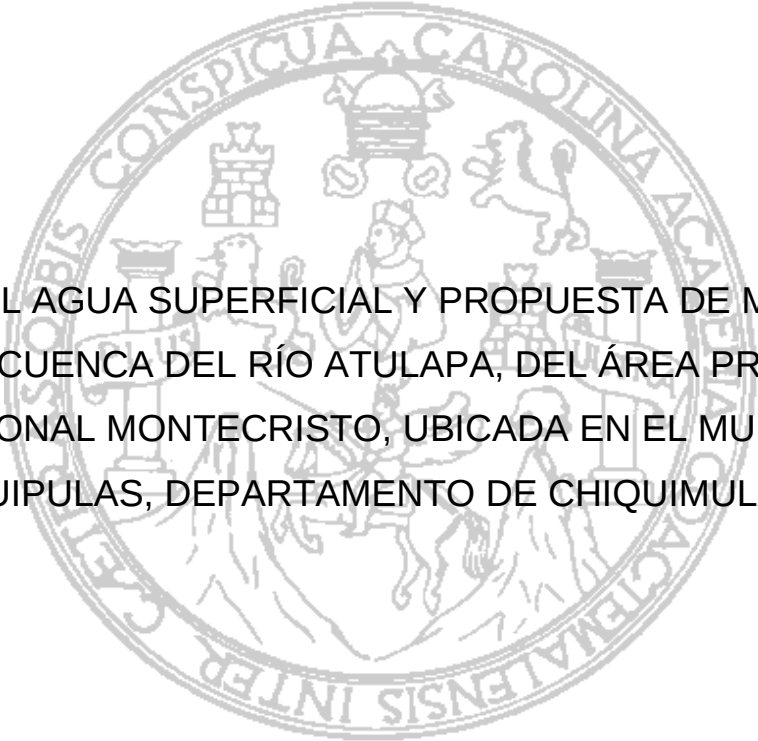


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y PROPUESTA DE MANEJO EN LA  
MICROCUCENCA DEL RÍO ATULAPA, DEL ÁREA PROTEGIDA  
TRINACIONAL MONTECRISTO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2014.

MELVIN RENÉ GUEVARA PAZ

GUATEMALA, CHIQUIMULA, NOVIEMBRE DEL 2015

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

CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y PROPUESTA DE MANEJO EN LA  
MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA, DEL ÁREA PROTEGIDA  
TRINACIONAL MONTECRISTO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2014.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

MELVIN RENÉ GUEVARA PAZ

Al conferírsele el título de

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2015

**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: | Br. Carla Marisol Peralta Lemus          |
| Representante de Estudiantes: | PAE. Alberto José España Pinto           |
| Secretaria:                   | Licda. Marjorie Azucena González Cardona |

**AUTORIDADES ACADÉMICAS**

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

**ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

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

**TERNA EVALUADORA**

Ing. Agro. Edgar Gerónimo Lemus Sagastume  
MSc. Fredy Samuel Coronado López  
Licda. Zoot. Vilma Leticia Ramos López

Chiquimula, Noviembre de 2015.

Señores:  
Consejo Directivo  
Centro Universitario de Oriente  
Ciudad de Chiquimula

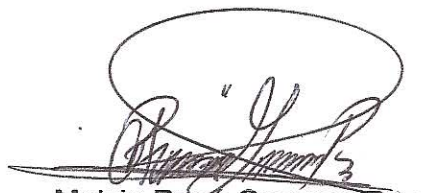
Honorables Miembros:

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: **"CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y PROPUESTA DE MANEJO EN LA MICROCUENCA DEL RIO ATULAPA, DEL AREA PROTEGIDA TRINACIONAL MONTECRISTO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2014"**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de licenciado.

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

Atentamente,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Melvin René Guevara Paz



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL LOCAL



REF- JRGA-GAL-07-2015  
Chiquimula, noviembre de 2015.

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

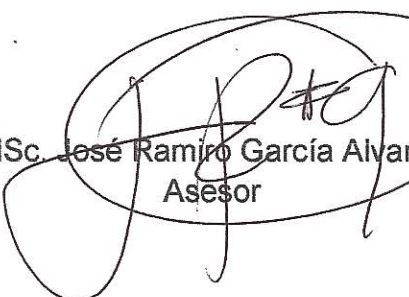
Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar al estudiante **Melvin René Guevara Paz** en el trabajo de investigación denominado **"CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y PROPUESTA DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DEL RIO ATULAPA, DEL AREA PROTEGIDA TRINACIONAL MONTECRISTO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2014"**, 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 Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
MSc. José Ramiro García Álvarez  
Asesor



cc. Archivo

**D-TG-IGAL-116/2015**

**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 el estudiante **MELVIN RENÉ GUEVARA PAZ** titulado “**CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y PROPUESTA DE MANEJO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA, DEL ÁREA PROTEGIDA TRINACIONAL MONTECRISTO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniería en 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, previo a obtener el título de **INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL** en el grado académico de **LICENCIADO**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a dieciocho de noviembre de dos mil quince.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



**MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera**  
**DIRECTOR**  
**CUNORI - USAC**



## **ACTO QUE DEDICO**

### **A Dios:**

Por darme la oportunidad de disfrutar de todas sus bendiciones y ser la fuerza que me impulsa a superarme día con día, para así crecer en todas las áreas de mi vida y permitirme alcanzar un triunfo más en mi vida profesional.

### **A mis padres:**

Oscar Humberto Guevara Auxúme y Sonia Dalila Paz Quintana, por el esfuerzo económico y moral que han hecho para brindarme una educación profesional, por su amor y dedicación para transmitirme sus principios, valores, respeto a la vida y el amor de Dios, por enseñarme la actitud y el carácter para afrontar la vida con perseverancia y empeño; por el ejemplo de persona que han transmitido hacia mí y su apoyo incondicional, Dios los bendiga.

### **A mis hermanos:**

Oscar Augusto Guevara Paz y Ricardo José Guevara Paz, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado en todo momento, por la fortaleza y los consejos, por acompañarme en los buenos y los malos momentos.

### **A mis abuelos:**

Ricardo Guevara (Q.E.P.D.), Reyna Auxúme (Q.E.P.D.), Augusto Paz (Q.E.P.D.), María Quintana, por su ejemplo de personas triunfadoras en la vida, amor, apoyo y consejos, brindados hacia mi persona durante mi formación, abuelitos Dios los bendiga.

### **A mis tíos:**

René Oliverio Guevara Auxúme, Nury Elías de Guevara (Q.E.P.D), Luís Salvador Guevara Auxúme, Dora Sagastume de Guevara, María Dalila Guevara Auxúme, Edgar Pazos Pazos (Q.E.P.D), José Emerio Guevara Auxúme, Sonia Lemus de Guevara, Hugo Ricardo Guevara Auxúme (Q.E.P.D.), Héctor Antonio Paz

Quintana, Melvin Augusto Paz Quintana, Alba Lorena Paz Quintana, Nidia Carolina Paz Quintana. Por el apoyo económico, moral y espiritual, en el transcurso de mi desempeño profesional.

**A mis cuñadas y sobrinos:**

Licda. Brenda María Sandoval de Guevara, Rosselyn Argueta, Boris Oscar Alejandro Guevara Sandoval y Amira Lucía Guevara Sandoval, por todo su apoyo y cariño brindado a mi persona, Dios les bendiga.

**A mis primos en general:**

Por el cariño y apoyo brindado hacia mi persona durante todos los días, por los momentos gratos que pasamos en familia.

**A CUNORI:**

Por ser el centro de estudio y formación profesional, que me ha brindado la oportunidad de ser una mejor persona.

**A mis catedráticos:**

Por transmitirme sus conocimientos y construir un profesional capaz de poder desempeñar eficientemente cualquier proyecto productivo y de desarrollo para mi país.

**A mis compañeros:**

Por su amistad y apoyo brindado durante estos años de formación profesional, por cada vivencia compartida y por qué de una u otra manera me han impulsado a seguir adelante en mis estudios.

## **AGRADECIMIENTOS ESPECIALES**

- Al Centro Universitario de Oriente – CUNORI- Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.** Por haberme brindado las herramientas necesarias para mi formación profesional.
- A Plan Trifinio** Por darme la oportunidad de realizar mi práctica ambiental II y Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-.
- A MIS CATEDRÁTICOS:** Por desempeñar tan importante papel en la formación como profesional y persona, fomentando el aprendizaje a través de la práctica.
- A MI ASESOR:** MSc. José Ramiro García Álvarez, por la asesoría, esfuerzo y dedicación brindada en esta investigación; por inculcar el valor de responsabilidad y rigor académico, sin los cuales no se hubiera realizado el presente trabajo.
- A MIS EVALUADORES:** Ing. Agro. Edgar Gerónimo Lemus Sagastume, MSc. Fredy Samuel Coronado López y Licda. Zoot. Vilma Leticia Ramos López, por la orientación brindada durante el desarrollo del proceso de la investigación.
- A mis tíos:** Emerio Guevara y Dalila Guevara, por su apoyo brindado a mi persona durante estos años de universidad, en los cuales pude lograr una meta más en mi vida.
- A mis compañeros de trabajo:** Por brindarme su apoyo y tiempo para terminar esta investigación.

**A Ing. Milton Solís, Licda. Vilma Ramos,  
Ing. Ramiro y Claudia Gómez:**

Por acompañarme y brindarme todo su apoyo en la fase de campo de esta investigación. Dios les bendiga.

**A TODOS Y TODAS:**

Quienes de una u otra forma colaboraron en la realización de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

| Contenido                                                                                       | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ÍNDICE GENERAL                                                                                  | i      |
| ÍNDICE DE CUADROS                                                                               | iii    |
| ÍNDICE DE GRÁFICAS                                                                              | v      |
| ÍNDICE DE FIGURAS                                                                               | vii    |
| RESUMEN                                                                                         | viii   |
| INTRODUCCIÓN                                                                                    | 1      |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                                                   | 4      |
| 3. JUSTIFICACIÓN                                                                                | 6      |
| 4. OBJETIVO                                                                                     | 8      |
| 4.1. Objetivo general                                                                           | 8      |
| 4.2. Objetivos específicos                                                                      | 8      |
| 5. MARCO TEÓRICO                                                                                | 9      |
| 5.1. Cuencas hidrográficas                                                                      | 9      |
| 5.2. Microcuenca hidrográfica                                                                   | 9      |
| 5.3. Calidad del agua                                                                           | 9      |
| 5.4. Índice de Calidad del Agua –ICA-                                                           | 10     |
| 5.5. Características del agua                                                                   | 15     |
| 5.5.1. Características físicas                                                                  | 15     |
| 5.5.2. Características químicas                                                                 | 16     |
| 5.5.3. Características microbiológicas                                                          | 20     |
| 5.6. Calidad del agua superficial                                                               | 21     |
| 5.7. Clasificación de la calidad del agua                                                       | 21     |
| 5.8. Muestreo de fuentes de agua                                                                | 21     |
| 5.9. Monitoreos                                                                                 | 23     |
| 5.9.1. Monitoreos de aguas superficiales                                                        | 23     |
| 6. MARCO REFERENCIAL                                                                            | 24     |
| 6.1. Ubicación del área de estudio                                                              | 24     |
| 6.2. Microcuenca río Atulapa                                                                    | 25     |
| 6.3. Red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa                                  | 26     |
| 6.4. Zonas de vida                                                                              | 26     |
| 6.5. Fauna y flora                                                                              | 27     |
| 6.6. Geomorfología                                                                              | 28     |
| 6.7. Suelos                                                                                     | 28     |
| 6.8. Hidrografía                                                                                | 29     |
| 6.9. Clima                                                                                      | 30     |
| 7. MARCO METODOLÓGICO                                                                           | 33     |
| 7.1. Determinación del área de estudio                                                          | 33     |
| 7.2. Establecimiento de los puntos de monitoreo                                                 | 33     |
| 7.3. Técnica de muestreo                                                                        | 34     |
| 7.4. Estimación del Índice de Calidad de Agua (ICA)                                             | 35     |
| 7.5. Periodo de control                                                                         | 42     |
| 7.6. Lineamientos de propuesta de manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Atulapa. | 42     |

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN                                                                                                                                                                | 43 |
| 8.1. Puntos de control en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa.                                                                                                  | 43 |
| 8.2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa.                                                           | 45 |
| 8.2.1. Potencial de hidrógeno                                                                                                                                                            | 45 |
| 8.2.2. Oxígeno disuelto                                                                                                                                                                  | 47 |
| 8.2.3. Porcentaje de saturación                                                                                                                                                          | 50 |
| 8.2.4. Turbidez                                                                                                                                                                          | 52 |
| 8.2.5. Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).                                                                                                                                 | 54 |
| 8.2.6. Coliformes fecales                                                                                                                                                                | 56 |
| 8.2.7. Nitratos (NO <sub>3</sub> )                                                                                                                                                       | 58 |
| 8.2.8. Fosfatos                                                                                                                                                                          | 61 |
| 8.2.9. Temperatura del agua                                                                                                                                                              | 64 |
| 8.2.10. Sólidos disueltos totales                                                                                                                                                        | 66 |
| 8.2.11. Temperatura ambiente                                                                                                                                                             | 68 |
| 8.3. Índice de Calidad de Agua –ICA- de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa.                                                                                    | 70 |
| 8.4. Calidad de agua de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.                                                                            | 75 |
| 8.5. Lineamientos de propuesta de manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Atulapa.                                                                                          | 84 |
| 8.5.1. Implementar un plan de capacitaciones para la concientización del uso adecuado e importancia del agua, en las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca río Atulapa. | 84 |
| 8.5.2. Implementación de la ley de áreas protegidas en las comunidades de la microcuenca río Atulapa.                                                                                    | 85 |
| 8.5.3. Implementación de buenas prácticas agrícolas para evitar la contaminación de las fuentes de agua por el uso de fertilizantes y agroquímicos.                                      | 87 |
| CONCLUSIONES                                                                                                                                                                             | 88 |
| RECOMENDACIONES                                                                                                                                                                          | 89 |
| BIBLIOGRAFÍA                                                                                                                                                                             | 90 |
| ANEXOS                                                                                                                                                                                   | 92 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                | <b>Página</b> |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1             | Clasificación del ICA propuesta de Brown                                                                                                                        | 12            |
| 2             | Ventajas y desventajas del Índice de Calidad del Agua.                                                                                                          | 14            |
| 3             | Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.                                                                           | 16            |
| 4             | Extensión por zona de vida de la microcuenca río Atulapa.                                                                                                       | 26            |
| 5             | Principales agrupaciones de suelo en el área de la Cuenca Alta del Río Lempa (CARL).                                                                            | 29            |
| 6             | Puntos de monitoreo en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.                                                           | 34            |
| 7             | Peso relativo para cada parámetro del –ICA–.                                                                                                                    | 37            |
| 8             | Solubilidad de Oxígeno en agua dulce.                                                                                                                           | 39            |
| 9             | Cálculo del Índice de Calidad de Agua                                                                                                                           | 39            |
| 10            | Clasificación de la “ICA” propuesta por Brown (1970)                                                                                                            | 40            |
| 11            | Coordenadas geográficas de los puntos de control, en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.                             | 44            |
| 12            | Resultado del pH en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                                  | 46            |
| 13            | Resultado de oxígeno disuelto en mg/l, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014. | 49            |
| 14            | Resultado del oxígeno disuelto en % de saturación en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014. | 51            |
| 15            | Resultado de turbidez en los puntos de control establecidos, sobre la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                          | 53            |

