  - Espectrofotómetro de Absorción Atómica THERMO iCE 3000 SERIES
  - Lámpara de cátodo hueco del elemento a determinar.
  - Quemador de 100 mm.
- *Reactivos*
  - Solución estándar certificado de 1000 mg/l de Plomo
  - Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) grado analítico al 65% (concentrado).
  - Agua destilada – desmineralizada.
- *Materiales de vidrio/plástico*
  - Balones aforados clase A de 100 mL.
  - Beakers de 50 mL y 100 mL.
  - Pipetas graduadas clase A de 10 mL.

### *Preparación de equipo y reactivos*

- *Preparación de cristalería.*
  - Todo el material de vidrio y plástico a utilizar, lavarlo de la siguiente forma:
    - Los recipientes serán lavados por triplicado con detergente libre de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (detergente iónico o extran) sean estos nuevos o usados con anterioridad. Luego del primer lavado se enjuagarán con agua del chorro en cada lavado.
    - Posteriormente lavar los recipientes con solución ácido clorhídrico (HCL) al 2% por triplicado, para eliminar las sales que puedan existir en ellos.
    - Y finalmente se lavarán los frascos con agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) destilada, nuevamente por triplicado, para eliminar los residuos del HCL de los recipientes.

- *Preservación de la muestra*
  - Las muestras de agua (superficial, subterránea, residual) deben ser almacenadas en envases de vidrio o plástico de 1 litro.
  - Tomada la muestra, agregar 2 mL de HNO<sub>3</sub>
  - Una vez acidificada la muestra, preservarla a 4°C.
  - La preservación de las muestras para análisis de metales pesados dura 6 meses, analizar lo antes posible.
- *Preparación de curva de calibración*
  - *Solución Intermedia de Plomo de 70 mg/l*
    - Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 7 mL de la solución estándar certificado de 1000 mg/l de Plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
    - Agregar 8 mL de ácido nítrico concentrado al balón aforado con la solución estándar de plomo.
    - Aforar a 100 mL con agua destilada (esta solución es estable durante 6 meses).
    - Tapar y agitar por inversión 10 veces.
  - *Preparación de estándares<sup>2</sup>*

Para realizar éste paso, se toma en cuenta la sensibilidad del espectrofotómetro para el elemento de plomo, el cual puede leer hasta 7 mg/l. Por lo tanto, para el cálculo de la curva se hace lo siguiente:

| <i>Diseño de curva de calibración</i>        | <b>Cálculos</b>                                |               |                                                  |               |               |               |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Cálculo del valor mínimo de lectura</i>   | $\frac{7 \text{ mg/l}}{10} = 0.7 \text{ mg/L}$ |               | $\frac{0.7 \text{ mg/l}}{2} = 0.35 \text{ mg/L}$ |               | 0.35 mg/l     |               |
| <i>Calculando concentraciones estándares</i> | E1                                             | E2<br>(E1+E1) | E3 (E2+E2)                                       | E4<br>(E2+E3) | E5<br>(E2+E4) | E6<br>(E2+E5) |
|                                              | 0.35                                           | 0.7           | 1.4                                              | 2.1           | 2.8           | 3.5           |

<sup>2</sup> En caso de que analizar más muestras en los días siguientes, trasvasar los estándares a botes plásticos con tapadera para continuar utilizándolos. Éstos deberán ser almacenados en un lugar lejos de la luz a temperatura ambiente. Los estándares serán estables durante 3 o 5 días.

Una vez, calculada la curva de calibración se procede de la siguiente forma:

- Servir en un beaker de 50 mL, aproximadamente 10 mL de la solución intermedia de plomo.
- Etiquetar 7 balones aforados de 100 mL, de acuerdo a la concentración de plomo que tendrá cada estándar.
- Blanco: Con una pipeta graduada servir 80 mL de agua destilada o desmineralizada.
- Estándar de 0.35 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 0.5 mL de la solución intermedia de plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 0.7 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 1 mL de la solución intermedia de plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 1.4 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 2 mL de la solución intermedia de plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 2.1 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 3 mL de la solución intermedia de plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 2.8 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 4 mL de la solución intermedia de plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 3.5 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 5 mL de la solución intermedia de plomo y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Agregar 8 mL de ácido nítrico concentrado a cada balón y aforarlos a 100 mL con agua destilada.
- Tapar y agitar por inversión cada balón, 10 veces.

### *Procedimiento para el análisis*

- En un balón aforado de 100 mL, servir 80 mL de la muestra preservada.
- Agregar 8 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado.
- Aforar a 100 mL con agua destilada.
- Agitar por inversión, 10 veces.
- Encender el espectrofotómetro de absorción atómica y dejar calentar durante unos 10 minutos.
- Ingresar el factor de dilución: 1.25 (100/80).
- Ingresar la curva de calibración en el espectrofotómetro, según vaya pidiendo los estándares preparados anteriormente.
- Una vez ingresada la curva de calibración, el equipo procederá a la lectura de las muestras preparadas.
- Terminada la lectura de cada muestra, el equipo mostrará la concentración de plomo de cada muestra en mg/l.

### *Fuentes:*

*APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1992.*

## **Procedimiento para la determinación de plata por espectrofotometría de absorción atómica por el método de flama (FLAAS).**

### *Materiales y equipos*

- *Equipo*
  - Espectrofotómetro de Absorción Atómica THERMO iCE 3000 SERIES
  - Lámpara de cátodo hueco del elemento a determinar.
  - Quemador de 100 mm.
- *Reactivos*
  - Solución estándar certificado de 1000 mg/l de Plomo
  - Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) grado analítico al 65% (concentrado).
  - Agua destilada – desmineralizada.
- *Materiales de vidrio/plástico*
  - Balones aforados clase A de 100 mL.
  - Beakers de 50 mL y 100 mL.
  - Pipetas graduadas clase A de 1 mL y 50 mL.

### *Preparación de equipo y reactivos*

- *Preparación de cristalería.*
  - Todo el material de vidrio y plástico a utilizar, lavarlo de la siguiente forma:
    - Los recipientes serán lavados por triplicado con detergente libre de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (detergente iónico o extran) sean estos nuevos o usados con anterioridad. Luego del primer lavado se enjuagarán con agua del chorro en cada lavado.
    - Posteriormente lavar los recipientes con solución ácido clorhídrico (HCL) al 2% por triplicado, para eliminar las sales que puedan existir en ellos.
    - Y finalmente se lavarán los frascos con agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) destilada, nuevamente por triplicado, para eliminar los residuos del HCL de los recipientes.

- *Preservación de la muestra*
  - Las muestras de agua (superficial, subterránea, residual) deben ser almacenadas en envases de vidrio o plástico de 1 litro.
  - Tomada la muestra, agregar 2 mL de HNO<sub>3</sub>
  - Una vez acidificada la muestra, preservarla a 4°C.
  - La preservación de las muestras para análisis de metales pesados dura 6 meses, analizar lo antes posible.
  
- *Preparación de curva de calibración*
  - *Solución Intermedia de Plata de 125 mg/l*
    - Con una pipeta graduada de 50 mL, tomar una alícuota de 12.5 mL de la solución estándar certificado de 1000 mg/l de Plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
    - Agregar 8 mL de ácido nítrico concentrado al balón aforado con la solución estándar de plata.
    - Aforar a 100 mL con agua destilada (esta solución es estable durante 6 meses).
    - Tapar y agitar por inversión 10 veces.
  
  - *Preparación de estándares<sup>3</sup>*

Para realizar este paso, se toma en cuenta la sensibilidad del espectrofotómetro para el elemento de plata, el cual puede leer hasta 2.5 mg/l. Por lo tanto, para el cálculo de la curva se hace lo siguiente:

| <i>Diseño de curva de calibración</i>        | <b>Cálculos</b>                                   |               |                                                    |               |               |               |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Cálculo del valor mínimo de lectura</i>   | $\frac{2.5 \text{ mg/l}}{10} = 0.25 \text{ mg/L}$ |               | $\frac{0.25 \text{ mg/l}}{2} = 0.125 \text{ mg/L}$ |               | 0.125 mg/l    |               |
| <i>Calculando concentraciones estándares</i> | E1                                                | E2<br>(E1+E1) | E3 (E2+E2)                                         | E4<br>(E2+E3) | E5<br>(E2+E4) | E6<br>(E2+E5) |
|                                              | 0.125                                             | 0.25          | 0.50                                               | 0.75          | 1.00          | 1.25          |

<sup>3</sup> En caso de que analizar más muestras en los días siguientes, trasvasar los estándares a botes plásticos con tapadera para continuar utilizándolos. Éstos deberán ser almacenados en un lugar lejos de la luz a temperatura ambiente. Los estándares serán estables durante 3 o 5 días.

Una vez, calculada la curva de calibración se procede de la siguiente forma:

- Servir en un beaker de 50 mL, aproximadamente 10 mL de la solución intermedia de plata.
- Etiquetar 7 balones aforados de 100 mL, de acuerdo a la concentración de plata que tendrá cada estándar.
- Blanco: Con una pipeta graduada servir 80 mL de agua destilada o desmineralizada.
- Estándar de 0.125 mg/l: Con una pipeta graduada de 1 mL, tomar una alícuota de 0.1 mL de la solución intermedia de plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 0.25 mg/l: Con una pipeta graduada de 1 mL, tomar una alícuota de 0.2 mL de la solución intermedia de plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 0.50 mg/l: Con una pipeta graduada de 1 mL, tomar una alícuota de 0.4 mL de la solución intermedia de plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 0.75 mg/l: Con una pipeta graduada de 10 mL, tomar una alícuota de 0.6 mL de la solución intermedia de plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 1.00 mg/l: Con una pipeta graduada de 1 mL, tomar una alícuota de 0.8 mL de la solución intermedia de plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Estándar de 1.25 mg/l: Con una pipeta graduada de 1 mL, tomar una alícuota de 1.0 mL de la solución intermedia de plata y servirlo en un balón aforado de 100 mL.
- Agregar 8 mL de ácido nítrico concentrado a cada balón y aforarlos a 100 mL con agua destilada.
- Tapar y agitar por inversión cada balón, 10 veces.

### *Procedimiento para el análisis*

- En un balón aforado de 100 mL, servir 80 mL de la muestra preservada.
- Agregar 8 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado.
- Aforar a 100 mL con agua destilada.
- Agitar por inversión, 10 veces.
- Encender el espectrofotómetro de absorción atómica y dejar calentar durante unos 10 minutos.
- Ingresar el factor de dilución: 1.25 (100/80).
- Ingresar la curva de calibración en el espectrofotómetro, según vaya pidiendo los estándares preparados anteriormente.
- Una vez ingresada la curva de calibración, el equipo procederá a la lectura de las muestras preparadas.
- Terminada la lectura de cada muestra, el equipo mostrará la concentración de plomo de cada muestra en mg/l.

### *Fuentes:*

*APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1992.*

**Anexo 17. Determinación del índice de calidad del agua en diferentes puntos de control para los cuatro monitoreos realizados.**