|    |                                                                                                                                                                            |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 16 | Resultados de DBO <sub>5</sub> , en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                             | 55 |
| 17 | Resultado de la presencia de coliformes fecales en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.              | 57 |
| 18 | Resultado de los niveles de Nitratos –NO <sub>3</sub> - en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.      | 59 |
| 19 | Resultado de los niveles de fosfatos (PO <sub>4</sub> ), en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.     | 63 |
| 20 | Resultado de temperatura del agua, en los puntos de control establecidos en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                            | 65 |
| 21 | Resultado de los niveles de sólidos disueltos en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                | 67 |
| 22 | Resultado de temperatura ambiente (°C) en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.           | 69 |
| 23 | Índice de Calidad del Agua en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.                         | 71 |
| 24 | Calidad de Agua General en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                           | 76 |
| 25 | Calidad del agua según criterios generales de uso para cada punto de control establecido en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014. | 81 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

| <b>Gráfica</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                  | <b>Página</b> |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1              | Resultados promedio de pH, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas 2014.                                                    | 47            |
| 2              | Promedio de oxígeno disuelto en mg/l en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa                                                        | 50            |
| 3              | Resultados promedio de oxígeno disuelto -%SAT- en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas, 2014.                              | 52            |
| 4              | Resultados promedio de turbidez, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.                                          | 54            |
| 5              | Resultados promedio de la demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), en los puntos de control, establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas, 2014. | 56            |
| 6              | Resultados promedio de coliformes fecales en NMP/100 ml, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                 | 58            |
| 7              | Resultados promedio de niveles de Nitratos –NO <sub>3</sub> -, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas, 2014.               | 61            |
| 8              | Resultados promedio de niveles de fosfatos (PO <sub>4</sub> ), en los puntos de control establecidos en la red superficial hidrológica de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.           | 64            |
| 9              | Resultados promedio de temperatura del agua, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                             | 66            |
| 10             | Resultados promedio de los niveles de sólidos disueltos, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                 | 68            |
| 11             | Promedio de temperatura ambiente en °C, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.                                  | 70            |

|    |                                                                                                                                                            |    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 12 | Índice de Calidad de Agua del primer monitoreo (Enero de 2013), en la red hidrológica del río Atulapa, Esquipulas, 2014.                                   | 73 |
| 13 | Índice de Calidad de Agua del segundo monitoreo (Mayo de 2013), en la red hidrológica del río Atulapa, Esquipulas, 2014.                                   | 74 |
| 14 | Índice de Calidad de Agua del Tercer monitoreo (Septiembre de 2013), en la red hidrológica superficial del río Atulapa, 2014.                              | 74 |
| 15 | Índice de Calidad de Agua el cuarto monitoreo (Enero de 2014), en la red hidrológica del río Atulapa, Esquipulas, 2014.                                    | 75 |
| 16 | Resultados promedio del Índice general de calidad del agua (Brown 1970) en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014. | 77 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> | <b>Contenido</b>                                                                                                     | <b>Página</b> |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1             | Mapa de ubicación de la red superficial de la microcuenca río Atulapa.                                               | 25            |
| 2             | Valoración de la Calidad de Agua en Función de la DBO <sub>5</sub> .                                                 | 40            |
| 3             | Valoración de la Calidad de Agua en Función del Nitrato.                                                             | 40            |
| 4             | Valoración de la Calidad de Agua en Función de Coliformes Fecales.                                                   | 41            |
| 5             | Valoración de la Calidad de Agua en Función de pH.                                                                   | 41            |
| 6             | Valoración de la Calidad de Agua en Función del Fósforo.                                                             | 41            |
| 7             | Valoración de la Calidad de Agua en Función del % de Saturación.                                                     | 41            |
| 8             | Valoración de la Calidad de Agua en Función de la Temperatura.                                                       | 41            |
| 9             | Valoración de la Calidad de Agua en Función de la Turbidez.                                                          | 41            |
| 10            | Valoración de la Calidad de Agua en Función de Sólidos Disueltos Totales.                                            | 42            |
| 11            | Ubicación de los puntos de control de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014. | 45            |
| 12            | Índice de calidad del agua general en la red hidrológica superficial, microcuenca río Atulapa.                       | 79            |
| 13            | Criterios generales según el Índice de Calidad de Agua –ICA-.                                                        | 83            |

## RESUMEN

El estudio se realizó en la red superficial de la microcuenca del río Atulapa ya que es una de las más importantes para el municipio de Esquipulas, debido a que abastece el 67% de los hogares de la ciudad, así como, aldeas y caseríos ubicados dentro de la microcuenca.

El estudio realizado tuvo como objetivo determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, del Área Protegida Trinacional Montecristo, con el propósito de generar propuestas de manejo que permita mejorar la calidad del agua en toda la red hídrica; el cual se desarrolló en un período de 12 meses, en donde se determinaron 25 puntos de monitoreos, dividiendo así 14 en la parte alta, 6 en la parte media y 5 en la parte baja de la microcuenca, analizando 9 parámetros con el propósito de conocer la calidad del agua y si en los parámetros sobrepasaban los límites máximos aceptables y permisibles. Determinando el Índice de Calidad de Agua –ICA- en las corrientes superficiales del río Atulapa.

Los cuatro monitoreos se llevaron a cabo en los meses de Enero, Marzo, Septiembre de 2013, Enero de 2014, donde se determinaron parámetros a nivel de campo como: pH, temperatura del agua (°C), conductividad eléctrica y oxígeno disuelto; y a nivel de laboratorio: nitratos, fosfatos, sólidos disueltos totales, turbidez, demanda biológica de oxígeno y coliformes fecales.

La determinación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio ambiental de la carrera de Gestión Ambiental de CUNORI, donde se trasladaron las muestras de agua y analizaron de acuerdo a los métodos y protocolos establecidos para cada parámetro. Como resultado de la investigación, de acuerdo a los parámetros físicos-químicos y microbiológicos en los puntos de control ubicados en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, se determinó que los parámetros: pH, oxígenos disueltos, nitratos turbidez, solidos disueltos totales, temperatura y demanda biológica de oxígeno presentaron valores dentro de los límites máximos aceptables y

permisibles establecidos por la normativa; y los parámetros: fosfatos y coliformes fecales presentaron valores superiores a los límites establecidos por las normativas.

La determinación del Índice de Calidad del Agua –ICA- de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa se estimó utilizando los nueve parámetros como lo son: pH, DBO<sub>5</sub>, turbidez, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos, oxígeno disuelto en % de saturación y coliformes fecales; a través de los cuales se determinó el ICA según Brown 1970, con un 80% de los puntos de estudio con una calidad “Buena”, y el 20% que corresponde a la parte baja con una calidad de agua “Regular”.

De acuerdo al Índice de Calidad del Agua -ICA-, se determinó según la escala de criterios generales según su uso en los 25 puntos de muestreo de la red superficial, en donde el 80% de los puntos se encuentran “Levemente contaminada” para uso de agua potable, en el cual se recomienda realizar una buena cloración del agua para tener una buena purificación. Para uso “Agrícola” e “Industrial” el agua es aceptable, pero dependiendo del tipo de cultivo y que la industria requiera de una alta calidad para su operación, es necesario realizar una purificación para evitar algún tipo de bacteria que pueda dañar el cultivo. Para uso de “Pesca y vida acuática” y “Recreativo” la calidad de agua según su uso es excelente y se puede realizar cualquier tipo de actividad que requiera contacto con ella. El 20% de los puntos restantes que equivale a 5 puntos de estudio, se determinó según la escala de uso, para “Agua Potable” una calidad de agua contaminada, el cual se recomienda realizar un tratamiento potabilizador necesario; para uso en “Agricultura” e “Industrial” el agua esta levemente contaminada, el cual puede ser utilizada para riego de cultivos, pastizales e industrias de operación normal; para uso de “Pesca y vida acuática” y “Recreativo” el agua es aceptable, pero es el límite para los peces que son muy sensitivos y es necesario restringir para uso recreativo los deportes o actividades de inmersión y requiere de un tratamiento de purificación, para prevenir las presencia de bacterias.

Con base al Índice de Calidad del Agua –ICA-, se elaboró de forma gráfica y representativa un mapa, el cual permite identificar en la microcuenca la red superficial del

río, el comportamiento de la calidad del afluente, donde se identifica el mayor grado de contaminación en la parte baja de la microcuenca, debido a la presencia de empresas de beneficios de café y centros recreativos que laboran a la orilla del río Atulapa.

Finalmente, la información generada por la investigación contribuyó a proponer estrategias para la protección del recurso hídrico dentro de la microcuenca río Atulapa en la cuales se plantearon tres estrategias; la primera es implementar un plan de capacitaciones para la concientización del uso adecuado e importancia del agua, en las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca río Atulapa; la segunda tiene que ver con la implementación de la ley de áreas protegidas para las comunidades del área rural, así como para la cabecera del municipio de Esquipulas y como tercero, la implementación de buenas prácticas agrícolas para evitar la contaminación de fuentes de agua por el usos de fertilizantes y agroquímicos a la red superficial de la microcuenca.

## INTRODUCCIÓN

El agua dulce es esencial para el mantenimiento de la vida y puede convertirse en el principal problema mundial en el corto y mediano plazo, a pesar que la disponibilidad de agua sería suficiente para abastecer a toda la población de la tierra, porque el agua no está uniformemente repartida en el planeta y la contaminación del recurso, sea superficial o subterráneo no deja de aumentar.

La contaminación del agua tiene diversas fuentes comúnmente de origen antrópico como la sobre utilización de fertilizantes nitrogenados en la agricultura, la carga de contaminantes provenientes de la industria (metales pesados, compuestos orgánicos persistentes) y de los grandes núcleos urbanos (aguas residuales sin tratamiento), que genera consecuencias negativas para la salud humana, la salud de los ecosistemas, la biodiversidad acuática de los cuerpos de agua y la sobre explotación de los acuíferos.

La Región del Trifinio es importante por la riqueza de sus recursos naturales que son compartidos por los países de El Salvador, Guatemala y Honduras, especialmente por la producción de agua y la diversidad biológica de los ecosistemas y se distingue por ser parte relevante de uno de los sistemas hídricos más importantes de América Central, en donde destacan áreas de tres cuencas, siendo una ellas y la más grande, la cuenca Trinacional del río Lempa.

La microcuenca del río Atulapa es una de las más importantes para el municipio de Esquipulas, porque abastece el 67% de los hogares de la ciudad, así como, aldeas y caseríos ubicados dentro de la microcuenca. Por ello el estudio realizado tiene como objetivo determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial del Área Protegida Trinacional Montecristo, de la microcuenca río Atulapa, con el propósito de generar lineamientos que permitan proponer estrategias para una mejor gestión del recurso hídrico.

La investigación se desarrolló en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, del municipio de Esquipulas, Chiquimula, estableciendo 25 puntos de control en las

principales vertientes de agua, 14 muestras en la parte alta, 6 muestras en la parte media y 5 muestras en la parte baja, tomando en cuenta los afluentes de agua que atraviesan por caseríos, beneficios y fincas de café, empresas y centros turísticos. La recolección de muestras se hizo cada tres meses de enero del 2013 a enero del 2014, donde se determinaron los parámetros físicos-químicos y microbiológicos; analizando nueve parámetros a nivel de campo y laboratorio, los cuales son: pH, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos totales, turbidez, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, coliformes fecales y temperatura.

El promedio de los resultados obtenidos en cuanto al pH, se establece en un límite máximo aceptable, según COGUANOR, que va desde el 7.00 hasta 7.5; el promedio de oxígeno disuelto en toda la red hídrica de la microcuenca es de 8.03 mg/l, estableciéndose en un nivel aceptable y adecuado para la vida. La turbidez se comportó variablemente en toda la red superficial, siendo el punto de “Quebrada el Muro”, el más elevado con un NTU de 8.37, sin sobrepasar el límite máximo permisible, pero en cuanto al promedio de toda la red hidrológica se mantiene bajo los límites máximos aceptables. La demanda biológica de oxígeno presentó una gran variación, con puntos donde presentaron 28.46 mg/l a 101.20 mg/l, sobrepasando el límite máximo permisible (30 mg/l), esto debido a los lugares que atraviesa la red hidrológica, caseríos, beneficios y fincas de café, empresas (beneficios de café) y turicentros (La Planta, Parque Chatún y Atulapa).

La microcuenca se encuentra en una zona agrícola cafetalera es por ello que la presencia de los nitratos y fosfatos son un parámetro muy importante a evaluar, en donde se pudo establecer que el contenido de nitratos va de 0.23 mg/l a 2.65 mg/l, indicando que ninguno de los puntos sobre pasa el límite máximo permisible el cual corresponde a 10mg/l. Por el contrario el fosfato obtuvo valores de 0.12 mg/l a 0.82 mg/l, encontrándose sobre los límites establecidos por la normativa para agua de consumo humano. La temperatura del agua mantuvo un rango que va de 17.98°C a 22.40°C, sin sobrepasar el límite máximo aceptable de 25°C. En cuanto a los sólidos disueltos ninguno de los puntos sobre pasa el límite máximo aceptable. Se determinó que la red de agua superficial se encuentra

contaminada por coliformes fecales, siendo la zona de mayor concentración la parte baja, esto debido a la urbanización, empresas y centros turísticos.