**A. Primer monitoreo**

| RIO SHUTAUQUE                              |       |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Cementerio San Jacinto. |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                                 | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                       | 43    | NMP/100 ml   | 55,0             | 0,15 | 8,25  |  |
| 2 pH                                       | 8,08  | Unidades pH  | 81,2             | 0,12 | 9,74  |  |
| 3 DBO5                                     | 21,51 | mg/l         | 10,0             | 0,10 | 1,00  |  |
| 4 Nitratos                                 | 0,51  | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |  |
| 5 Fosfatos                                 | 2,85  | mg/l         | 24,8             | 0,10 | 2,48  |  |
| 6 Temperatura (16.65-19.08)                | -2,43 | °C           | 70,4             | 0,10 | 7,04  |  |
| 7 Turbidez                                 | 2,76  | FAU          | 92,4             | 0,08 | 7,39  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales                | 77,1  | mg/l         | 86,1             | 0,08 | 6,89  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                         | 7,71  | % saturación | 6,7              | 0,17 | 1,14  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-   |       |              |                  | Suma | 53,68 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San Jacinto.   |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,18   | Unidades pH  | 81,8             | 0,12 | 9,82  |  |
| 3 DBO5                                   | 26,88  | mg/l         | 6,0              | 0,10 | 0,60  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,45   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,69   | mg/l         | 66,6             | 0,10 | 6,66  |  |
| 6 Temperatura (19.66-19.10)              | 0,56   | °C           | 87,5             | 0,10 | 8,75  |  |
| 7 Turbidez                               | 2,78   | FAU          | 93,6             | 0,08 | 7,49  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 74,61  | mg/l         | 89,9             | 0,08 | 7,19  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,77   | % saturación | 6,7              | 0,17 | 1,14  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 52,59 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Vado Hondo.     |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,1    | Unidades pH  | 81,6             | 0,12 | 9,79  |       |
| 3 DBO5                                   | 22,44  | mg/l         | 10,0             | 0,10 | 1,00  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,55   | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |       |
| 5 Fosfatos                               | 1,91   | mg/l         | 29,8             | 0,10 | 2,98  |       |
| 6 Temperatura (19.14-18.40)              | 0,74   | °C           | 87,7             | 0,10 | 8,77  |       |
| 7 Turbidez                               | 1,93   | FAU          | 95,2             | 0,08 | 7,62  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 78,14  | mg/l         | 85,8             | 0,08 | 6,86  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,13   | % saturación | 7,1              | 0,17 | 1,21  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 49,18 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                                      |       |              |                  |      |       |       |
|----------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente callejón de los Morales. |       |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                                         | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                               | 39    | NMP/100 ml   | 56,0             | 0,15 | 8,40  |       |
| 2 pH                                               | 7,98  | Unidades pH  | 86,6             | 0,12 | 10,39 |       |
| 3 DBO5                                             | 18,78 | mg/l         | 14,0             | 0,10 | 1,4   |       |
| 4 Nitratos                                         | 0,32  | mg/l         | 97,3             | 0,10 | 9,73  |       |
| 5 Fosfatos                                         | 1,29  | mg/l         | 38,2             | 0,10 | 3,82  |       |
| 6 Temperatura (18-20.85)                           | -2,85 | °C           | 70,8             | 0,10 | 7,08  |       |
| 7 Turbidez                                         | 1,67  | FAU          | 97,3             | 0,08 | 7,78  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales                        | 76084 | mg/l         | 87,7             | 0,08 | 7,02  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                                 | 6,26  | % saturación | 5,2              | 0,17 | 0,88  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-           |       |              |                  |      | Suma  | 59,03 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea La Torera.      |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,75   | Unidades pH  | 59,8             | 0,12 | 7,18  |       |
| 3 DBO5                                   | 32,79  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,31   | mg/l         | 97,3             | 0,10 | 9,73  |       |
| 5 Fosfatos                               | 0,85   | mg/l         | 50,6             | 0,10 | 5,06  |       |
| 6 Temperatura (23.45-19.75)              | 3,7    | °C           | 67,7             | 0,10 | 6,77  |       |
| 7 Turbidez                               | 7,65   | FAU          | 82,5             | 0,08 | 6,60  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 79,33  | mg/l         | 84,3             | 0,08 | 6,74  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 9,63   | % saturación | 8,6              | 0,17 | 1,46  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 44,94 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Los Encuentros. |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,81   | Unidades pH  | 56,8             | 0,12 | 6,82  |  |
| 3 DBO5                                   | 59,88  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,4    | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,8    | mg/l         | 50,3             | 0,10 | 5,03  |  |
| 6 Temperatura (27.74-20.6)               | 7,14   | °C           | 31,1             | 0,10 | 3,11  |  |
| 7 Turbidez                               | 7,31   | FAU          | 83,3             | 0,08 | 6,66  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 75,86  | mg/l         | 88,7             | 0,08 | 7,10  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 11,33  | % saturación | 10,3             | 0,17 | 1,75  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 41,61 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                                         |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente blanco sobre río San José. |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                                           | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                                 | 39    | NMP/100 ml   | 56,0             | 0,15 | 8,40  |  |
| 2 pH                                                 | 8     | Unidades pH  | 81,1             | 0,12 | 9,73  |  |
| 3 DBO5                                               | 22,86 | mg/l         | 10,0             | 0,10 | 1,00  |  |
| 4 Nitratos                                           | 0,85  | mg/l         | 97,8             | 0,10 | 9,78  |  |
| 5 Fosfatos                                           | 5,77  | mg/l         | 11,7             | 0,10 | 1,17  |  |
| 6 Temperatura (26.54-20.6)                           | 10,75 | °C           | 21,7             | 0,10 | 2,17  |  |
| 7 Turbidez                                           | 4     | FAU          | 89,2             | 0,08 | 7,14  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales                          | 79,37 | mg/l         | 84,1             | 0,08 | 6,73  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                                   | 7,58  | % saturación | 6,5              | 0,17 | 1,11  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-             |       |              |                  | Suma | 47,22 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San José.      |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,7    | Unidades pH  | 59,8             | 0,12 | 7,18  |  |
| 3 DBO5                                   | 25,77  | mg/l         | 6,5              | 0,10 | 0,65  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,48   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,07   | mg/l         | 29,1             | 0,10 | 2,91  |  |
| 6 Temperatura (30.10-21.25)              | 5,94   | °C           | 42,9             | 0,10 | 4,29  |  |
| 7 Turbidez                               | 5,69   | FAU          | 87,1             | 0,08 | 6,97  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 74,49  | mg/l         | 89,6             | 0,08 | 7,17  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 10,28  | % saturación | 9,2              | 0,17 | 1,56  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 41,61 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Granja CUNORI.        |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 93    | NMP/100 ml   | 46,0             | 0,15 | 6,90  |  |
| 2 pH                                     | 8,04  | Unidades pH  | 81,1             | 0,12 | 9,73  |  |
| 3 DBO5                                   | 28,56 | mg/l         | 5,0              | 0,10 | 0,50  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,74  | mg/l         | 97,7             | 0,10 | 9,77  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,48  | mg/l         | 29,4             | 0,10 | 2,94  |  |
| 6 Temperatura (30.10-21.25)              | 8,85  | °C           | 25,8             | 0,10 | 2,58  |  |
| 7 Turbidez                               | 4,69  | FAU          | 89,9             | 0,08 | 7,19  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 76,85 | mg/l         | 87,7             | 0,08 | 7,02  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,03  | % saturación | 7,0              | 0,17 | 1,19  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  | Suma | 47,82 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Pozos San José.       |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 1100  | NMP/100 ml   | 20,0             | 0,15 | 3,00  |  |
| 2 pH                                     | 8,41  | Unidades pH  | 82,8             | 0,12 | 9,94  |  |
| 3 DBO5                                   | 30,54 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,38  | mg/l         | 97,3             | 0,10 | 9,73  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,72  | mg/l         | 62,9             | 0,10 | 6,29  |  |
| 6 Temperatura (29.55-25.7)               | 3,85  | °C           | 67,8             | 0,10 | 6,78  |  |
| 7 Turbidez                               | 3,76  | FAU          | 90,1             | 0,08 | 7,21  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 80,06 | mg/l         | 83,8             | 0,08 | 6,70  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,04  | % saturación | 7,0              | 0,17 | 1,19  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  | Suma | 51,04 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Presa Molino.         |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,77   | Unidades pH  | 59,9             | 0,12 | 7,19  |  |
| 3 DBO5                                   | 26,55  | mg/l         | 6,0              | 0,10 | 0,60  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,4    | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,38   | mg/l         | 84,3             | 0,10 | 8,43  |  |
| 6 Temperatura (24.17-26.8)               | -2,63  | °C           | 70,6             | 0,10 | 7,06  |  |
| 7 Turbidez                               | 0,74   | FAU          | 99,0             | 0,08 | 7,92  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 77,89  | mg/l         | 86,8             | 0,08 | 6,94  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 4,08   | % saturación | 3,8              | 0,17 | 0,65  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 49,73 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Tacó Arriba.    |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,33   | Unidades pH  | 73,4             | 0,12 | 8,81  |
| 3                                        | DBO5                      | 35,22  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,5    | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,17   | mg/l         | 94,1             | 0,10 | 9,41  |
| 6                                        | Temperatura (28.30-24.7)  | 3,6    | °C           | 67,6             | 0,10 | 6,76  |
| 7                                        | Turbidez                  | 6,43   | FAU          | 84,3             | 0,08 | 6,74  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 109,64 | mg/l         | 85,8             | 0,08 | 6,86  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 4,01   | % saturación | 3,6              | 0,17 | 0,61  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 50,35 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente barrio San Pedrito. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                                    |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                             | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                             | pH                        | 7,97   | Unidades pH  | 86,5             | 0,12 | 10,38 |
| 3                                             | DBO5                      | 19,26  | mg/l         | 12,5             | 0,10 | 1,25  |
| 4                                             | Nitratos                  | 0,93   | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |
| 5                                             | Fosfatos                  | 12,47  | mg/l         | 1,0              | 0,10 | 0,10  |
| 6                                             | Temperatura (27.30-23.65) | 3,65   | °C           | 67,5             | 0,10 | 6,75  |
| 7                                             | Turbidez                  | 44,8   | FAU          | 43,0             | 0,08 | 3,44  |
| 8                                             | Sólidos disueltos totales | 109,83 | mg/l         | 85,9             | 0,08 | 6,87  |
| 9                                             | Oxígeno disuelto          | 2,96   | % saturación | 3,2              | 0,17 | 0,54  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-      |                           |        |              |                  | Suma | 40,33 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Colonia las Rosas.    |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 7,89   | Unidades pH  | 86,3             | 0,12 | 10,36 |
| 3                                        | DBO5                      | 97,80  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,95   | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 16,14  | mg/l         | 1,0              | 0,10 | 0,10  |
| 6                                        | Temperatura (29.02-27.3)  | 1,72   | °C           | 85,7             | 0,10 | 8,57  |
| 7                                        | Turbidez                  | 52,55  | FAU          | 33,0             | 0,08 | 2,64  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 106,94 | mg/l         | 84,1             | 0,08 | 6,73  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 1,56   | % saturación | 2,1              | 0,17 | 0,36  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 39.94 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Guior.          |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,18   | Unidades pH  | 81,8             | 0,12 | 9,82  |  |
| 3 DBO5                                   | 20,97  | mg/l         | 11,0             | 0,10 | 1,10  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,82   | mg/l         | 97,8             | 0,10 | 9,78  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,32   | mg/l         | 84,2             | 0,10 | 8,42  |  |
| 6 Temperatura (61.40-18.40)              | 43     | °C           | 9,0              | 0,10 | 0,90  |  |
| 7 Turbidez                               | 5,86   | FAU          | 88,9             | 0,08 | 7,11  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 112,87 | mg/l         | 86,2             | 0,08 | 6,90  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,71   | % saturación | 7,7              | 0,17 | 1,31  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 46,53 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Shusho en medio.      |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,25   | Unidades pH  | 77,3             | 0,12 | 9,28  |  |
| 3 DBO5                                   | 9,48   | mg/l         | 35,5             | 0,10 | 3,55  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,69   | mg/l         | 97,6             | 0,10 | 9,76  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,5    | mg/l         | 73,5             | 0,10 | 7,35  |  |
| 6 Temperatura (26.77-22.75)              | 4,02   | °C           | 50,2             | 0,10 | 5,02  |  |
| 7 Turbidez                               | 3,82   | FAU          | 90,5             | 0,08 | 7,24  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 115,47 | mg/l         | 86,4             | 0,08 | 6,91  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,48   | % saturación | 7,4              | 0,17 | 1,26  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 51,57 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente Shusho.        |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 460   | NMP/100 ml   | 28,0             | 0,15 | 4,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,36  | Unidades pH  | 73,9             | 0,12 | 8,87  |  |
| 3 DBO5                                   | 89,13 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,69  | mg/l         | 97,3             | 0,10 | 9,73  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,65  | mg/l         | 66,3             | 0,10 | 6,63  |  |
| 6 Temperatura (27.02-24.25)              | 2,76  | °C           | 77,6             | 0,10 | 7,76  |  |
| 7 Turbidez                               | 2,75  | FAU          | 91,2             | 0,08 | 7,30  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 87,45 | mg/l         | 89,9             | 0,08 | 7,19  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 9,06  | % saturación | 8,0              | 0,17 | 1,36  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  | Suma | 53,24 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Colonia La Joya       |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,48   | Unidades pH  | 69,9             | 0,12 | 8,39  |  |
| 3 DBO5                                   | 47,37  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,82   | mg/l         | 97,8             | 0,10 | 9,78  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,89   | mg/l         | 50,9             | 0,10 | 5,09  |  |
| 6 Temperatura (26.62-26.85)              | 2,77   | °C           | 77,7             | 0,10 | 7,77  |  |
| 7 Turbidez                               | 3,69   | FAU          | 89,5             | 0,08 | 7,16  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 108,73 | mg/l         | 86,1             | 0,08 | 6,89  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 14,49  | % saturación | 10,9             | 0,17 | 1,85  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 48,33 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