Los resultados de los parámetros obtenidos, sirvieron para determinar el Índice de Calidad de Agua –ICA-, el cual trata de simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas del agua. El cual en las corrientes de agua presentó valores que sobrepasan en un 80% de los puntos de control de acuerdo a la clasificación general de agua propuesta por Brown (1970) con una calidad “Buena”, las cuales son capaces de poseer una alta diversidad de vida acuática y el agua es conveniente para todas formas de contacto directo con ella; y el 20% de los puntos presentó una calidad “Regular”, el cual requiere un tratamiento adecuado para su consumo y uso en áreas industriales, agrícolas y recreativas. Para una mejor expresión y caracterización del área evaluada se elaboró un mapa que determina la calidad del agua según su recorrido sobre toda la red superficial de la microcuenca.

La información generada por la investigación contribuyó a proponer lineamientos que generen la protección del recurso hídrico dentro de la microcuenca río Atulapa, involucrando a las familias de las comunidades que se encuentran dentro de la misma, a través de capacitaciones sobre el uso adecuado del agua, implementación de la ley de áreas protegidas y las buenas prácticas agrícolas.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua cada vez se vuelve más importante, a través de la historia se observa un creciente interés en el estudio de los recursos hídricos, principalmente para el aprovechamiento en las distintas actividades que realiza el hombre, como agua potable, riego en cultivos y generación de energía eléctrica. Según URL; IARNA, GT. 2009

Las aguas superficiales constituyen un recurso vital para el desarrollo humano, particularmente considerando que en varias regiones de Guatemala, durante el verano se secan la mayoría de las fuentes de agua. Así mismo, se observa el crecimiento de contaminación en todas las aguas, provocando enfermedades y haciendo escaso el recurso Según URL; IARNA, GT. 2009

Bajo esta perspectiva el recurso hídrico se hace día a día más escaso, obligando a las entidades gubernamentales y no gubernamentales a sumar esfuerzos, formulando presupuestos para su investigación y desarrollo de estrategias encaminados a planes de acción para la mitigación de los problemas identificados.

La topografía del terreno permite la recolección de aguas superficiales de diferentes puntos de la cuenca, las cuales son muy importantes para el desarrollo del presente trabajo. Las aguas superficiales del municipio de Esquipulas están distribuidas en dos grandes corrientes: La primera nace en las montañas de Santa María Olopa cruzando los valles de Olopita y Atulapa, que se dirige hacia el sur. Su afluente principal es el Río de Olopita, que con la unión de diferentes afluentes forman el río Lempa que atravesando territorio de Honduras, entra a El Salvador y desemboca en el Océano Pacífico y la segunda corriente se dirige hacia el norte.

En esta ocasión se realizó específicamente en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, ubicada en el Área Protegida Trinacional Montecristo –APTMM-. Con el objetivo de determinar el grado de contaminación del agua superficial producto de

las actividades antropogénicas a través de las características físicas, químicas y microbiológicas para determinar la calidad del agua.

Debido a la importancia de esta red hidrológica a nivel de la región trifuio se establecieron líneas base de información que permita conocer la calidad del agua superficial a lo largo de la red hidrológica del río Atulapa, para el manejo y gestión del recurso hídrico de la microcuenca.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Debido a la creciente explosión demográfica, la escasez y deterioro del agua, la calidad de ésta, está afectando la salud y el bienestar de la población en países en vías de desarrollo. La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua. Según URL; IARNA, GT. 2009

Las cuencas, los manantiales, las quebradas y los ríos están en vía de extinción, hay cambios de clima y de suelo, inundaciones, sequías y desertificación. Pero el principal agente causante de la escases es la acción del hombre, quien ejerce una deforestación constante, ignora los conocimientos tradicionales sobre todo de las comunidades indígenas locales por el factor económico, retira el agua de los ríos de diferentes maneras, entre otras con obras de ingeniería, represas y desvíos. Según Alianza Mundial de ACJs, GT. 2003.

Se tiene conocimiento que el 70 % de la superficie de la tierra es agua, pero la mayor parte es oceánica. En volumen, sólo 3 % de toda el agua del mundo es agua dulce, y generalmente no está disponible en su totalidad. Tres cuartas partes del agua dulce se halla inaccesible en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de los centros de población; sólo el 1% es agua dulce superficial aprovechable. Según Alianza Mundial de ACJs, GT. 2003.

Por lo anteriormente expuesto fue necesario, monitorear y evaluar todas las fuentes de agua que sirven como sostén a las actividades económicas y de subsistencia doméstica. Partiendo de esta perspectiva de la problemática a nivel global, se llevó a cabo un monitoreo que establece una línea base de información y que determinó la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, ubicada en el Área Protegida Trinacional Montecristo, ya que esta zona es muy importante, porque el cauce

de agua abastece parte de Guatemala, Honduras y El Salvador, sirviendo como fuente vital de desarrollo económico en los pueblos vecinos a este.

Este estudio tiene como objetivo la determinación de la calidad del agua en la red hidrológica superficial en la microcuenca del río Atulapa para la implementación de planes de gestión integral de este recurso a nivel de la microcuenca el cual permita mejorar la calidad del agua para sus diversos usos.

## **4. OBJETIVO**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, del Área Protegida Trinacional Montecristo, para realizar propuestas de manejo del recurso hídrico en la cuenca.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial de los principales afluentes de la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa.
- Determinar el Índice de Calidad del Agua general –ICA- de la red hidrológica superficial que conforma la microcuenca del río Atulapa, para determinar la calidad del agua de acuerdo al uso.
- Representar de forma gráfica en un mapa la calidad del agua, en la microcuenca del río Atulapa.
- Desarrollar una propuesta de manejo que permita mejorar la calidad del agua en la red hidrológica superficial en la microcuenca del río Atulapa.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1. Cuencas hidrográficas**

Se entiende por cuenca a aquella depresión o forma geográfica que hace que el territorio vaya perdiendo altura a medida que se acerca al nivel del mar. Las cuencas hidrográficas son aquellas que hacen que el agua que proviene de las montañas o del deshielo, descienda por la depresión hasta llegar al mar. En algunos casos, la cuenca puede no alcanzar el nivel del mar si se trata de un valle encerrado por montañas, en cuyo caso la formación acuífera será una laguna o lago. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

### **5.2. Microcuenca hidrográfica**

Se consideran pequeñas cuencas hidrográficas a aquellas que presentan una red de drenaje de primer o segundo orden con un área drenada que puede ir de 1 a 100 ha. Es una unidad física determinada por la línea divisoria de las aguas, que delimita los puntos desde los cuales toda el agua escurre hacia el fondo de un mismo valle, río, arroyo o vegas. Al unirse el caudal y superficie drenada de varias microcuencas, se conforman las cuencas hidrográficas de mayor tamaño. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

### **5.3. Calidad del agua**

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. 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 quiera dar al agua, así se puede determinar la calidad para dichos usos. Los índices de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y el estado del medio biológico. Poseen la capacidad de resumir y simplificar datos

complejos. Tienen expresión numérica, pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

#### **5.4. Índice de Calidad del Agua –ICA-**

El propósito del índice de calidad de agua –ICA-, es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua. El ICA tiene como objeto estimar, generalmente valores entre 0 y 1, el grado de calidad de un determinado cuerpo hídrico continental. Con ello se pretende reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas; esto se resalta cuando hay que realizar una gran cantidad de evaluaciones de forma periódica.

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

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 en varios lugares del país, 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 existentes siendo 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 desarrollar el “ICA”, La NSF seleccionaron 142 personas quienes representaron un amplio rango a nivel local, estatal y nacional en los Estados Unidos. El proceso para el desarrollo del Índice de Calidad del Agua se llevó a cabo en las siguientes etapas.

La identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua, basados en el criterio profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación. Mediante una serie de cuestionarios, a cada panelista se le preguntó que considerara 35 parámetros de calidad de agua para una posible inclusión en dicho índice. Este número se redujo finalmente a 9 parámetros, los cuales fueron mencionados anteriormente.

Asignación de los Pesos Relativos o Peso de importancia del Parámetro ( $w_i$ ) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración. En el caso de asignaciones de Pesos Relativos se identifican cuatro fases:

1. El panel de expertos procede a la generación de las ideas que determinan los Pesos Relativos, escribiéndolas en un papel.
2. Recolección de las ideas generadas por los participantes en un gráfico, mediante una discusión en serie.
3. Discusión de cada idea recogida por el grupo con el fin de proceder a su clarificación y evaluación.
4. Votación independiente sobre la prioridad de las ideas, es decir los Pesos Relativos, la decisión del grupo se determina mediante orientación matemática. Para esto se pueden establecer varias metodologías de índices como lo son las curvas funcionales.

Estos datos se promediaron dando origen a curvas que reflejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Subi) de 0-100.

La agregación de la información, mediante fórmulas que incluyen adiciones simples o multiplicativas.

Verificación en campo de su aplicabilidad. Esto implica la recolección de datos y su comprobación.

- **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 el 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        |       | 90 a 100 |
| Buena            |       | 70 a 90  |
| Regular          |       | 50 a 70  |
| Mala             |       | 25 a 50  |
| Pésima           |       | 0 a 25   |

*Fuente: SNET (1998).*

Las aguas con “ICA” mayor que 90 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 un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación. (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, MARN, SV, 1998).

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales, MARN, SV, (1998) el propósito de los índices de calidad de aguas (ICA), es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua.

El ICA tienen como objeto estimar (generalmente valores entre 0 y 1), el grado de calidad de un determinado cuerpo hídrico continental. Con ello se pretende reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas; esto se resalta cuando hay que realizar una gran cantidad de evaluaciones de forma periódica.

El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas, la primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua; La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación.

Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro ( $I_i$ ). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ) según su orden de

importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

En la determinación del “ICA” intervienen nueve parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100mL)
- 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)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos Disueltos Totales (en mg/L)
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)

**Cuadro 2. Ventajas y desventajas del Índice de Calidad del Agua.**

| ICA como herramienta de evaluación de la calidad de agua                                                            |                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VENTAJAS                                                                                                            | DESVENTAJAS                                                                                                                    |
| Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.                                           | Proporcionan un resumen de los datos.                                                                                          |
| Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio. | No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.                                                                |
| Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.                                                 | No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.                                                                      |
| Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.                                                      | Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.                                                                            |
| Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemática.                                          | No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra. |

*Fuente: Boy Piedrasanta, JA. 1989.*

## **5.5. Características del agua**

El agua posee una alta reactividad que se pone de manifiesto en su poder de disolución de materiales. Un proceso de disolución implica el cambio en características físicas, químicas y biológicas de las aguas propiedades de la disolución ya constituida, con respecto tanto al soluto como al propio disolvente, el cual se puede producir de diferentes formas, las cuales son:

### **5.5.1. 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. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Temperatura (T°)**

La temperatura es una variable muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Turbidez**

Reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. La turbidez, también es nombrada turbiedad. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Color, olor y sabor**

Son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor al

detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura”. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

### 6.5.2. 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, sólidos presentes. Según Garay, J; Panizzo, L; Lesmes, L; Ramírez, G; Sánchez, J. 1993.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

El oxígeno es una sustancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivos tanto acuáticos como terrestres. 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. Según Garay, J; Panizzo, L; Lesmes, L; Ramírez, G; Sánchez, J. 1993.

De esta forma cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, entre otros, afectan sus niveles. Según Garay, J; Panizzo, L; Lesmes, L; Ramírez, G; Sánchez, J. 1993.

**Cuadro 3. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.**

| OD-mg/L | Condición     | Consecuencias                                                                                     |
|---------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0       | Anoxia        | Muerte masiva de organismos aerobios                                                              |
| 0-5     | Hipoxia       | Desaparición de organismos y especies sensibles                                                   |
| 5-8     | Aceptable     | (OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos. |
| 8-12    | Buena         |                                                                                                   |
| >12     | Sobresaturada | sistemas en plena producción fotosintética                                                        |

*Fuente: Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.*

- **Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica en el agua. En las aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, los carbonatos, los sulfatos y los cloratos. Según Garay, J; Panizzo, L; Lesmes, L; Ramírez, G; Sánchez, J. 1993.

- **Dureza**

Es otra forma de indicar el contenido iónico de un 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 en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica. Se obtiene a partir de la determinación por separado del contenido en calcio y magnesio de la muestra o de manera conjunta por compleximetría con EDTA. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **pH**

El pH (Índice de Ion de hidrógeno), es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de la basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues nos proveen mucha información con respecto a la calidad del agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Generalmente un pH muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Sólidos Totales Suspendidos (STS)**

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105 °C hasta peso constante.

Los sólidos suspendidos, como parámetro, miden la presencia de materiales corpusculares de tamaño mayor que unos 10<sup>-3</sup> milímetros. Si fuesen menores se clasificarían como materiales coloidales (10<sup>-6</sup> a 10<sup>-3</sup> mm) o, definitivamente, como especies disueltas (menores que 10<sup>-6</sup> mm). Además, los sólidos mayores que unos 10<sup>-2</sup> mm se definirían, como sólidos sedimentables pues su tamaño es tal que caen por si mismos al dejarlos en agua quieta, los sólidos suspendidos, en cambio y tal como su nombre lo indica, permanecen en suspensión y sólo pueden ser retirados por una barrera física, como por ejemplo, un filtro. Según Garay, J; Panizzo, L; Lesmes, L; Ramírez, G; Sánchez, J. 1993.

- **Nitratos (NO<sub>3</sub> -)**

En los nitratos está presente el anión nitrato (NO<sub>3</sub> -), éste se forma al unirse el nitrógeno en estado de oxidación con tres oxígenos. Los nitratos (que derivan en nitritos en condiciones reductoras) originan un problema poco común de contaminación, además de estimular la eutrofización.

Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, entre otros. En esta descomposición se forma amoníaco o amonio respectivamente. El agua que contiene altas concentraciones de nitratos y que se emplea en alimentación de niños de seis meses, puede ser causa de una condición llamada metahemoglobinemia. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en la muestra de agua. Se determina por diferencia entre el oxígeno disuelto en la muestra inicial y el medido en función del tiempo de incubación. La incubación se realiza en viales de volumen conocido colocados en incubadora a 20 °C, en ausencia de luz. Generalmente la demanda de oxígeno para la degradación biológica de la muestra, supera los valores de OD a 20 °C, es por ello que se hace necesario diluir la muestra hasta valores inferiores de DBO de 3 mg/L. Si la muestra no presenta microorganismos de forma natural (situación muy corriente en vertidos de origen industrial), la muestra a ensayar se sembrará con un cultivo de bacterias aerobias. Al observar la variación del OD en función del tiempo para una temperatura de 20 °C, se aprecia que ésta no sufre una variación constante, sino que al cabo de un periodo de aproximadamente 8 días, la velocidad a la que se consume el oxígeno aumenta bruscamente; esto se debe a que se ha iniciado la biodegradación de los compuestos orgánicos nitrogenados por efecto de las bacterias nitrificantes, con lo cual estamos observando la superposición de dos curvas, la de biooxidación de los compuestos hidrocarbonados (línea de trazo fino) y la de los compuestos nitrogenados orgánicos. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

La demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias bajo condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)**

Los Fosfatos son la principal forma en la que el fósforo se presenta en las aguas naturales. Estos se encuentran en los fertilizantes y los 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. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

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. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

- **Sulfatos ( $\text{SO}_4$ )**

El ion sulfato es uno de los principales aniones que se encuentran en aguas naturales. Los sulfatos llegan al medio acuático por los desechos provenientes de múltiples industrias. El dióxido de azufre atmosférico, que se libera por la combustión de hidrocarburos también puede contribuir al contenido de sulfatos del agua. El trióxido de azufre producido por la oxidación fotolítica o catalítica del dióxido, se combina con el vapor de agua y precipita como lluvia ácida. La concentración de sulfatos en la mayor parte de las aguas dulces es muy baja. Las dosis de sulfato de 1.0 a 2.0 gramos tienen efecto catártico en las personas, dando como resultado la purga del canal alimentario. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

### **5.5.3. Características microbiológicas**

En el agua encontramos una enorme diversidad de microorganismos y es complicado poder determinar cuáles son los buenos y cuáles son los malos. Por este motivo se establecen distintos criterios para determinar si el agua es apta para uso humano y el más importante desde el punto de vista microbiológico es la presencia de bacterias coliformes. Estas bacterias son las que se encuentran generalmente en el tracto intestinal, tales como *Escherichia coli*, y se utilizan como indicador de contaminación debido a que si se encuentran presentes en el agua, esto significa que hay desechos fecales en el agua y no puede ser considerada como de buena calidad. Según Boy Piedrasanta, JA. 1989.

## **5.6. Calidad del agua superficial**

Aguas superficiales son aquellas que circulan sobre la superficie del suelo. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Pueden presentarse en forma correntosa, como en el caso de corrientes, ríos y arroyos, o quietas si se trata de lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios, océanos y mares. Según Lemus, R. 2013.

La calidad del agua superficial en ríos y arroyos, lagos, estanques y humedales está determinada por las interacciones entre el suelo, los sólidos transportados (orgánicos, sedimentos), las rocas, el agua subterránea y la atmósfera. También puede ser afectada significativamente por las actividades agrícolas, industriales, y de extracción minera y energética, urbanas y otras actividades antrópicas, así como por aportes atmosféricos. Según Lemus, R. 2013.

## **5.7. Clasificación de la calidad del agua**

Hay muchos sistemas de clasificar la calidad de las aguas. En primer lugar se suele distinguir según el uso que se le vaya a dar (abastecimiento humano, recreativo, vida acuática). Hay directivas comunitarias que definen los límites que deben cumplir un amplio número de variables físicas, químicas y microbiológicas para que pueda ser utilizada para consumo y abastecimiento humano, baño y usos recreativos y vida de los peces. Como lo establece COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 2009.

## **5.8. Muestreo de fuentes de agua**

El agua es vida, sin embargo, no toda el agua es segura para los estándares humanos. Las muestras de agua pueden proporcionar una gran cantidad de información sobre una fuente de agua, como el contenido de nutrientes, la detección de la contaminación y la carga bacteriana. Muchas industrias diferentes presentan muestras de agua para la prueba con el fin de mejorar la calidad del agua. No sólo las muestras de agua proporcionan componentes para beber, sino también para el medio ambiente. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

- **Importancia**

La toma de muestras de agua es una técnica utilizada para analizar el agua de una variedad de diferentes fuentes. El muestreo es una forma de tomar una pequeña cantidad de la fuente y probarla para proporcionar información en general. Muchos organismos diferentes usan estas muestras para controlar la contaminación, los cambios biológicos o químicos, la erosión y manejo de cuencas. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

- **Motivos**

Se necesita muestreo de agua para determinar los constituyentes químicos y biológicos de un cuerpo de agua. Una vez más, diferentes industrias usan el agua para hacer la vida más agradable para los seres humanos. Sin embargo, a veces el resultado final es la liberación de agua de nuevo en un canal lleno de sustancias contaminadas que pueden dañar el medio ambiente. Las pruebas son a menudo mandadas por la Agencia de Protección del Medio Ambiente para el control de la cantidad de sustancias liberadas en los ecosistemas. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

- **Tipos**

Las muestras se recogen normalmente en un Whirlpak o una bolsa estéril, ya sea a mano o mediante el uso de una línea de toma de muestras. Por grifo o agua de pozo, la muestra debe venir directamente del grifo en un frasco estéril. Para el muestreo de un arroyo o un lago, es importante tomar una muestra de un sitio que sea relativo a la masa de agua en su conjunto. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

- **Consideraciones**

Cuando se supervisa un cuerpo de agua o el sistema, es importante tomar una muestra cada trimestre o estacionalmente para lograr un prospectivo anual de cambios. Cuantas más muestras recogidas, más datos se pueden dar sobre un sitio en particular. El agua potable también debe ser probada de la misma manera para controlar los niveles de contaminación y los riesgos para la salud. Las muestras de agua se deben dar a un laboratorio dentro de cuatro días y debe mantenerse fría para limitar la influencia microbiana en la muestra. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

## **5.9. Monitoreos**

Los monitoreos o controles periódicos de los parámetros ambientales son, hoy por hoy, un arma imprescindible en la defensa de la naturaleza y la vida en general.

En el desarrollo de cualquier actividad extractiva, manufacturera, agropecuaria, industrial entre otros, existe el riesgo de alterar el entorno y por tanto es de fundamental importancia controlar que no se produzcan degradaciones en el medio ambiente físico, social y biológico.

Para todos los casos, en primer lugar, se debe tener en cuenta el tipo de actividad, las materias primas, insumos. Es decir que productos y que residuos resultarán de los procesos industriales. También se debe tener en cuenta que, si bien el impacto ambiental y las auditorías definen el tipo y la frecuencia de los análisis a realizar, el plan de monitoreos debe contar con el aval de la autoridad de aplicación y estar sujeto a su contralor. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2010.

### **5.9.1. Monitoreos de aguas superficiales**

Se deberán hacer análisis físicos, químicos y microbiológicos aguas arriba y aguas abajo.

## 6. MARCO REFERENCIAL

### 6.1. Ubicación del área de estudio

Geográficamente el Área Protegida Trinacional Montecristo (APTMT) se localiza entre los 88°45' y 89°50' de longitud Oeste, y entre los 14°05' y 15°12' de latitud Norte. (CTPT, GT. Diagnóstico ambiental y socioeconómico área protegida trinacional Montecristo. 2005). El área se ubica en la región nor-occidental de El Salvador y en las regiones oriental y occidental de Guatemala y Honduras respectivamente.

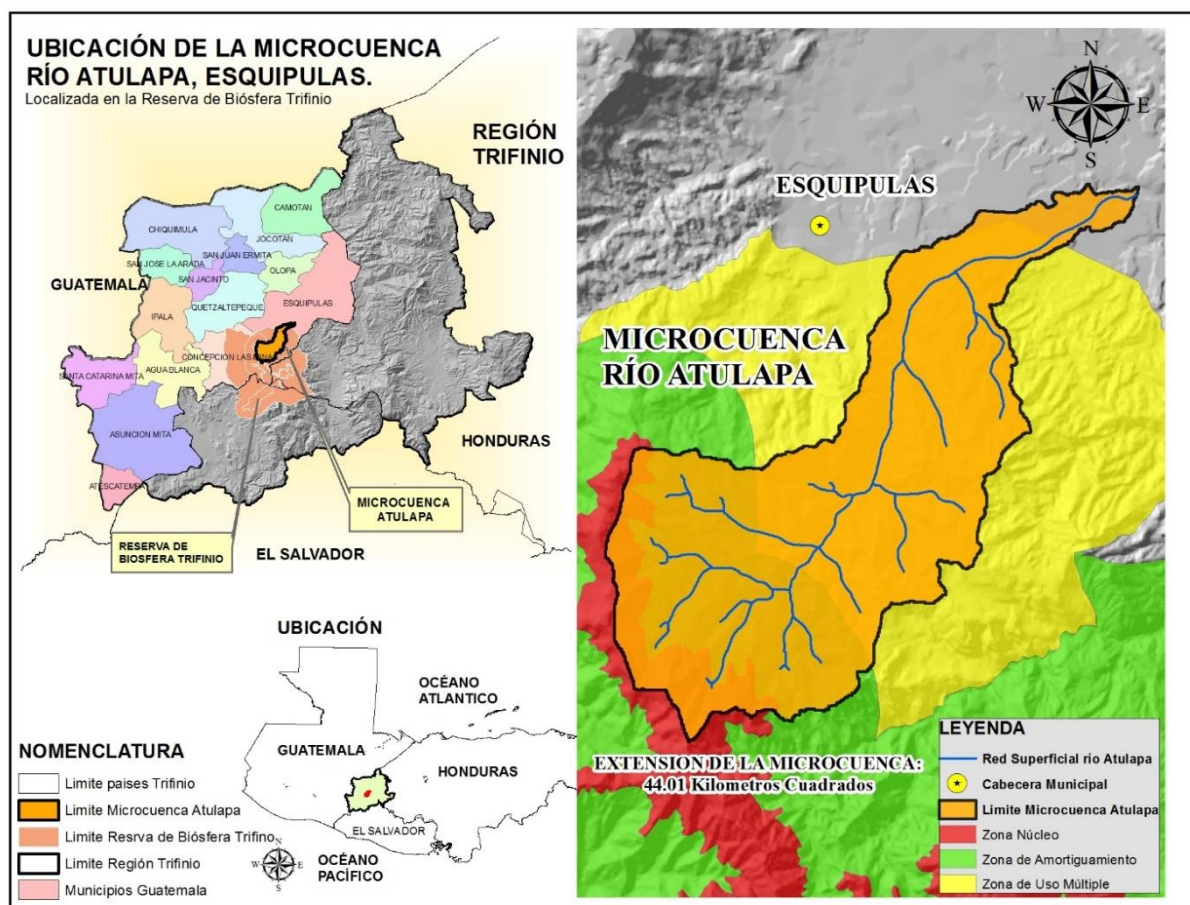
La microcuenca del río Atulapa se encuentra delimitada en el municipio de Esquipulas y Concepción Las Minas, del departamento de Chiquimula, Guatemala, dentro del área de la reserva internacional de la biósfera “La Fraternidad”, con una extensión del área del plan Trifinio de 3.392 km<sup>2</sup>, siendo un total de 3.11% del área con respecto al país. Se encuentra en el punto de confluencia fronteriza de las Repúblicas de Guatemala, El Salvador y Honduras, en torno al Cerro Montecristo, con alturas menores de 400 hasta 2,419 msnm. Esta se sitúa al sur del municipio de Esquipulas, perteneciente al departamento de Chiquimula, concretamente a la Región III, quedando incluida en su totalidad en terrenos pertenecientes a dicho municipio. La microcuenca del río Atulapa se localiza en las hojas cartográficas de Esquipulas (2359 IV) y Cerro Montecristo (2359 III); se ubica entre las coordenadas.

- Latitud Norte 14°34'12" y 14°28'48"
- Longitud Oeste 89°17'24" y 89°23'24"

El río Atulapa tiene sus cabeceras en el Caserío Plan de La Arada, de la Aldea Santa Rosalía, en la confluencia de las Quebradas del Raspado y Quebrada de Piedra. En su paso por la Granadilla recibe la Quebrada Paxistal. Corre de Sur a Este y descarga en el río de Olopita. Entre Santa Rosalía y San Nicolás cuenta con un puente vehicular de 48 metros que facilita el paso. Este surte del vital líquido a la Ciudad de Esquipulas y a todos los caseríos cercanos, así como a varios turicentros privados que se encuentran a sus

orillas. Se considera que surte del vital líquido al 90% de la población urbana de Esquipulas, que cuenta con el servicio de agua entubada.

**Figura 1. Mapa de ubicación de la red superficial de la microcuenca río Atulapa.**



*Fuente: Elaboración Propia 2014.*

## 6.2. Microcuenca río Atulapa

La microcuenca del río Atulapa forma parte de la Subcuenca del río Olopa que a su vez corresponde a la parte alta de la cuenca mayor del río Lempa. En esta vertiente las cuencas están caracterizadas por tener pendientes pronunciadas en las partes altas y que disminuyen al caer a la zona baja de inundación. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

### 6.3. Red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa

La red hídrica de la microcuenca del río Atulapa nace desde la parte alta del Área Protegida Trinacional Montecristo, la cual va siendo vertida por corrientes de agua de quebradas, riachuelos y nacimiento, hasta llegar a la parte baja y drena a la vertiente del océano pacífico en la república de El Salvador por medio del río Lempa. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009

### 6.4. Zonas de vida

Según el sistema de clasificación Holdridge, modificado por De la Cruz, dentro de la microcuenca del río Atulapa, se ubican tres zonas de vida: Bosque Húmedo Subtropical Templado (bh-S(t)), Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y Bosque muy Húmedo Subtropical Frío (bmh S(f)) en menor cantidad que los anteriores. Cuadro 4.

**Cuadro 4. Extensión por zona de vida de la microcuenca río Atulapa.**

| ZONA DE VIDA                       | CÓDIGO   | ÁREA (Km <sup>2</sup> ) | % ÁREA     |
|------------------------------------|----------|-------------------------|------------|
| Bosque Húmedo Subtropical Templado | Bh-S (t) | 20.211                  | 45.92      |
| Bosque muy Húmedo Montano Bajo     | Bmh-MB   | 21.85                   | 49.65      |
| Bosque muy Húmedo Subtropical Frío | Bmh S(f) | 1.949                   | 4.43       |
| <b>Total</b>                       |          | <b>44.01</b>            | <b>100</b> |

Fuente: CTPT, 2005.

- **Bosque Húmedo Subtropical Templado (bh-S(t))**

Esta zona abarca una extensión de 20.21 km<sup>2</sup>, que representa el 45.92% de la superficie de la microcuenca, abarcando así las aldeas de Atulapa, Santa Rosalía y San Nicolás, además se encuentran los caseríos El Limón, La Torera y la Granadilla. Se caracteriza toda la parte baja de la microcuenca por su vegetación que es más apta para las temperaturas mayores; en la cual se encuentran las especies de *Pinus oocarpa*, *Byrsonimia crassifolia*, *Liquidambar styraciflua*, *Croton draco*, *Cupressus lusitánica*, entre otros. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2005.