## B. Segundo monitoreo

| RIO SHUTAUQUE                             |       |              |                  |      |       |  |
|-------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Cementerio San Jacinto |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                                | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                      | 43    | NMP/100 ml   | 55,0             | 0,15 | 8,25  |  |
| 2 pH                                      | 8,66  | Unidades pH  | 62,6             | 0,12 | 7,51  |  |
| 3 DBO5                                    | 42,87 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                                | 4,41  | mg/l         | 81,4             | 0,10 | 8,14  |  |
| 5 Fosfatos                                | 0,33  | mg/l         | 84,3             | 0,10 | 8,43  |  |
| 6 Temperatura (35-09-29.85)               | 5,24  | °C           | 43,2             | 0,10 | 4,32  |  |
| 7 Turbidez                                | 6,11  | FAU          | 85,1             | 0,08 | 6,81  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales               | 324   | mg/l         | 57,4             | 0,08 | 4,59  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                        | 12,18 | % saturación | 22,8             | 0,17 | 3,88  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-  |       |              |                  | Suma | 52,13 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San Jacinto.   |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,72   | Unidades pH  | 60,7             | 0,12 | 7,28  |  |
| 3 DBO5                                   | 41,07  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,66   | mg/l         | 97,6             | 0,10 | 9,76  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,36   | mg/l         | 84,6             | 0,10 | 8,46  |  |
| 6 Temperatura (35.92-30.55)              | 5,37   | °C           | 43,3             | 0,10 | 4,33  |  |
| 7 Turbidez                               | 4,2    | FAU          | 88,2             | 0,08 | 7,06  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 224    | mg/l         | 70,4             | 0,08 | 5,63  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 10,14  | % saturación | 24,5             | 0,17 | 4,17  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 48,09 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |       |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Vado Hondo.     |       |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | 460   | NMP/100 ml   | 28,0             | 0,15 | 4,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,74  | Unidades pH  | 60,7             | 0,12 | 7,28  |       |
| 3 DBO5                                   | 39,51 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,93  | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |       |
| 5 Fosfatos                               | 0,47  | mg/l         | 79,7             | 0,10 | 7,97  |       |
| 6 Temperatura (38.39-31.45)              | 6,94  | °C           | 38,9             | 0,10 | 3,89  |       |
| 7 Turbidez                               | 5,24  | FAU          | 86,2             | 0,08 | 6,90  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 272   | mg/l         | 64,2             | 0,08 | 5,14  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 11,1  | % saturación | 26,4             | 0,17 | 4,49  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  |      | Suma  | 49,85 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                                      |       |              |                  |      |       |       |
|----------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente callejón de los Morales. |       |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                                         | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                               | 460   | NMP/100 ml   | 28,0             | 0,15 | 4,20  |       |
| 2 pH                                               | 8,52  | Unidades pH  | 66,5             | 0,12 | 7,98  |       |
| 3 DBO5                                             | 41,88 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                                         | 0,77  | mg/l         | 97,7             | 0,10 | 9,77  |       |
| 5 Fosfatos                                         | 1,23  | mg/l         | 37,3             | 0,10 | 3,73  |       |
| 6 Temperatura (38.69-32.20)                        | 6,49  | °C           | 38,4             | 0,10 | 3,84  |       |
| 7 Turbidez                                         | 3,28  | FAU          | 90,2             | 0,08 | 7,22  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales                        | 472   | mg/l         | 35,2             | 0,08 | 2,82  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                                 | 13,66 | % saturación | 27,2             | 0,17 | 4,62  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-           |       |              |                  |      | Suma  | 44,38 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Torera.         |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | 9      | NMP/100 ml   | 74,0             | 0,15 | 11,10 |       |
| 2 pH                                     | 8,97   | Unidades pH  | 52,9             | 0,12 | 6,35  |       |
| 3 DBO5                                   | 44,64  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,46   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |       |
| 5 Fosfatos                               | 1,07   | mg/l         | 40,7             | 0,10 | 4,07  |       |
| 6 Temperatura (36.05-29.45)              | 6,6    | °C           | 38,6             | 0,10 | 3,86  |       |
| 7 Turbidez                               | 17,1   | FAU          | 65,1             | 0,08 | 5,21  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 115,27 | mg/l         | 69,2             | 0,08 | 5,54  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,65   | % saturación | 22,4             | 0,17 | 3,81  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 49,87 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea los Encuentros. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | 15     | NMP/100 ml   | 67,0             | 0,15 | 10,05 |
| 2                                        | pH                        | 8,85   | Unidades pH  | 56,8             | 0,12 | 6,82  |
| 3                                        | DBO5                      | 46,56  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,52   | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,12   | mg/l         | 39,2             | 0,10 | 3,92  |
| 6                                        | Temperatura (36.16-29)    | 7,16   | °C           | 30,1             | 0,10 | 3,01  |
| 7                                        | Turbidez                  | 18,75  | FAU          | 63,7             | 0,08 | 5,10  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 113,74 | mg/l         | 67,7             | 0,08 | 5,42  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 9,05   | % saturación | 22,0             | 0,17 | 3,74  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 48,00 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                                         |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente blanco sobre río San José. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                                           |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                                    | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                                    | pH                        | 8,6    | Unidades pH  | 62,6             | 0,12 | 7,51  |
| 3                                                    | DBO5                      | 36,84  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                                    | Nitratos                  | 0,7    | mg/l         | 97,7             | 0,10 | 9,77  |
| 5                                                    | Fosfatos                  | 1,17   | mg/l         | 39,7             | 0,10 | 3,97  |
| 6                                                    | Temperatura (40.13-30.15) | 9,98   | °C           | 22,9             | 0,10 | 2,29  |
| 7                                                    | Turbidez                  | 3,2    | FAU          | 90,2             | 0,08 | 7,22  |
| 8                                                    | Sólidos disueltos totales | 77,106 | mg/l         | 86,1             | 0,08 | 6,89  |
| 9                                                    | Oxígeno disuelto          | 9,01   | % saturación | 24,1             | 0,17 | 4,10  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-             |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                                      |                           |        |              |                  |      | 43,14 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San José.      |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,83   | Unidades pH  | 56,8             | 0,12 | 6,82  |
| 3                                        | DBO5                      | 57,84  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,45   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,2    | mg/l         | 37,1             | 0,10 | 3,71  |
| 6                                        | Temperatura (34.83-25.9)  | 8,93   | °C           | 25,9             | 0,10 | 2,59  |
| 7                                        | Turbidez                  | 20,15  | FAU          | 61,1             | 0,08 | 4,89  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 76,84  | mg/l         | 85,8             | 0,08 | 6,86  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 9,97   | % saturación | 17,9             | 0,17 | 3,04  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 39,05 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Granja CUNORI.        |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 1100  | NMP/100 ml   | 20,0             | 0,15 | 3,00  |  |
| 2 pH                                     | 8,3   | Unidades pH  | 74,1             | 0,12 | 8,89  |  |
| 3 DBO5                                   | 65,46 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 1,07  | mg/l         | 93,7             | 0,10 | 9,37  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,2   | mg/l         | 37,2             | 0,10 | 3,72  |  |
| 6 Temperatura (41.29-35.1)               | 6,19  | °C           | 38,1             | 0,10 | 3,81  |  |
| 7 Turbidez                               | 13,45 | FAU          | 72,4             | 0,08 | 5,79  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 75,87 | mg/l         | 84,8             | 0,08 | 6,78  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 9,97  | % saturación | 28,1             | 0,17 | 4,78  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  | Suma | 46,35 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Pozos San José.       |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 460   | NMP/100 ml   | 28,0             | 0,15 | 4,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,36  | Unidades pH  | 74,7             | 0,12 | 8,96  |  |
| 3 DBO5                                   | 64,68 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 1,03  | mg/l         | 93,3             | 0,10 | 9,33  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,27  | mg/l         | 37,7             | 0,10 | 3,77  |  |
| 6 Temperatura (39.72-34.3)               | 5,42  | °C           | 43,4             | 0,10 | 4,34  |  |
| 7 Turbidez                               | 4,65  | FAU          | 88,6             | 0,08 | 7,09  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 77,9  | mg/l         | 86,9             | 0,08 | 6,95  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 12,59 | % saturación | 27,3             | 0,17 | 4,64  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  | Suma | 49,49 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Presa Molino.         |       |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 460   | NMP/100 ml   | 28,0             | 0,15 | 4,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,67  | Unidades pH  | 62,8             | 0,12 | 7,54  |  |
| 3 DBO5                                   | 72,21 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,7   | mg/l         | 97,7             | 0,10 | 9,77  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,32  | mg/l         | 84,2             | 0,10 | 8,42  |  |
| 6 Temperatura (32.40-27.95)              | 4,45  | °C           | 55,4             | 0,10 | 5,54  |  |
| 7 Turbidez                               | 11,7  | FAU          | 76,7             | 0,08 | 6,14  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 74,61 | mg/l         | 83,6             | 0,08 | 6,69  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,9   | % saturación | 19,9             | 0,17 | 3,38  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  | Suma | 51,87 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |       |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Tacó Arriba.    |       |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | 100   | NMP/100 ml   | 20,0             | 0,15 | 3,00  |       |
| 2 pH                                     | 8,69  | Unidades pH  | 60,7             | 0,12 | 7,28  |       |
| 3 DBO5                                   | 92,61 | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,6   | mg/l         | 97,6             | 0,10 | 9,76  |       |
| 5 Fosfatos                               | 0,31  | mg/l         | 84,3             | 0,10 | 8,43  |       |
| 6 Temperatura (29.41-25.85)              | 3,56  | °C           | 86,5             | 0,10 | 8,65  |       |
| 7 Turbidez                               | 10,8  | FAU          | 78,8             | 0,08 | 6,30  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 76,85 | mg/l         | 86,8             | 0,08 | 6,94  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 8,27  | % saturación | 17,8             | 0,17 | 3,03  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |       |              |                  |      | Suma  | 53,60 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                      |        |              |                  |      |       |       |
|-----------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente barrio San Pedrito. |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                                    | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                          | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                          | 7,71   | Unidades pH  | 89,7             | 0,12 | 10,76 |       |
| 3 DBO5                                        | 19,02  | mg/l         | 13,5             | 0,10 | 1,35  |       |
| 4 Nitratos                                    | 0,58   | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |       |
| 5 Fosfatos                                    | 1,08   | mg/l         | 40,8             | 0,10 | 4,08  |       |
| 6 Temperatura (35.29-28.8)                    | 6,49   | °C           | 38,4             | 0,10 | 3,84  |       |
| 7 Turbidez                                    | 342,56 | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales                   | 79,33  | mg/l         | 89,3             | 0,08 | 7,14  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                            | 1,39   | % saturación | 20,8             | 0,17 | 3,54  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-      |        |              |                  |      | Suma  | 42,06 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Guior.          |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,51   | Unidades pH  | 66,5             | 0,12 | 7,98  |       |
| 3 DBO5                                   | 85,32  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,38   | mg/l         | 97,3             | 0,10 | 9,73  |       |
| 5 Fosfatos                               | 0,14   | mg/l         | 39,4             | 0,10 | 3,94  |       |
| 6 Temperatura (26.33-27.7)               | -1,37  | °C           | 85,3             | 0,10 | 8,53  |       |
| 7 Turbidez                               | 3,85   | FAU          | 90,8             | 0,08 | 7,26  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 80,06  | mg/l         | 89,9             | 0,08 | 7,19  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,8    | % saturación | 19,7             | 0,17 | 3,35  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 49,39 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Shusho en medio.      |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | 1100   | NMP/100 ml   | 20,0             | 0,15 | 3,00  |  |
| 2 pH                                     | 8,44   | Unidades pH  | 66,4             | 0,12 | 7,97  |  |
| 3 DBO5                                   | 87,27  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,48   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,37   | mg/l         | 84,7             | 0,10 | 8,47  |  |
| 6 Temperatura (36.15-29.8)               | 6,35   | °C           | 38,3             | 0,10 | 3,83  |  |
| 7 Turbidez                               | 3,65   | FAU          | 90,6             | 0,08 | 7,25  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 108,74 | mg/l         | 64,7             | 0,08 | 5,18  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 6,62   | % saturación | 22,8             | 0,17 | 3,88  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 49,51 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente Shusho.        |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,51   | Unidades pH  | 66,5             | 0,12 | 7,98  |  |
| 3 DBO5                                   | 85,14  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,48   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |  |
| 5 Fosfatos                               | 0,35   | mg/l         | 84,5             | 0,10 | 8,45  |  |
| 6 Temperatura (35.88-31.1)               | 4,78   | °C           | 55,7             | 0,10 | 5,57  |  |
| 7 Turbidez                               | 6      | FAU          | 85,0             | 0,08 | 6,80  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 112,97 | mg/l         | 66,9             | 0,08 | 5,35  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 6,46   | % saturación | 26,1             | 0,17 | 4,44  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 49,73 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