- **Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh - MB)**

La biotemperatura anual promedio es de 15°C, la temperatura media anual oscila entre los 12 a 17 °C, las precipitaciones promedios anuales oscilan entre los 2000 a 4000 mm y la elevación está en el rango de los 2000 a 3000 msnm. La vegetación predominante son especies latifoliadas y en menor grado las coníferas, el sotobosque es vigoroso, el epifitismo extremadamente marcado, las palmas y los helechos arborescentes son abundantes. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2005.

- **Bosque muy Húmedo Subtropical Frío (bmh-S(f))**

Contiene una precipitación promedio de 2280 mm con relieve ondulado y en algunos casos accidentado, el régimen de lluvia es de mayor duración que la zona de vida bosque muy húmedo subtropical templado. Se puede mencionar a *Pinus pseudostrobus Lindl* que es la especie representativa. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2005

## **6.5. Fauna y flora**

- **Inventario forestal**

Dentro de la microcuenca no existe inventario que dé a conocer una clasificación a detalle del bosque que permita hacer una clasificación y la capacidad de productividad del mismo, pero en la parte alta se observan bosques puros de *Pinus pseudostrobus Lindl*. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2005.

- **Especies**

Respecto a la biodiversidad animal, las principales especies de mamíferos y más abundantes son los murciélagos (27 especies) y ratones (12 especies), pero existe una presencia de 16 especies de carnívoros, desde mapaches (*Procyon lotor*), hasta puma o león americano (*Puma concolor*). Especies como puma (*Puma concolor*), tepescuintle (*Agouti paca*), coche de monte (*Tayassu tajacu*) y venadito rojo (*Mazama americana*), poseen bajas poblaciones dentro del área debido a la pérdida del hábitat y la cacería. Entre los Anfibios se tienen registros de especies de rana arbórea guatemalteca (*Plectrohyla guatemalensis*), y entre las aves están: Pajuil o pava negra (*Penelopina*

*nigra*), búho fulvo (*Strix fulvescens*), tijereta centroamericana (*Doricha enicura*), mosquero fajado (*Xenotriccus callizonus*), golondrina gorrinegra (*Notiochelidon pileata*) y bolsero guatemalteco (*Icterus maculialatus*). Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2005.

## **6.6. Geomorfología**

La región de la microcuenca alta del río Lempa se caracteriza por tres formas de relieve principales: montaña, pie de monte y zonas planas. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

La zona montañosa presenta suelos poco profundos y afloramientos rocosos, hidrografía constituida por corrientes de ríos, riachuelos y quebradas que forman un drenaje dendrítico. Los principales macizos son: el Montecristo (2,418 msnm), Montaña del Mono (1,818 msnm), Pital (2,730 msnm), Montaña de Güisayote (2,310 msnm), Cocal (2,200 msnm) y Miramundo (2,300 msnm) y Malcotal (2,302 msnm) (ICI-APESA-NORAGRIC, 2000). El pie de monte no es muy notorio debido a que los relieves escarpados llegan hasta las partes de relieve plano. Posee suelos e hidrografía semejantes a la zona montañosa.

## **6.7. Suelos**

A continuación se describen los principales tipos de suelo presentes en el área de la cuenca alta del río Lempa y sus características principales. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

**Cuadro 5. Principales agrupaciones de suelo en el área de la Cuenca Alta del Río Lempa (CARL).**

| Agrupaciones Principales            | Ubicación                                       | Características                                                                                                                                  |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Incepti-, enti- y vertisoles</b> | pies de monte del macizo de Montecristo         | Son suelos de textura moderadamente gruesa, susceptibles a la erosión y de poco a medianamente productivos con medidas de conservación de suelos |
| <b>Ando-, alfi- y ultisoles</b>     | montañas y tierras altas del macizo Montecristo | Son suelos profundos, arcillosos, muy susceptibles a la erosión y de productividad de muy baja a moderada, para cultivos perennes                |

*Fuente: CTPT Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.*

Con base a condiciones de intensidad de uso de la tierra, fisiografía, red hídrica, concentraciones poblacionales, flujos de mercado, infraestructura vial y productiva, sistemas productivos, potenciales turísticos y de desarrollo empresarial, se ha dividido la cuenca en cinco zonas estratégicas homogéneas según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009. Estas zonas son.

Zona 1: Cafetalera y forestal con alto valor agregado

Zona 2: Potencial ecoturístico y para regulación hídrica

Zona 3: Producción forestal y regulación hídrica

Zona 4: Agroempresarial con potencial agroindustrial

Zona 5: Desarrollo silvopastoril y agroforestal con conservación

## **6.8. Hidrografía**

La hidrografía está formada por ríos con cañones medianamente profundos y cauces ligeramente sinuosos, con procesos de erosión fluvial que frecuentemente llegan a formar llanuras aluviales en las zonas bajas. Los caudales son relativamente altos en la época lluviosa, sin embargo, al final de la época seca la mayoría prácticamente llega a desaparecer. Según Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT. 2009.

Para el desarrollo de estos estudios hay variaciones en los límites considerados en el trazo del parte aguas de las cuencas. La microcuenca del río Atulapa tiene aproximadamente 2.7 kilómetros cuadrados entre el área delimitada en hojas cartográficas a escala 1:50,000 por personal técnico de la FAUSAC.

## **6.9. Clima**

La altura sobre el nivel del mar y la exposición de las laderas montañosas determinan el clima en la zona. Según la clasificación de Thornthwaite, el área posee un clima cálido, húmedo, con invierno benigno, seco y con vegetación predominante de bosque. Según MARN, GT. 2009.

El clima por debajo de los 1,000 msnm es cálido y seco; se caracteriza por una temperatura promedio de alrededor de 24 °C y una humedad relativa baja. La zona comprendida entre los 1,500 y los 2,000 msnm es húmeda y templada, las lluvias no son excesivas y no existe riesgo de heladas. (Barrios et al, 1995). Finalmente, la zona superior a los 2,000 msnm es fría, con promedios anuales de temperatura de 10.9 a 14.0 °C.

El régimen de lluvias, está bien definido, el período seco es de noviembre a abril (verano) y el húmedo de mayo a octubre (invierno), con lluvias de corta duración y alta intensidad que propician sequías en verano y torrentes en invierno con los consiguientes efectos sobre la agricultura y la infraestructura de la zona.

## **6.10. Estudios relacionados con el tema de investigación**

### **A. Diagnóstico de aguas servidas sobre la calidad del agua del río San José**

En el año 2001, se realizó el Diagnóstico de las Agua Servidas Municipales sobre la calidad del Agua del río San José, en la Cabecera Departamental de Chiquimula; los resultados obtenidos mostraron que las aguas servidas de la ciudad de Chiquimula tiene crecimiento masivo de enterobacterias posiblemente por la presencia de grandes cantidades de sólido de origen orgánico, los que contribuyen al crecimiento masivo de microorganismo que debido a la utilización de oxígeno limitan este elemento y a su vez restringen la utilización del agua en procesos que conlleven el contacto directo con seres humanos. También se encontró que desde el punto de vista agronómico las aguas pueden ser benéficas por los niveles de nutrientes que tienen pero a su vez pueden tener elevadas concentraciones de sales, iones tóxicos y microorganismos que modifican las características físicas, químicas y biológicas del agua original.

### **B. Diagnóstico de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula**

En el 2008, la Comisión Trinacional del Plan Trifinio junto con la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tenían como objetivo realizar un diagnóstico integral de la microcuenca del río Atulapa que sirviera como base para formular un plan de manejo integral de la misma; para ello determinaron las características socioeconómicas y biofísicas de la microcuenca e identificaron las causas y efectos de los principales problemas de la microcuenca. Con base a las investigaciones realizadas y los resultados obtenidos se determinó que los principales problemas que presenta la microcuenca según los actores locales son, contaminación de las fuentes de agua, por las aguas mieles vertidas al agua superficial, procedente de los beneficios húmedos de café; apropiación de las fuentes de agua, que no permite que el agua sea un bien común; falta de protección de las fuentes de agua, pues no existe protección alguna que garantice la sostenibilidad de las fuentes de agua; competencias institucionales, en donde instituciones como el Instituto Nacional de Bosques – INAB-, el

Concejo Nacional de Áreas Protegidas – CONAP- y la Asociación Nacional de Café – ANACAFÉ- no ejercen sus funciones institucionales dentro del área, lo que provoca un desorden en el manejo de los recursos naturales; pérdida de la cobertura boscosa, debido a la alta pendiente de la microcuenca y el avance de la frontera agrícola; deslizamientos, debido a la pérdida de la cubierta forestal frondosa, por un cambio en el uso de la tierra.

## **7. MARCO METODOLÓGICO**

### **7.1. Determinación del área de estudio**

El área de estudio se determinó utilizando el Sistema de Información Geográfico –SIG- del Centro Universitario de Oriente –CUNORI- con base a la red hidrológica de la microcuenca del río Atulapa, que forma parte de la subcuenca del río Olopa, que a su vez corresponde a la parte alta de la cuenca mayor del río Lempa, ubicada en el municipio de Esquipulas, Chiquimula.

Para definir los puntos de muestreo se utilizó un mapa base de la ciudad de Esquipulas generada por el SIG, para poder ubicar el límite de la microcuenca y ubicar así los puntos en la parte alta, media y baja donde se realizaron los monitoreos con el fin de poder obtener los resultados del análisis del índice de calidad del agua -ICA-.

### **7.2. Establecimiento de los puntos de monitoreo**

Un punto de control es un lugar físico ubicado a lo largo del cauce del río donde se tomaron las muestras de agua para su análisis.

Para poder ubicar los puntos de monitoreo, se tomaron en cuenta los cauces, afluentes y quebradas que conforman la microcuenca de la parte alta, media y baja; para así evaluar la calidad del agua en cada cauce que conforma la microcuenca del río Atulapa.

Se establecieron un total de 25 puntos de monitoreo, en la cual se tomaron 14 muestras de agua en la parte alta; 6 muestras en la parte media y 5 muestras en la parte baja de la red hidrológica de la microcuenca del río Atulapa. Ver cuadro 6.

**Cuadro 6. Puntos de monitoreo en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.**

| COMUNIDAD        | No. | ID      | NOMBRE                               | PUNTOS DE MONITOREO |
|------------------|-----|---------|--------------------------------------|---------------------|
| Plan de la Arada | 1   | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 14                  |
|                  | 2   | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 |                     |
|                  | 3   | MCRA 3  | Quebrada don Fabio Solis             |                     |
|                  | 4   | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               |                     |
|                  | 5   | MCRA 5  | Rio Atulapa 1                        |                     |
|                  | 6   | MCRA 6  | Río El Volcán                        |                     |
|                  | 7   | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 |                     |
|                  | 8   | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               |                     |
| El Duraznal      | 9   | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               |                     |
| El Portezuelo    | 10  | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       |                     |
|                  | 11  | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo |                     |
|                  | 12  | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     |                     |
|                  | 13  | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 |                     |
|                  | 14  | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    |                     |
| La Cuestona      | 15  | MCRA 15 | Quebrada La Cuestona 2               | 6                   |
|                  | 16  | MCRA 16 | Rio Atulapa 2                        |                     |
|                  | 17  | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  |                     |
| El Limón         | 18  | MCRA 18 | Rio Atulapa 4                        |                     |
|                  | 19  | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 |                     |
|                  | 20  | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 |                     |
| Atulapa          | 21  | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 5                   |
|                  | 22  | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          |                     |
|                  | 23  | MCRA 23 | Parque Chatún                        |                     |
|                  | 24  | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        |                     |
|                  | 25  | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    |                     |

Fuente: Elaboración Propia 2014.

Cada punto de monitoreo fue georreferenciado con GPS, para poder facilitar la identificación y la elaboración de mapas donde se muestra el nivel de calidad del afluente de la microcuenca río Atulapa y la cantidad de puntos de muestreo dentro de la misma.

### 7.3. Técnica de muestreo

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) y por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA); para determinar el Índice de Calidad de Agua.

Para el análisis fisicoquímico se recolectaron muestras simples en botellas plásticas de 1 litro, las cuales fueron previamente esterilizadas para evitar cualquier contaminación de las muestras; y posteriormente fueron identificadas y almacenadas en una hielera a una temperatura de aproximadamente 4 °C para el transporte al laboratorio.

Para el análisis microbiológico se recolectaron las muestras de agua en recipientes herméticos de 150 ml, esterilizados para evitar cualquier alteración de la muestra, teniendo cuidado de dejar un espacio de aire para facilitar la agitación de la misma. Posteriormente se identificaron y almacenaron en una hielera a una temperatura de aproximadamente 4 °C, para ser transportadas al laboratorio en un espacio de tiempo recomendable de 6 horas hasta un máximo de 24 horas entre la recolección de la muestra y su análisis.

#### **7.4. Estimación del Índice de Calidad de Agua (ICA)**

Para determinar el Índice de Calidad de Agua –ICA-, se midieron 9 parámetros de acuerdo a la propuesta de Brown, los cuales son:

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

Los parámetros que se midieron a nivel de campo son: pH, Oxígeno Disuelto y Temperatura en °C y de laboratorio el resto, en cada uno de los puntos de control establecidos a lo largo de la red hidrológica de la microcuenca del río Atulapa, del municipio de Esquipulas.

#### a. Cálculo del Índice de Calidad de Agua General

El índice de Brown o Índice de Calidad de Agua General, se puede determinar utilizando una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm), para este estudio se utilizará 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.

Que se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

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

Donde:

$W_i$ = Peso 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.

$Sub_i$ = Subíndice del parámetro  $i$ .

Para terminar el valor del Índice de Calidad de Agua se utilizaron las series 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 4; que deberán ser sustituidos en la ecuación anterior.

Pesos de los diversos parámetros:

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

| i | Sub <sub>i</sub>          | W <sub>i</sub> |
|---|---------------------------|----------------|
| 1 | Coliformes Fecales        | 0.15           |
| 2 | pH                        | 0.12           |
| 3 | DBO <sub>5</sub>          | 0.1            |
| 4 | Nitratos                  | 0.1            |
| 5 | Fosfatos                  | 0.1            |
| 6 | Temperatura               | 0.1            |
| 7 | Tubidez                   | 0.08           |
| 8 | Sólidos disueltos Totales | 0.08           |
| 9 | Oxígeno Disuelto          | 0.17           |

*Fuente: SNET (1998).*

Pasos a seguir para calcular los Sub-índices de Calidad de Agua General:

- Coliformes Fecales: si son mayores de 100,000 bact/100 ml el Sub<sub>1</sub> es igual a 3; si el valor es menor a 100,000 Bact/100 ml, se busca el valor en (X) de la gráfica 1 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el Sub<sub>1</sub> de Coliformes Fecales, luego se procede a elevarlo al peso w<sub>1</sub>.
- pH: si es igual o menor de 2 el Sub<sub>2</sub> es igual a 2, si el valor es mayor o igual a 10 el Sub<sub>2</sub> es igual a 3. Si el valor del pH está entre 2 y 10 se busca el valor en (X) en gráfica 2 y se interpola en valor en el eje (Y), el valor encontrado en el Sub<sub>2</sub> de pH y se procede a elevarlo al peso w<sub>2</sub>.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): si es mayor de 30 mg/l el Sub<sub>3</sub> es igual a 2, si la DBO es menor de 30 mg/l se busca el valor en el eje de (X) en la gráfica 3 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub<sub>3</sub>) de DBO y se procede a elevarlo al peso w<sub>3</sub>.

- Nitratos: si el mayor de 100 mg/l el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en la gráfica 4, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub<sub>4</sub>) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .
- Fosfatos: si es mayor de 10 mg/l el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5, si el fosfatos es menor de 10mg/l se busca el valor en el eje de (X) en la gráfica 5, y se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub<sub>5</sub>) y se procede a elevarlo al peso  $w_5$ .
- Temperatura: para este parámetro se calcula primero la diferencia entre la  $T^{\circ}_{\text{ambiente}}$  y la  $T^{\circ}_{\text{muestra}}$  y con el valor obtenido se procede. Si el valor de la diferencia es mayor de 15° C el (Sub<sub>6</sub>) es igual a 9, si es menor de 15°C se busca el valor en el eje (X) y en la gráfica 6 y se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub<sub>6</sub>) de temperatura y se procede a elevarlo al peso  $w_6$ .
- Turbidez: si es mayor de 100 NTU el (Sub<sub>7</sub>) 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 gráfica 7, el valor encontrado es el (Sub<sub>7</sub>) de turbidez y se procede a llevarlo al peso  $w_7$ .
- Sólidos disueltos Totales: si son mayores de 500 mg/l el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se busca el valor en el eje de (X) en el gráfica 8, se interpola en el eje de la (Y), el valor encontrado es el (Sub<sub>8</sub>) 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 en el cuadro 6.

**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 % de saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) 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 gráfica 9, se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub<sub>9</sub>) de Oxígeno Disuelto y se procede elevarlo el peso w<sub>9</sub>.

Los valores obtenidos se incorporan a la siguiente tabla, para calcular el valor de Índice de Calidad de Agua para cada punto de control.

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

|                                         | Parámetros                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | W <sub>i</sub> | 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           |       |

Fuente: SNET (1998).

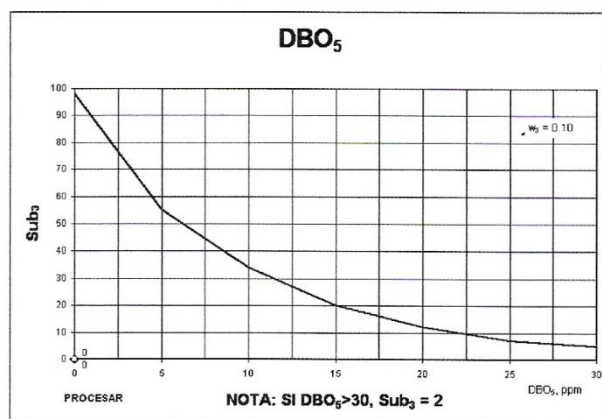
Después del cálculo del Índice de Calidad de Agua de tipo “General”, se clasificó la calidad del agua con base al siguiente cuadro:

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

| CALIDAD DEL AGUA | COLOR | VALOR    |
|------------------|-------|----------|
| Excelente        |       | 90 a 100 |
| Buena            |       | 70 a 90  |
| Regular          |       | 50 a 70  |
| Mala             |       | 25 a 50  |
| Pesíma           |       | 0 a 25   |

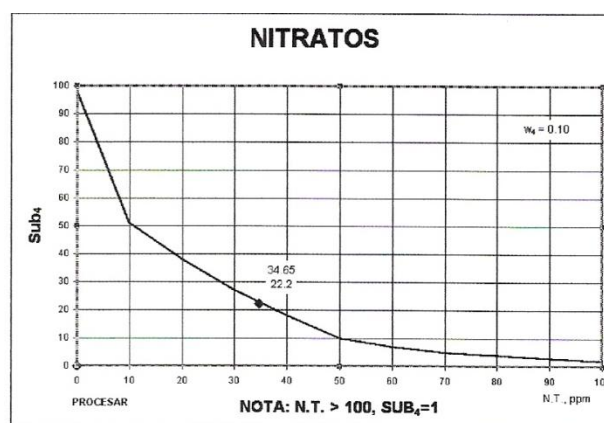
*Fuente: SNET (1998).*

**Figura 2. Valoración de la Calidad de Agua en Función de la DBO<sub>5</sub>.**



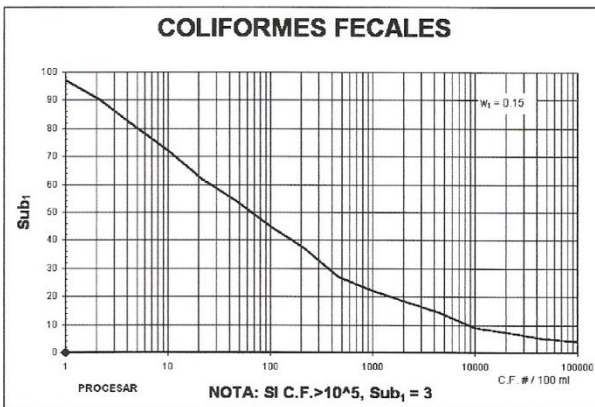
*Fuente: SNET (1998).*

**Figura 3. Valoración de la Calidad de Agua en Función del Nitrato.**



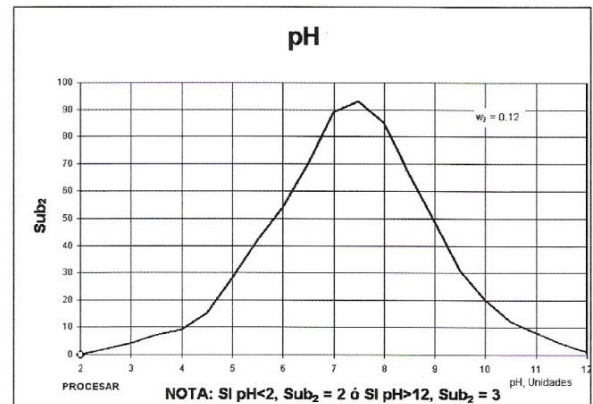
*Fuente: SNET (1998).*

**Figura 4. Valoración de la Calidad de Agua en Función de Coliformes Fecales.**



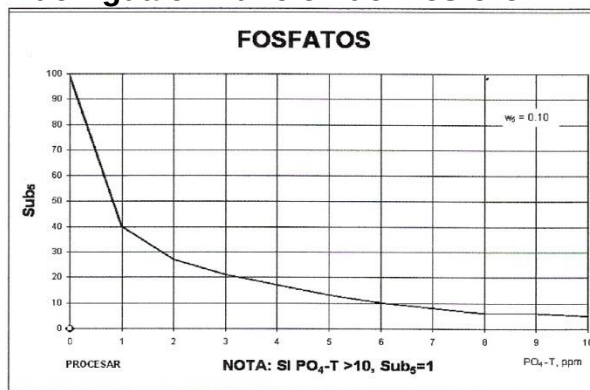
Fuente: SNET (1998).

**Figura 5. Valoración de la Calidad de Agua en Función de pH.**



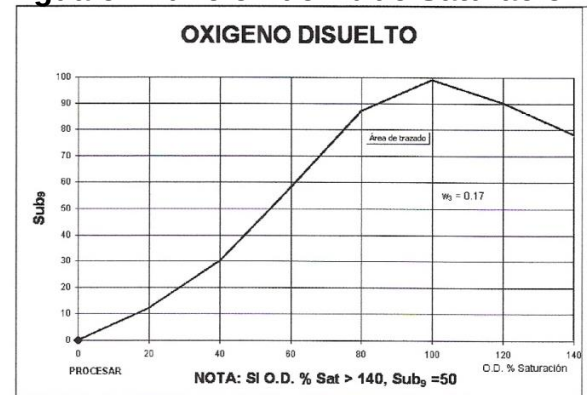
Fuente: SNET (1998).

**Figura 6. Valoración de la Calidad de Agua en Función del Fósforo.**



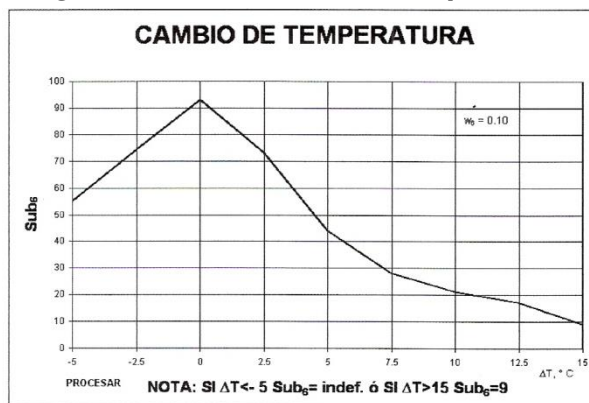
Fuente: SNET (1998).

**Figura 7. Valoración de la Calidad de Agua en Función del % de Saturación.**



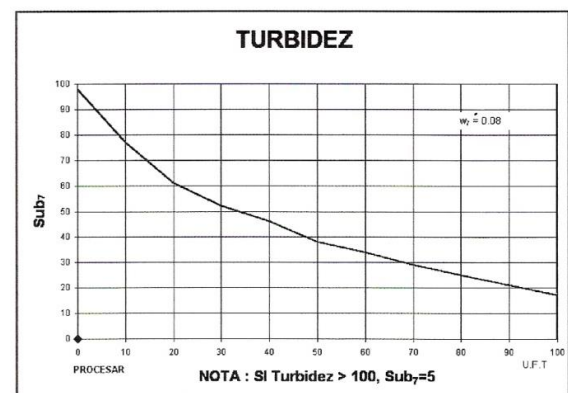
Fuente: SNET (1998).

**Figura 8. Valoración de la Calidad de Agua en Función de la Temperatura.**



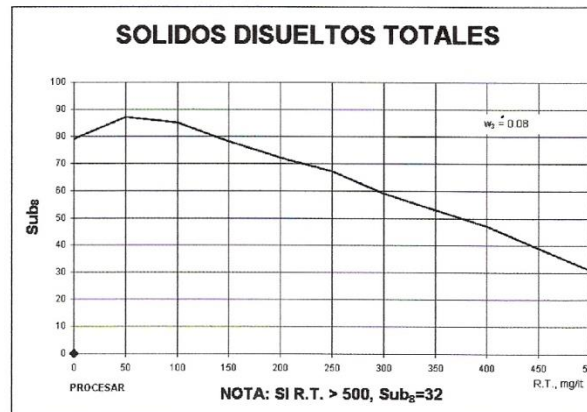
Fuente: SNET (1998).

**Figura 9. Valoración de la Calidad de Agua en Función de la Turbidez.**



Fuente: SNET (1998).

**Figura 10. Valoración de la Calidad de Agua en Función de Sólidos Disueltos Totales.**



*Fuente: SNET (1998).*

### **7.5. Periodo de control**

El período de toma de muestra en los puntos establecidos fue de 12 meses, realizando un total de 4 monitoreos, cada tres meses (Enero, Mayo, Septiembre, Enero).

### **7.6. Lineamientos de propuesta de manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Atulapa.**

Se plantearon lineamientos para el manejo del recurso hídrico de acuerdo a resultados del índice de calidad del agua, mediante la elaboración de un plan para la gestión del recurso hídrico en la microcuenca del río Atulapa.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Puntos de control en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa.

Se establecieron 25 puntos de control, en la red hidrológica de la microcuenca río Atulapa, ubicada en el municipio de Esquipulas, Chiquimula, conformada por las principales vertientes de agua: río el Volcán, quebrada el Porvenir, la Quebradona y Paxistal; Del cual al unirse la quebrada del Porvenir y el río Volcán, forman el río Atulapa, que son las fuentes de aguas más abundantes y provenientes de la parte alta del Área Protegida Trinacional Montecristo –APT- (bosques vírgenes). La Quebradona desemboca 1000 metros bajo la unión principal, proveniente también de la parte alta del APTM, pero está conformada por riachuelos que atraviesan los caseríos y beneficios de café, del cual se descargan aguas grises y mieles. La quebrada el Paxistal, desemboca 1000 metros después de la unión de la Quebradona, de la cual descargan aguas mieles y grises, antes de unirse al río Atulapa.

Para el análisis de la distribución de los puntos de control, se tomaron en cuenta, aquellos afluentes de agua que atraviesan caseríos, beneficios y fincas de café (con mantenimiento por medio de abonos y fungicidas químicos), empresas y centros turísticos que descargan sus aguas grises y mieles (con y sin tratamiento, para las aguas residuales). Los puntos de control se ubicaron 100 metros antes de desembocar al cauce principal y 100 metros después de la unión; en el cauce principal del río Atulapa se tomaron los puntos de control cada 1000 metros de distancia, esto con el objetivo de determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA), desde la parte alta de la microcuenca hasta la parte baja de la misma, por medio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se realizaron en el campo y laboratorio.