### C. Tercer monitoreo

| RIO SHUTAUQUE                              |        |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Cementerio San Jacinto. |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                                 | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                       | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                       | 7,72   | Unidades pH  | 86,7             | 0,12 | 10,40 |  |
| 3 DBO5                                     | 62,19  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                                 | 12,13  | mg/l         | 85,1             | 0,10 | 8,51  |  |
| 5 Fosfatos                                 | 2,55   | mg/l         | 37,5             | 0,10 | 3,75  |  |
| 6 Temperatura (31.23-26.11)                | 5,02   | °C           | 43,2             | 0,10 | 4,32  |  |
| 7 Turbidez                                 | 64,05  | FAU          | 21,0             | 0,08 | 1,68  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales                | 208    | mg/l         | 65,8             | 0,08 | 5,26  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                         | 7,55   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-   |        |              |                  | Suma | 36,60 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San Jacinto.   |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 7,9    | Unidades pH  | 86,9             | 0,12 | 10,43 |  |
| 3 DBO5                                   | 57,72  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 1,69   | mg/l         | 90,6             | 0,10 | 9,06  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,1    | mg/l         | 40,1             | 0,10 | 4,01  |  |
| 6 Temperatura (33.14-27.40)              | 5,74   | °C           | 43,7             | 0,10 | 4,37  |  |
| 7 Turbidez                               | 90     | FAU          | 20,0             | 0,08 | 1,60  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 400    | mg/l         | 47,0             | 0,08 | 3,76  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,45   | % saturación | 7,4              | 0,17 | 1,26  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 35,89 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Vado Hondo.     |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8      | Unidades pH  | 83,0             | 0,12 | 9,96  |       |
| 3 DBO5                                   | 53,79  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 1,1    | mg/l         | 90,1             | 0,10 | 9,01  |       |
| 5 Fosfatos                               | 1,35   | mg/l         | 40,3             | 0,10 | 4,03  |       |
| 6 Temperatura (33.81-29.16)              | 4,65   | °C           | 56,6             | 0,10 | 5,66  |       |
| 7 Turbidez                               | 78,1   | FAU          | 27,1             | 0,08 | 2,17  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 396    | mg/l         | 49,6             | 0,08 | 3,97  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,27   | % saturación | 7,2              | 0,17 | 1,22  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 37,42 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                                      |        |              |                  |      |       |       |
|----------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente callejón de los Morales. |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                                         | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                               | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                               | 8,18   | Unidades pH  | 81,8             | 0,12 | 9,82  |       |
| 3 DBO5                                             | 55,08  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                                         | 0,93   | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |       |
| 5 Fosfatos                                         | 0,89   | mg/l         | 45,9             | 0,10 | 4,59  |       |
| 6 Temperatura (34.61-32.50)                        | 2,11   | °C           | 80,1             | 0,10 | 8,01  |       |
| 7 Turbidez                                         | 57,25  | FAU          | 35,2             | 0,08 | 2,82  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales                        | 302,8  | mg/l         | 59,8             | 0,08 | 4,78  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                                 | 7,1    | % saturación | 7,1              | 0,17 | 1,21  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-           |        |              |                  |      | Suma  | 42,41 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea La Torera.      |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,49   | Unidades pH  | 68,4             | 0,12 | 8,21  |       |
| 3 DBO5                                   | 85,17  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 1,68   | mg/l         | 90,6             | 0,10 | 9,06  |       |
| 5 Fosfatos                               | 2,24   | mg/l         | 37,2             | 0,10 | 3,72  |       |
| 6 Temperatura (37.14-27.2)               | 9,94   | °C           | 23,9             | 0,10 | 2,39  |       |
| 7 Turbidez                               | 90,4   | FAU          | 90,4             | 0,08 | 7,23  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 77,9   | mg/l         | 88,3             | 0,08 | 7,06  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,58   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 40,35 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Los Encuentros. |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,24   | Unidades pH  | 75,4             | 0,12 | 9,05  |  |
| 3 DBO5                                   | 84,81  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 2,16   | mg/l         | 85,1             | 0,10 | 8,51  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,28   | mg/l         | 40,2             | 0,10 | 4,02  |  |
| 6 Temperatura (30.17-26.01)              | 4,16   | °C           | 56,1             | 0,10 | 5,61  |  |
| 7 Turbidez                               | 179,5  | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 113,76 | mg/l         | 85,7             | 0,08 | 6,86  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,63   | % saturación | 7,6              | 0,17 | 1,29  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 37,14 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                                         |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente blanco sobre río San José. |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                                 | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                                 | 8,08   | Unidades pH  | 83,0             | 0,12 | 9,96  |  |
| 3 DBO5                                               | 67,32  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                                           | 1,23   | mg/l         | 90,2             | 0,10 | 9,02  |  |
| 5 Fosfatos                                           | 0,89   | mg/l         | 45,9             | 0,10 | 4,59  |  |
| 6 Temperatura (34.55-33)                             | 1,55   | °C           | 87,9             | 0,10 | 8,79  |  |
| 7 Turbidez                                           | 120    | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales                          | 109    | mg/l         | 83,8             | 0,08 | 6,70  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                                   | 5,92   | % saturación | 4,9              | 0,17 | 0,83  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-             |        |              |                  | Suma | 41,70 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San José.      |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,16   | Unidades pH  | 81,6             | 0,12 | 9,79  |  |
| 3 DBO5                                   | 90,03  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                               | 3,1    | mg/l         | 80,1             | 0,10 | 8,01  |  |
| 5 Fosfatos                               | 3,95   | mg/l         | 18,5             | 0,10 | 1,85  |  |
| 6 Temperatura (29.01-26.65)              | 2,36   | °C           | 80,3             | 0,10 | 8,03  |  |
| 7 Turbidez                               | 486    | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 109,69 | mg/l         | 83,6             | 0,08 | 6,69  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,24   | % saturación | 7,2              | 0,17 | 1,22  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 37,39 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Granja CUNORI.        |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,01   | Unidades pH  | 83,0             | 0,12 | 9,96  |
| 3                                        | DBO5                      | 78,48  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,1    | mg/l         | 90,1             | 0,10 | 9,01  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,09   | mg/l         | 40,1             | 0,10 | 4,01  |
| 6                                        | Temperatura (37.08-37.80) | 3,28   | °C           | 69,2             | 0,10 | 6,92  |
| 7                                        | Turbidez                  | 57,5   | FAU          | 35,5             | 0,08 | 2,84  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 108,74 | mg/l         | 83,1             | 0,08 | 6,65  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 4,66   | % saturación | 3,6              | 0,17 | 0,61  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 41,40 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Pozos San José.       |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,25   | Unidades pH  | 75,5             | 0,12 | 9,06  |
| 3                                        | DBO5                      | 88,98  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,37   | mg/l         | 90,3             | 0,10 | 9,03  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 2,2    | mg/l         | 37,2             | 0,10 | 3,72  |
| 6                                        | Temperatura (29.80-27.15) | 2,65   | °C           | 80,6             | 0,10 | 8,06  |
| 7                                        | Turbidez                  | 201,5  | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 115,53 | mg/l         | 82,5             | 0,08 | 6,60  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 6,85   | % saturación | 5,8              | 0,17 | 0,99  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 39,26 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Presa Molino.         |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,58   | Unidades pH  | 62,8             | 0,12 | 7,54  |
| 3                                        | DBO5                      | 46,89  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,65   | mg/l         | 97,6             | 0,10 | 9,76  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,75   | mg/l         | 51,5             | 0,10 | 5,15  |
| 6                                        | Temperatura (25.20-23.20) | 2      | °C           | 80,1             | 0,10 | 8,01  |
| 7                                        | Turbidez                  | 33     | FAU          | 51,0             | 0,08 | 4,08  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 112,75 | mg/l         | 82,7             | 0,08 | 6,62  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 8,06   | % saturación | 8,0              | 0,17 | 1,36  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 43,91 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Tacó Arriba.    |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,6    | Unidades pH  | 60,6             | 0,12 | 7,27  |
| 3                                        | DBO5                      | 38,55  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,55   | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,74   | mg/l         | 51,4             | 0,10 | 5,14  |
| 6                                        | Temperatura (28.66-25.75) | 2,91   | °C           | 80,9             | 0,10 | 8,09  |
| 7                                        | Turbidez                  | 23,5   | FAU          | 58,5             | 0,08 | 4,68  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 117,04 | mg/l         | 81,4             | 0,08 | 6,51  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 8,06   | % saturación | 8,0              | 0,17 | 1,36  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 44,20 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente barrio San Pedrito. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                                    |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                             | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                             | pH                        | 8      | Unidades pH  | 83,0             | 0,12 | 9,96  |
| 3                                             | DBO5                      | 26,04  | mg/l         | 6,0              | 0,10 | 0,60  |
| 4                                             | Nitratos                  | 0,51   | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |
| 5                                             | Fosfatos                  | 0,49   | mg/l         | 70,9             | 0,10 | 7,09  |
| 6                                             | Temperatura (30.18-26.2)  | 3,98   | °C           | 69,9             | 0,10 | 6,99  |
| 7                                             | Turbidez                  | 22     | FAU          | 60,0             | 0,08 | 4,80  |
| 8                                             | Sólidos disueltos totales | 75,87  | mg/l         | 86,8             | 0,08 | 6,94  |
| 9                                             | Oxígeno disuelto          | 8,11   | % saturación | 8,1              | 0,17 | 1,38  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-      |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                               |                           |        |              |                  |      | 48,71 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Colonia las Rosas.    |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,1    | Unidades pH  | 81,0             | 0,12 | 9,72  |
| 3                                        | DBO5                      | 54,09  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,27   | mg/l         | 90,2             | 0,10 | 9,02  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,28   | mg/l         | 84,8             | 0,10 | 8,48  |
| 6                                        | Temperatura (31.58-33.95) | -2,37  | °C           | 81,3             | 0,10 | 8,13  |
| 7                                        | Turbidez                  | 15,5   | FAU          | 70,5             | 0,08 | 5,64  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 79,37  | mg/l         | 89,3             | 0,08 | 7,14  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 5,1    | % saturación | 4,9              | 0,17 | 0,83  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 50,37 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Guior.          |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,58   | Unidades pH  | 62,8             | 0,12 | 7,54  |       |
| 3 DBO5                                   | 34,74  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,61   | mg/l         | 97,6             | 0,10 | 9,76  |       |
| 5 Fosfatos                               | 0,32   | mg/l         | 76,2             | 0,10 | 7,62  |       |
| 6 Temperatura (17.82-22.45)              | -4,63  | °C           | 62,6             | 0,10 | 6,26  |       |
| 7 Turbidez                               | 5,5    | FAU          | 87,5             | 0,08 | 7,00  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 77,09  | mg/l         | 88,1             | 0,08 | 7,05  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,94   | % saturación | 7,9              | 0,17 | 1,34  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 47,97 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Shusho en medio.      |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,69   | Unidades pH  | 60,9             | 0,12 | 7,31  |       |
| 3 DBO5                                   | 37,8   | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,55   | mg/l         | 97,5             | 0,10 | 9,75  |       |
| 5 Fosfatos                               | 61     | mg/l         | 59,1             | 0,10 | 5,91  |       |
| 6 Temperatura (34.45-31.5)               | 2,95   | °C           | 80,9             | 0,10 | 8,09  |       |
| 7 Turbidez                               | 4      | FAU          | 90,0             | 0,08 | 7,20  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 78,15  | mg/l         | 88,5             | 0,08 | 7,08  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 6,82   | % saturación | 5,8              | 0,17 | 0,99  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 47,72 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |        |              |                  |      |       |       |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente Shusho.        |        |              |                  |      |       |       |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |       |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |       |
| 2 pH                                     | 8,65   | Unidades pH  | 60,5             | 0,12 | 7,26  |       |
| 3 DBO5                                   | 36,15  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |       |
| 4 Nitratos                               | 0,42   | mg/l         | 97,4             | 0,10 | 9,74  |       |
| 5 Fosfatos                               | 0,57   | mg/l         | 65,7             | 0,10 | 6,57  |       |
| 6 Temperatura (34.99-31.45)              | 3,54   | °C           | 69,5             | 0,10 | 6,95  |       |
| 7 Turbidez                               | 3      | FAU          | 92,0             | 0,08 | 7,36  |       |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 74,61  | mg/l         | 85,6             | 0,08 | 6,85  |       |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 6,99   | % saturación | 5,9              | 0,17 | 1,00  |       |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  |      | Suma  | 47,13 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

#### D. Cuarto monitoreo

| RIO SHUTAUQUE                              |        |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Cementerio San Jacinto. |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                                 | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                       | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                       | 7,8    | Unidades pH  | 89,8             | 0,12 | 10,78 |  |
| 3 DBO5                                     | 32,94  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |  |
| 4 Nitratos                                 | 1,03   | mg/l         | 93,0             | 0,10 | 9,30  |  |
| 5 Fosfatos                                 | 1,94   | mg/l         | 29,9             | 0,10 | 2,99  |  |
| 6 Temperatura                              | 6,52   | °C           | 37,5             | 0,10 | 3,75  |  |
| 7 Turbidez                                 | 90,9   | FAU          | 21,9             | 0,08 | 1,75  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales                | 216    | mg/l         | 70,0             | 0,08 | 5,60  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                         | 7,52   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-   |        |              |                  | Suma | 36,84 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San Jacinto.   |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 7,99   | Unidades pH  | 87,9             | 0,12 | 10,55 |  |
| 3 DBO5                                   | 25,17  | mg/l         | 7,0              | 0,10 | 0,70  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,93   | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,52   | mg/l         | 34,2             | 0,10 | 3,42  |  |
| 6 Temperatura                            | 3,06   | °C           | 67,0             | 0,10 | 6,70  |  |
| 7 Turbidez                               | 63,15  | FAU          | 31,1             | 0,08 | 2,49  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 88,8   | mg/l         | 32,0             | 0,08 | 2,56  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,56   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 38,68 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                            |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Vado Hondo.     |        |              |                  |      |       |  |
| PARAMETROS                               | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |  |
| 1 Coliformes Fecales                     | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |  |
| 2 pH                                     | 8,08   | Unidades pH  | 84,0             | 0,12 | 10,08 |  |
| 3 DBO5                                   | 24,75  | mg/l         | 7,5              | 0,10 | 0,75  |  |
| 4 Nitratos                               | 0,97   | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |  |
| 5 Fosfatos                               | 1,51   | mg/l         | 34,0             | 0,10 | 3,40  |  |
| 6 Temperatura                            | 3,98   | °C           | 67,9             | 0,10 | 6,79  |  |
| 7 Turbidez                               | 84,65  | FAU          | 23,6             | 0,08 | 1,89  |  |
| 8 Sólidos disueltos totales              | 876    | mg/l         | 32,0             | 0,08 | 2,56  |  |
| 9 Oxígeno disuelto                       | 7,71   | % saturación | 7,7              | 0,17 | 1,31  |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |        |              |                  | Suma | 37,77 |  |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUTAUQUE                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente callejón de los Morales. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                                         |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                                  | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                                  | pH                        | 8      | Unidades pH  | 84,0             | 0,12 | 10,08 |
| 3                                                  | DBO5                      | 19,26  | mg/l         | 13,0             | 0,10 | 1,30  |
| 4                                                  | Nitratos                  | 1,72   | mg/l         | 93,7             | 0,10 | 9,37  |
| 5                                                  | Fosfatos                  | 1,32   | mg/l         | 37,2             | 0,10 | 3,72  |
| 6                                                  | Temperatura               | 5,71   | °C           | 43,7             | 0,10 | 4,37  |
| 7                                                  | Turbidez                  | 106,5  | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                                  | Sólidos disueltos totales | 232    | mg/l         | 69,0             | 0,08 | 5,52  |
| 9                                                  | Oxígeno disuelto          | 7,88   | % saturación | 7,8              | 0,17 | 1,33  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-           |                           |        |              |                  | Suma | 37,29 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea La Torera.      |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,11   | Unidades pH  | 81,1             | 0,12 | 9,73  |
| 3                                        | DBO5                      | 29,82  | mg/l         | 4,0              | 0,10 | 0,40  |
| 4                                        | Nitratos                  | 2,12   | mg/l         | 90,1             | 0,10 | 9,01  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,01   | mg/l         | 40,1             | 0,10 | 4,01  |
| 6                                        | Temperatura               | 5,94   | °C           | 43,9             | 0,10 | 4,39  |
| 7                                        | Turbidez                  | 66     | FAU          | 31,1             | 0,08 | 2,49  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 240    | mg/l         | 85,8             | 0,08 | 6,86  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,65   | % saturación | 7,6              | 0,17 | 1,29  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 39,39 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Los Encuentros. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,13   | Unidades pH  | 81,3             | 0,12 | 9,76  |
| 3                                        | DBO5                      | 19,53  | mg/l         | 12,0             | 0,10 | 1,20  |
| 4                                        | Nitratos                  | 2,7    | mg/l         | 90,7             | 0,10 | 9,07  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,58   | mg/l         | 34,8             | 0,10 | 3,48  |
| 6                                        | Temperatura               | 5,25   | °C           | 45,2             | 0,10 | 4,52  |
| 7                                        | Turbidez                  | 67,5   | FAU          | 30,5             | 0,08 | 2,44  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 908    | mg/l         | 84,1             | 0,08 | 6,73  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,59   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 39,67 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                                         |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente blanco sobre río San José. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                                           |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                                    | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                                    | pH                        | 8,04   | Unidades pH  | 84,0             | 0,12 | 10,08 |
| 3                                                    | DBO5                      | 26,04  | mg/l         | 6,5              | 0,10 | 0,65  |
| 4                                                    | Nitratos                  | 2,66   | mg/l         | 90,6             | 0,10 | 9,06  |
| 5                                                    | Fosfatos                  | 2,9    | mg/l         | 21,8             | 0,10 | 2,18  |
| 6                                                    | Temperatura               | 3,43   | °C           | 67,4             | 0,10 | 6,74  |
| 7                                                    | Turbidez                  | 61     | FAU          | 33,0             | 0,08 | 2,64  |
| 8                                                    | Sólidos disueltos totales | 364    | mg/l         | 86,8             | 0,08 | 6,94  |
| 9                                                    | Oxígeno disuelto          | 6,83   | % saturación | 5,8              | 0,17 | 0,99  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-             |                           |        |              |                  | Suma | 40,48 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente San José.      |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,15   | Unidades pH  | 81,5             | 0,12 | 9,78  |
| 3                                        | DBO5                      | 23,7   | mg/l         | 8,0              | 0,10 | 0,80  |
| 4                                        | Nitratos                  | 2,69   | mg/l         | 90,6             | 0,10 | 9,06  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,95   | mg/l         | 29,5             | 0,10 | 2,95  |
| 6                                        | Temperatura               | 5,06   | °C           | 43,0             | 0,10 | 4,30  |
| 7                                        | Turbidez                  | 71     | FAU          | 29,0             | 0,08 | 2,32  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 36,4   | mg/l         | 84,6             | 0,08 | 6,77  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,5    | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 38,45 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Granja CUNORI.        |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,04   | Unidades pH  | 84,0             | 0,12 | 10,08 |
| 3                                        | DBO5                      | 25,83  | mg/l         | 7,0              | 0,10 | 0,70  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,51   | mg/l         | 93,5             | 0,10 | 9,35  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 2,05   | mg/l         | 25,5             | 0,10 | 2,55  |
| 6                                        | Temperatura               | 8,3    | °C           | 26,3             | 0,10 | 2,63  |
| 7                                        | Turbidez                  | 103    | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 336    | mg/l         | 86,8             | 0,08 | 6,94  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,76   | % saturación | 7,7              | 0,17 | 1,31  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 35,16 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SAN JOSE                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Pozos San José.       |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,12   | Unidades pH  | 81,2             | 0,12 | 9,74  |
| 3                                        | DBO5                      | 22,65  | mg/l         | 9,5              | 0,10 | 0,95  |
| 4                                        | Nitratos                  | 2,05   | mg/l         | 90,0             | 0,10 | 9,00  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,41   | mg/l         | 33,1             | 0,10 | 3,31  |
| 6                                        | Temperatura               | 4,51   | °C           | 56,5             | 0,10 | 5,65  |
| 7                                        | Turbidez                  | 67     | FAU          | 30,1             | 0,08 | 2,41  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 292    | mg/l         | 85,8             | 0,08 | 6,86  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,18   | % saturación | 7,1              | 0,17 | 1,21  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 40,33 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Presa Molino.         |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,71   | Unidades pH  | 58,7             | 0,12 | 7,04  |
| 3                                        | DBO5                      | 19,83  | mg/l         | 12,5             | 0,10 | 1,25  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,48   | mg/l         | 93,4             | 0,10 | 9,34  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 3,77   | mg/l         | 29,7             | 0,10 | 2,97  |
| 6                                        | Temperatura               | 5,19   | °C           | 43,1             | 0,10 | 4,31  |
| 7                                        | Turbidez                  | 373    | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 628    | mg/l         | 80,9             | 0,08 | 6,47  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,53   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 34,26 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Tacó Arriba.    |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,71   | Unidades pH  | 58,7             | 0,12 | 7,04  |
| 3                                        | DBO5                      | 22,41  | mg/l         | 10,0             | 0,10 | 1,00  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,31   | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 2,5    | mg/l         | 24,9             | 0,10 | 2,49  |
| 6                                        | Temperatura               | 5,62   | °C           | 43,6             | 0,10 | 4,36  |
| 7                                        | Turbidez                  | 301,5  | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 1244   | mg/l         | 79,9             | 0,08 | 6,39  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,53   | % saturación | 7,5              | 0,17 | 1,28  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 33,95 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente Barrio San Pedrito. |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                                    |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                             | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                             | pH                        | 8,18   | Unidades pH  | 81,8             | 0,12 | 9,82  |
| 3                                             | DBO5                      | 61,08  | mg/l         | 2,0              | 0,10 | 0,20  |
| 4                                             | Nitratos                  | 1,2    | mg/l         | 93,2             | 0,10 | 9,32  |
| 5                                             | Fosfatos                  | 2,72   | mg/l         | 22,2             | 0,10 | 2,22  |
| 6                                             | Temperatura               | 4,13   | °C           | 56,1             | 0,10 | 5,61  |
| 7                                             | Turbidez                  | 400,5  | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                             | Sólidos disueltos totales | 780    | mg/l         | 80,1             | 0,08 | 6,41  |
| 9                                             | Oxígeno disuelto          | 5,15   | % saturación | 4,1              | 0,17 | 0,70  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-      |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                               |                           |        |              |                  |      | 35,87 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO TACÓ                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Colonia las Rosas.    |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,05   | Unidades pH  | 84,0             | 0,12 | 10,08 |
| 3                                        | DBO5                      | 2,25   | mg/l         | 78,0             | 0,10 | 7,80  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,1    | mg/l         | 93,0             | 0,10 | 9,30  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 6,03   | mg/l         | 10,3             | 0,10 | 1,03  |
| 6                                        | Temperatura               | 6,25   | °C           | 37,2             | 0,10 | 3,72  |
| 7                                        | Turbidez                  | 282    | FAU          | 5,0              | 0,08 | 0,40  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 1492   | mg/l         | 81,8             | 0,08 | 6,54  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 469    | % saturación | 3,7              | 0,17 | 0,63  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 40,70 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Aldea Guior.          |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,65   | Unidades pH  | 61,5             | 0,12 | 7,38  |
| 3                                        | DBO5                      | 18,54  | mg/l         | 14,0             | 0,10 | 1,40  |
| 4                                        | Nitratos                  | 5,67   | mg/l         | 78,6             | 0,10 | 7,86  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,52   | mg/l         | 68,2             | 0,10 | 6,82  |
| 6                                        | Temperatura               | 3,39   | °C           | 67,3             | 0,10 | 6,73  |
| 7                                        | Turbidez                  | 11     | FAU          | 75,0             | 0,08 | 6,00  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 196    | mg/l         | 85,9             | 0,08 | 6,87  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,93   | % saturación | 7,9              | 0,17 | 1,34  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  |      | Suma  |
|                                          |                           |        |              |                  |      | 45,61 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Shusho en medio.      |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,61   | Unidades pH  | 61,1             | 0,12 | 7,33  |
| 3                                        | DBO5                      | 25,59  | mg/l         | 6,5              | 0,10 | 0,65  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,14   | mg/l         | 93,2             | 0,10 | 9,32  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,95   | mg/l         | 46,5             | 0,10 | 4,65  |
| 6                                        | Temperatura               | 9,75   | °C           | 23,7             | 0,10 | 2,37  |
| 7                                        | Turbidez                  | 50     | FAU          | 39,0             | 0,08 | 3,12  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 968    | mg/l         | 81,6             | 0,08 | 6,53  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,88   | % saturación | 7,8              | 0,17 | 1,33  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 36,50 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Puente Shusho.        |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,59   | Unidades pH  | 65,9             | 0,12 | 7,91  |
| 3                                        | DBO5                      | 18,96  | mg/l         | 13,5             | 0,10 | 1,35  |
| 4                                        | Nitratos                  | 1,06   | mg/l         | 93,0             | 0,10 | 9,30  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 1,11   | mg/l         | 40,0             | 0,10 | 4,00  |
| 6                                        | Temperatura               | 4,86   | °C           | 56,8             | 0,10 | 5,68  |
| 7                                        | Turbidez                  | 53     | FAU          | 36,0             | 0,08 | 2,88  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 180    | mg/l         | 80,1             | 0,08 | 6,41  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,9    | % saturación | 7,9              | 0,17 | 1,34  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 40,07 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