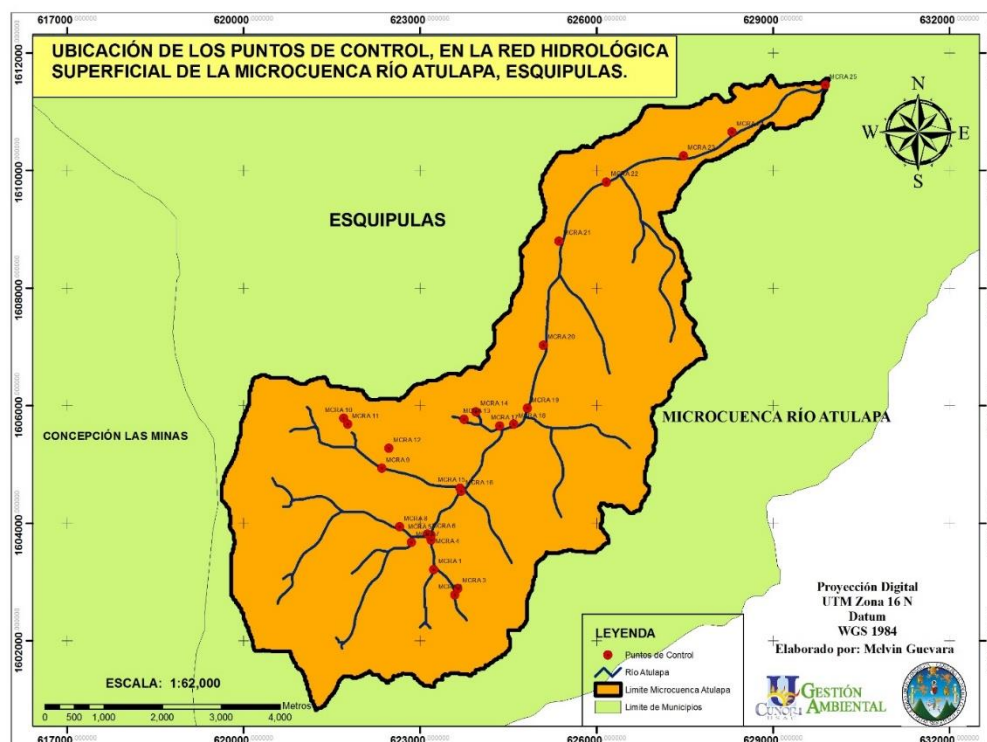
Los veinticinco puntos de control se georreferenciaron utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Ver cuadro 11.

**Cuadro 11. Coordenadas geográficas de los puntos de control, en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.**

| No. | ID      | Punto de Control                     | X      | Y       |
|-----|---------|--------------------------------------|--------|---------|
| 1   | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 245972 | 1603910 |
| 2   | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 246310 | 1603485 |
| 3   | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 246398 | 1603561 |
| 4   | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 245930 | 1604441 |
| 5   | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 245960 | 1604479 |
| 6   | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 245897 | 1604495 |
| 7   | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 245620 | 1604360 |
| 8   | MCRA 8  | Quebrada Volcán Arriba               | 245432 | 1604622 |
| 9   | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 245135 | 1605629 |
| 10  | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 244504 | 1606488 |
| 11  | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 244572 | 1606386 |
| 12  | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 245265 | 1605966 |
| 13  | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 246548 | 1606440 |
| 14  | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 246755 | 1606565 |
| 15  | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 246473 | 1605288 |
| 16  | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 246473 | 1605268 |
| 17  | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 247152 | 1606318 |
| 18  | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 247232 | 1606362 |
| 19  | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 247628 | 1606610 |
| 20  | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 247930 | 1607684 |
| 21  | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 248211 | 1609448 |
| 22  | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 249031 | 1610436 |
| 23  | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 252895 | 1612055 |
| 24  | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 628302 | 1610655 |
| 25  | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 252779 | 1612034 |

*Fuente: Elaboración propia 2014.*

**Figura 11. Ubicación de los puntos de control de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

## **8.2. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa.**

El estudio se realizó por un periodo de 12 meses, realizando monitoreos cada 3 meses (Enero, Mayo, Septiembre del 2013 y Enero de 2014), donde se analizaron 9 parámetros (pH, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos totales, turbidez, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, coliformes fecales, temperatura), tanto a nivel de campo y de laboratorio de Gestión Ambiental en el Centro Universitario de Oriente –CUNORI-. Los resultados obtenidos de cada uno de los monitoreos se presentan a continuación.

### **8.2.1. Potencial de hidrógeno**

El pH del agua determina los efectos tóxicos de sustancias, como hierro, aluminio, amoníaco, mercurio y otros elementos que son arrastrados por la escorrentía de áreas agrícolas, domésticas e industriales (beneficios de café). Siendo uno de los parámetros

de mayor importancia que determina la calidad del agua, dado a que permite establecer que tan ácida o básica es una solución, que va en un rango de 1 a 14.

En el cuadro 12, se muestran los resultados de pH para los 25 puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, en los cuatro monitoreos, así como el valor promedio; donde se puede observar que el pH del agua es alcalino porque los valores promedio son superiores a 7 unidades.

**Cuadro 12. Resultado del pH en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

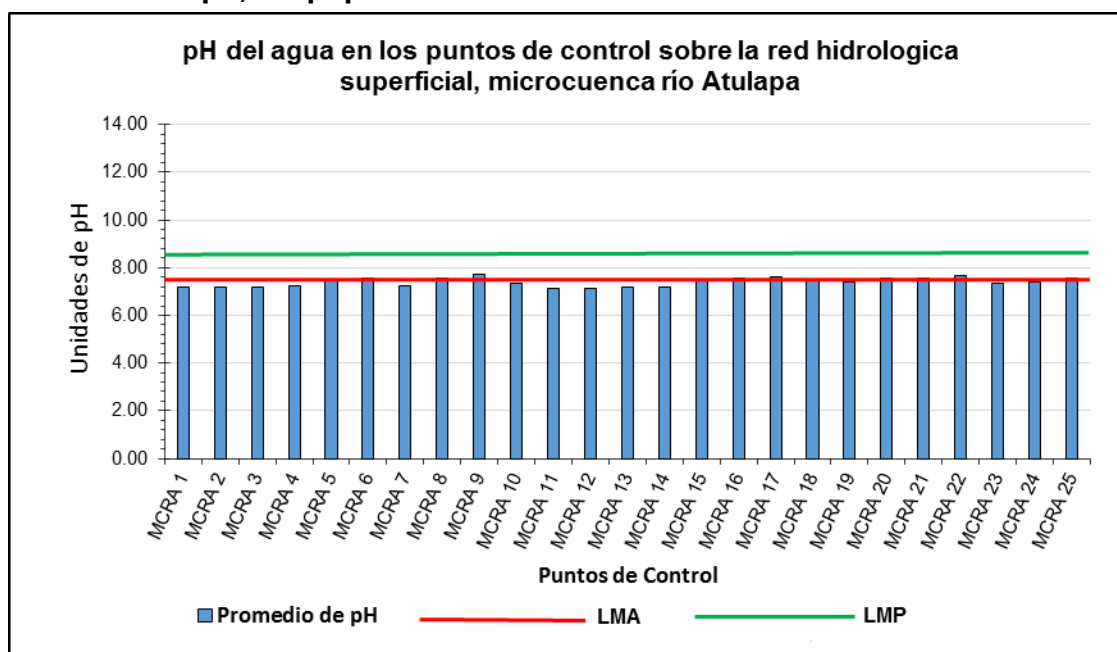
| Unidades de pH |           |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|----------------|-----------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.            | ID        | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1              | MCRA 1    | Quebrada Cruz de Piedra              | 7.27                 | 7.16                | 7.37                      | 7.02                 | 7.21     |
| 2              | MCRA 2    | Quebrada El Porvenir                 | 7.18                 | 7.19                | 7.30                      | 7.14                 | 7.20     |
| 3              | MCRA 3    | Quebrada de Don Fabio                | 7.02                 | 7.32                | 7.25                      | 7.07                 | 7.17     |
| 4              | MCRA 4    | Quebrada El Porvenir 2               | 7.32                 | 7.56                | 7.37                      | 6.76                 | 7.25     |
| 5              | MCRA 5    | Rio Atulapa 1                        | 7.62                 | 7.76                | 7.48                      | 7.14                 | 7.50     |
| 6              | MCRA 6    | Rio El Volcán                        | 7.48                 | 7.88                | 7.52                      | 7.25                 | 7.53     |
| 7              | MCRA 7    | Quebrada El Volcán 3                 | 6.88                 | 7.59                | 7.31                      | 7.08                 | 7.22     |
| 8              | MCRA 8    | Quebrada Volcan Arriba               | 7.60                 | 7.76                | 7.57                      | 7.27                 | 7.55     |
| 9              | MCRA 9    | Quebrada La Quebradona               | 7.66                 | 7.92                | 7.54                      | 7.80                 | 7.73     |
| 10             | MCRA 10   | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 7.42                 | 7.18                | 7.35                      | 7.35                 | 7.33     |
| 11             | MCRA 11   | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 7.02                 | 7.18                | 7.15                      | 7.15                 | 7.13     |
| 12             | MCRA 12   | Quebrada El Muro                     | 6.92                 | 7.28                | 7.28                      | 6.95                 | 7.11     |
| 13             | MCRA 13   | Quebrada La Cuestona                 | 7.29                 | 7.16                | 7.24                      | 7.01                 | 7.18     |
| 14             | MCRA 14   | Quebrada El Roble                    | 7.34                 | 7.22                | 7.13                      | 7.11                 | 7.20     |
| 15             | MCRA 15   | La Quebradona 2                      | 7.52                 | 7.64                | 7.64                      | 7.24                 | 7.51     |
| 16             | MCRA 16   | Rio Atulapa 2                        | 7.52                 | 7.69                | 7.69                      | 7.42                 | 7.58     |
| 17             | MCRA 17   | Quebrada El Roble 2                  | 7.83                 | 8.08                | 7.36                      | 7.28                 | 7.64     |
| 18             | MCRA 18   | Rio Atulapa 4                        | 7.57                 | 8.03                | 7.48                      | 7.01                 | 7.52     |
| 19             | MCRA 19   | Quebrada El Paxistal                 | 7.60                 | 7.65                | 7.18                      | 7.20                 | 7.41     |
| 20             | MCRA 20   | Rio Atulapa La Presa                 | 7.57                 | 7.94                | 7.47                      | 7.29                 | 7.57     |
| 21             | MCRA 21   | Rio Atulapa La Planta                | 7.67                 | 7.67                | 7.41                      | 7.40                 | 7.54     |
| 22             | MCRA 22   | Atulapa Beneficio La Planta          | 8.37                 | 7.85                | 7.31                      | 7.24                 | 7.69     |
| 23             | MCRA 23   | Parque Chatún                        | 7.41                 | 7.54                | 7.34                      | 7.13                 | 7.36     |
| 24             | MCRA 24   | Rio Atulapa 6                        | 7.54                 | 7.34                | 7.36                      | 7.28                 | 7.38     |
| 25             | MCRA 25   | Rio Atulapa Final                    | 8.40                 | 7.44                | 7.16                      | 7.32                 | 7.58     |
| LMA            | 7.0 - 7.5 |                                      | LMP                  | 6.5 - 8.5           |                           |                      |          |

Fuente: Elaboración propia 2014.

En la gráfica 1, se muestra los valores promedio del pH, de la corriente superficial del río Atulapa, donde el pH se encuentra en un límite máximo permisible, según COGUANOR, (6.5 a 8.5 unidades). El valor de pH más alto es de 7.73 en la quebrada La Quebradona

(MCRA 9), el cual es superior al límite máximo aceptable, pero inferior al límite máximo permisible; el valor más bajo es de 7.11 en la quebrada El Muro (MCRA 12). De acuerdo a los valores de pH el agua de las corriente superficial del río Atulapa se encuentra dentro de los rangos establecidos para la calidad del agua para consumo humano, pero es necesario analizar los otros parámetros para emitir recomendaciones.

**Gráfica 1. Resultados promedio de pH, en los puntos de control establecidos en los monitoreos de la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

### 8.2.2. Oxígeno disuelto

La presencia de oxígeno disuelto es fundamental para mantener la vida acuática y es un indicador del estado de septización, potencialidad para producir malos olores, calidad de las aguas, y estimación de actividad fotosintética. Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, si el nivel de oxígeno disuelto es bajo, indica contaminación con materia orgánica, septización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

La baja concentración de oxígeno disuelto puede estar relacionada a una alta carga orgánica provocada por aguas residuales. El oxígeno disuelto en el agua es de suma importancia porque mide la cantidad de oxígeno gaseoso contenido en una solución, el oxígeno entra en el agua por medio de la difusión del aire circulante a través de un movimiento rápido.

En el cuadro 13, se muestra los niveles de oxígeno disuelto en mg/l, de los 25 puntos de control para cada monitoreo en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa. Donde el río El Volcán (MCRA 6) es el que presenta mayor concentración de oxígeno disuelto con 10.84 mg/l, que es favorable para la toda clase de vida y especies acuáticas; esto indica que no hay mucha carga de contaminación por actividades antropogénicas y la pendiente del terreno provoca una mayor oxigenación del agua.

La quebrada El Roble (MCRA 14) contiene menor concentración de oxígeno disuelto en el agua con 6.83 mg/l, debido a las descargas de aguas residuales y mieles provenientes del beneficiado de café en la parte alta del afluente.