| RIO SHUSHO                               |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Colonia La Joya.      |                           |        |              |                  |      |       |
| PARAMETROS                               |                           | VALOR  | UNIDADES     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | TOTAL |
| 1                                        | Coliformes Fecales        | ≥ 2400 | NMP/100 ml   | 8,0              | 0,15 | 1,20  |
| 2                                        | pH                        | 8,53   | Unidades pH  | 65,3             | 0,12 | 7,84  |
| 3                                        | DBO5                      | 25,11  | mg/l         | 7,0              | 0,10 | 0,70  |
| 4                                        | Nitratos                  | 0,6    | mg/l         | 97,9             | 0,10 | 9,79  |
| 5                                        | Fosfatos                  | 0,54   | mg/l         | 68,3             | 0,10 | 6,83  |
| 6                                        | Temperatura               | 4,87   | °C           | 56,8             | 0,10 | 5,68  |
| 7                                        | Turbidez                  | 11,5   | FAU          | 75,5             | 0,08 | 6,04  |
| 8                                        | Sólidos disueltos totales | 300    | mg/l         | 80,9             | 0,08 | 6,47  |
| 9                                        | Oxígeno disuelto          | 7,92   | % saturación | 7,9              | 0,17 | 1,34  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA- |                           |        |              |                  | Suma | 45,89 |

Fuente: elaboración propia, 2015.

## E. Resumen

| PNO.          | Nombre                           | Índice de Calidad de Agua |                   |                  |                  |              |                  |
|---------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|------------------|
|               |                                  | Primer monitoreo          | Segundo monitoreo | Tercer monitoreo | Cuarto monitoreo | Promedio ICA | Calidad del agua |
| RIO SHUTAUQUE |                                  |                           |                   |                  |                  |              |                  |
| P1            | Cementerio San Jacinto           | 53.68                     | 52.13             | 36.60            | 36.84            | 44.813       | MALA             |
| P2            | Puente San Jacinto               | 52.59                     | 48.09             | 35.89            | 38.68            | 43.813       | MALA             |
| P3            | Aldea Vado Hondo                 | 49.18                     | 49.85             | 37.42            | 37.77            | 43.555       | MALA             |
| P4            | Puente Callejón de los Morales   | 56.51                     | 44.38             | 42.41            | 37.29            | 45.148       | MALA             |
| RIO SAN JOSE  |                                  |                           |                   |                  |                  |              |                  |
| P5            | Aldea La Torera                  | 44.94                     | 49.87             | 40.35            | 39.39            | 43.638       | MALA             |
| P6            | Aldea Los Encuentros             | 41.61                     | 48.00             | 37.14            | 39.67            | 41.605       | MALA             |
| P7            | Puente blanco sobre río San José | 47.22                     | 43.14             | 41.70            | 40.48            | 43.135       | MALA             |
| P8            | Puente San José                  | 41.67                     | 39.05             | 37.39            | 38.45            | 39.140       | MALA             |
| P9            | Granja CUNORI                    | 47.82                     | 46.35             | 41.40            | 35.16            | 42.683       | MALA             |
| P10           | Pozos San Jose                   | 51.04                     | 49.49             | 39.26            | 40.33            | 45.030       | MALA             |
| RIO TACO      |                                  |                           |                   |                  |                  |              |                  |
| P11           | Presa Molino                     | 49.73                     | 51.87             | 43.91            | 34.26            | 44.943       | MALA             |
| P12           | Aldea Tacó Arriba                | 50.35                     | 53.60             | 44.20            | 33.95            | 45.525       | MALA             |
| P13           | Puente barrio San Pedrito        | 40.33                     | 42.06             | 48.71            | 35.87            | 41.743       | MALA             |
| P14           | Colonia Las Rosas                | 39.94                     | ----              | 50.37            | 40.7             | 43.670       | MALA             |
| RIO SHUSHO    |                                  |                           |                   |                  |                  |              |                  |
| P15           | Aldea Guior                      | 46.53                     | 49.39             | 47.97            | 45.61            | 47.375       | MALA             |
| P16           | Shusho en medio                  | 51.57                     | 49.51             | 47.72            | 36.5             | 46.325       | MALA             |
| P17           | Puente Shusho                    | 53.24                     | 49.73             | 47.13            | 40.07            | 47.543       | MALA             |
| P18           | Colonia La joya                  | 48.33                     | ----              | ----             | 45.89            | 47.110       | MALA             |

Fuente: elaboración propia, 2015.