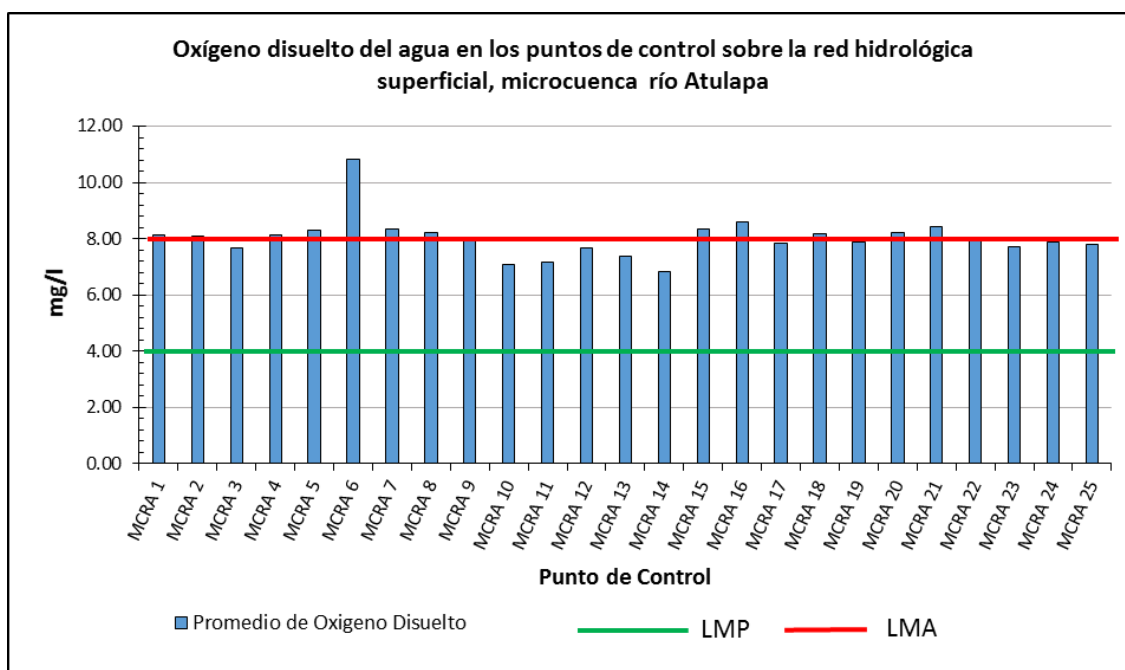
**Cuadro 13. Resultado de oxígeno disuelto en mg/l, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Oxígeno Disuelto en mg/l |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|--------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                      | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                        | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 8.27                 | 7.95                | 7.9                       | 8.37                 | 8.12     |
| 2                        | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 8.31                 | 7.62                | 8                         | 8.41                 | 8.09     |
| 3                        | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 8.02                 | 7.07                | 7.52                      | 8                    | 7.65     |
| 4                        | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 8.21                 | 7.85                | 7.97                      | 8.53                 | 8.14     |
| 5                        | MCRA 5  | Rio Atulapa 1                        | 8.34                 | 7.88                | 8.08                      | 8.83                 | 8.28     |
| 6                        | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 8.4                  | 17.9                | 8.13                      | 8.88                 | 10.83    |
| 7                        | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 8.35                 | 8.4                 | 8.06                      | 8.62                 | 8.36     |
| 8                        | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 8.35                 | 7.84                | 7.98                      | 8.72                 | 8.22     |
| 9                        | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 8.16                 | 7.76                | 7.82                      | 8.49                 | 8.06     |
| 10                       | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 7.55                 | 6.1                 | 7.52                      | 7.09                 | 7.07     |
| 11                       | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 7.4                  | 6.32                | 7.27                      | 7.63                 | 7.16     |
| 12                       | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 7.84                 | 7.67                | 7.24                      | 7.99                 | 7.69     |
| 13                       | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 7.81                 | 5.95                | 7.63                      | 8.1                  | 7.37     |
| 14                       | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 5.83                 | 6.9                 | 6.77                      | 7.83                 | 6.83     |
| 15                       | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 8.7                  | 7.86                | 8.2                       | 8.63                 | 8.35     |
| 16                       | MCRA 16 | Rio Atulapa 2                        | 8.84                 | 8.08                | 8.68                      | 8.76                 | 8.59     |
| 17                       | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 7.56                 | 7.97                | 7.63                      | 8.18                 | 7.84     |
| 18                       | MCRA 18 | Rio Atulapa 4                        | 8.3                  | 8.03                | 7.87                      | 8.42                 | 8.16     |
| 19                       | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 7.66                 | 7.51                | 8.1                       | 8.2                  | 7.87     |
| 20                       | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 8.46                 | 7.81                | 7.82                      | 8.83                 | 8.23     |
| 21                       | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 8.32                 | 8.55                | 8.08                      | 8.79                 | 8.44     |
| 22                       | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 8.18                 | 7.44                | 7.89                      | 8.64                 | 8.04     |
| 23                       | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 7.33                 | 7.46                | 7.58                      | 8.51                 | 7.72     |
| 24                       | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 8.56                 | 6.84                | 7.87                      | 8.2                  | 7.87     |
| 25                       | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 8.95                 | 6.95                | 7.14                      | 8.15                 | 7.80     |
| LMA                      | 8 mg/l  |                                      | LMP                  | 4 mg/l              |                           |                      |          |

Fuente: Elaboración propia 2014.

En la gráfica 2, se presenta los niveles promedio del oxígeno disuelto en mg/l, de los 25 puntos de control; donde se puede observar que en ninguno de los puntos monitoreados los niveles de oxígeno disuelto son inferiores al límite máximo permisible y la mayoría son cercanos al límite máximo aceptable o superiores, los bajos niveles de oxígeno disuelto en algunos puntos de control se debe principalmente a la contaminación por agua residuales especialmente agua mieles producto del beneficiado de café y aguas servidas de los hogares de las comunidades dentro de la microcuenca.

**Gráfica 2. Promedio de oxígeno disuelto en mg/l en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa.**



Fuente: Elaboración propia 2014.

### 8.2.3. Porcentaje de saturación

El valor máximo permisible de oxígeno disuelto en %SAT para el agua es de 80-100%. En el cuadro 14, se muestran los resultados promedios de los cuatro monitoreos realizados, donde la quebrada El Roble (MCRA 14), muestra un porcentaje de saturación de 86.50%, siendo el más bajo de los puntos monitoreados, pero no es inferior al límite máximo permisible –LMP-. La mayoría de los puntos de control presentan niveles de saturación de oxígeno superiores al 100%, donde el agua está sobre saturada de oxígeno debido a la geología y topografía del terreno.

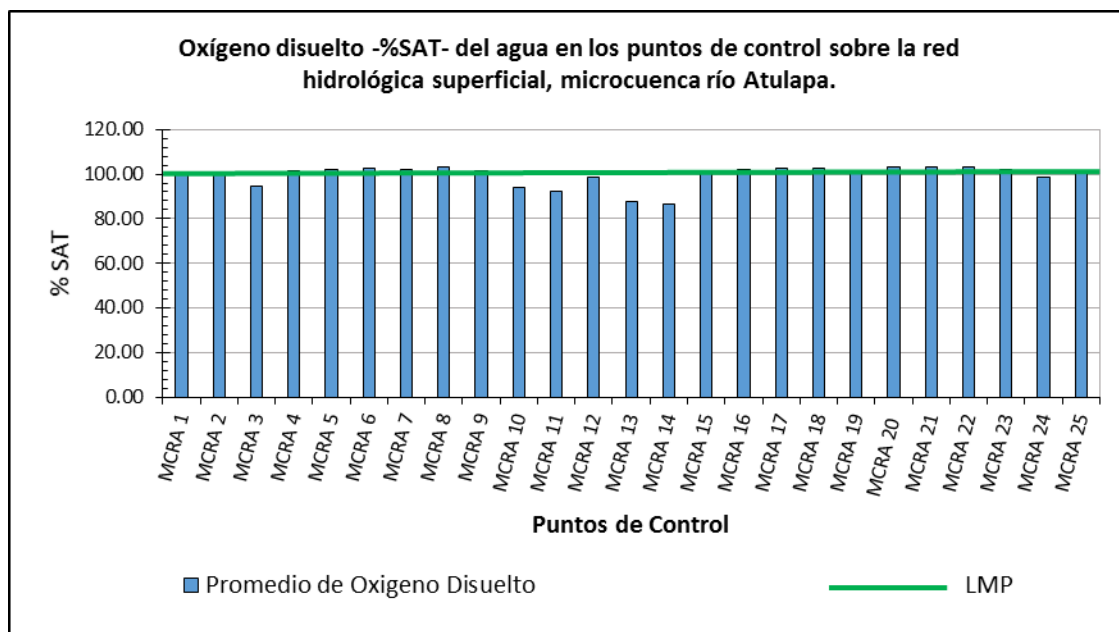
**Cuadro 14. Resultado del oxígeno disuelto en % de saturación en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Oxígeno Disuelto en % sat |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|---------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                       | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                         | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 96.70                | 101.75              | 100.60                    | 99.45                | 99.63    |
| 2                         | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 101.60               | 97.15               | 101.40                    | 98.45                | 99.65    |
| 3                         | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 97.60                | 88.60               | 97.25                     | 95.90                | 94.84    |
| 4                         | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 102.85               | 101.35              | 102.20                    | 100.30               | 101.68   |
| 5                         | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 103.30               | 101.45              | 102.60                    | 100.70               | 102.01   |
| 6                         | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 103.95               | 101.70              | 103.25                    | 101.20               | 102.53   |
| 7                         | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 102.15               | 104.15              | 102.30                    | 100.10               | 102.18   |
| 8                         | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 104.25               | 102.20              | 103.50                    | 102.06               | 103.00   |
| 9                         | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 102.25               | 101.50              | 102.10                    | 100.65               | 101.63   |
| 10                        | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 96.40                | 80.25               | 100.15                    | 100.15               | 94.24    |
| 11                        | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 93.25                | 82.30               | 96.40                     | 96.40                | 92.09    |
| 12                        | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 99.00                | 98.40               | 98.40                     | 98.75                | 98.64    |
| 13                        | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 98.95                | 77.86               | 77.86                     | 96.75                | 87.86    |
| 14                        | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 72.95                | 89.55               | 89.55                     | 93.95                | 86.50    |
| 15                        | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 102.75               | 100.30              | 100.30                    | 99.95                | 100.83   |
| 16                        | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 103.05               | 102.10              | 102.10                    | 100.50               | 101.94   |
| 17                        | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 99.10                | 108.10              | 101.80                    | 100.45               | 102.36   |
| 18                        | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 103.60               | 103.75              | 102.75                    | 101.20               | 102.83   |
| 19                        | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 100.10               | 102.00              | 102.01                    | 99.55                | 100.92   |
| 20                        | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 103.55               | 103.60              | 103.65                    | 101.55               | 103.09   |
| 21                        | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 104.55               | 104.55              | 102.55                    | 101.35               | 103.25   |
| 22                        | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 105.90               | 102.50              | 102.95                    | 101.70               | 103.26   |
| 23                        | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 101.50               | 102.50              | 102.20                    | 102.70               | 102.23   |
| 24                        | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 103.80               | 94.40               | 94.80                     | 101.50               | 98.63    |
| 25                        | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 109.45               | 95.40               | 95.40                     | 102.05               | 100.58   |
| <b>LMA</b>                |         |                                      | <b>LMP</b>           |                     | <b>80-100</b>             |                      |          |

*Fuente: Elaboración propia 2014.*

En la gráfica 3, se observa el comportamiento promedio del porcentaje de saturación en la red hidrológica superficial del río Atulapa, el cual el 36% de los puntos debido a la presencia de descargas residuales y aguas mieles los niveles de porcentaje de saturación se encuentran dentro del límite máximo permisible (80-100) que establece la normativa. El 64% de los puntos de monitoreo representan un agua sobresaturada, que sobrepasan el límite máximo permisible, pero no afecta la calidad del agua y vida acuática.

**Gráfica 3. Resultados promedio de oxígeno disuelto -%SAT- en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas, 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

#### 8.2.4. Turbidez

Con la turbidez podemos determinar la cantidad de partículas suspendidas en el agua, los sedimentos suspendidos y la materia orgánica presente, cuando más partículas contenga el agua se va a tornar de una tonalidad oscura, lo que indica un aspecto de mala calidad.

En el cuadro 15, se muestran los resultados de la turbidez para cada punto de control establecido en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa. Donde la quebrada Cruz de Piedra (MCRA 1) presento una turbidez promedio abajo del límite máximo aceptable (5NTU), de 0.77 NTU. El punto de control en la quebrada El Roble presento una turbidez superior al límite máximo aceptable con 8.37 NTU, pero inferior al límite máximo permisible.

**Cuadro 15. Resultado de turbidez en los puntos de control establecidos sobre la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

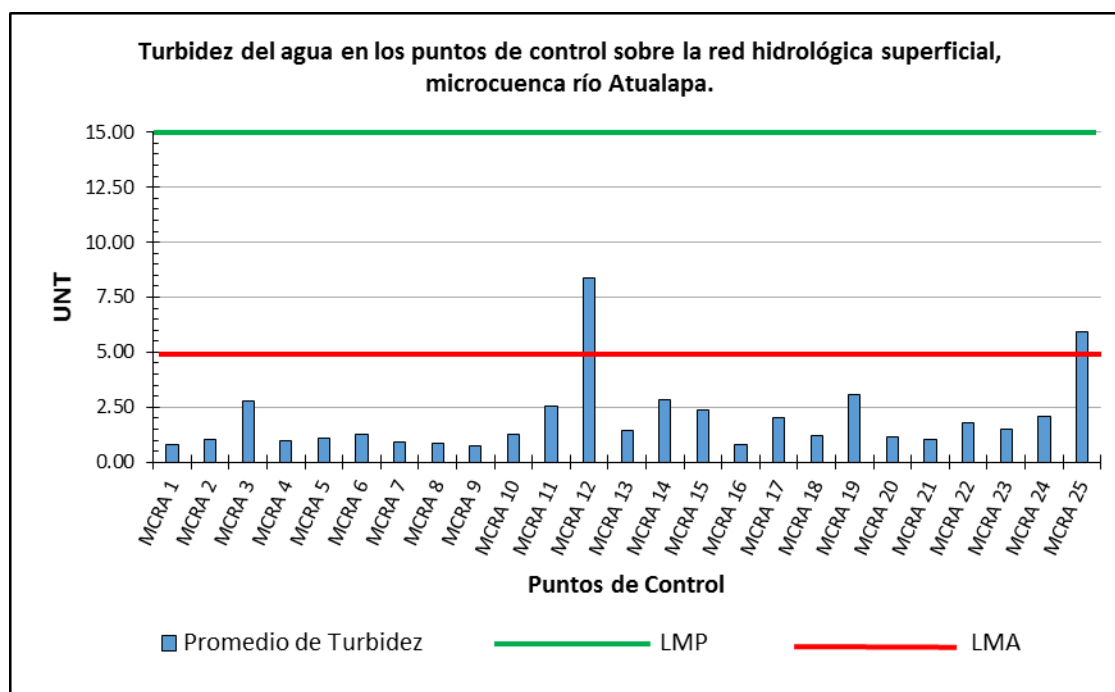
| Turbidez en UNT |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|-----------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.             | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1               | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 1.17                 | 1.71                | 0.10                      | 0.11                 | 0.77     |
| 2               | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 2.20                 | 1.91                | 0.07                      | 0.03                 | 1.05     |
| 3               | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 5.71                 | 4.90                | 0.17                      | 0.26                 | 2.76     |
| 4               | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 2.12                 | 1.65                | 0.06                      | 0.08                 | 0.98     |
| 5               | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 2.29                 | 1.91                | 0.07                      | 0.15                 | 1.11     |
| 6               | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 2.78                 | 2.07                | 0.07                      | 0.24                 | 1.29     |
| 7               | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 1.68                 | 1.78                | 0.04                      | 0.04                 | 0.89     |
| 8               | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 1.45                 | 1.73                | 0.11                      | 0.21                 | 0.88     |
| 9               | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 1.49                 | 1.02                | 0.13                      | 0.32                 | 0.74     |
| 10              | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 1.10                 | 2.37                | 0.44                      | 1.10                 | 1.25     |
| 11              | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 2.40                 | 5.03                | 0.40                      | 2.40                 | 2.56     |
| 12              | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 7.84                 | 25.30               | 0.17                      | 0.17                 | 8.37     |
| 13              | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 2.75                 | 1.80                | 0.68                      | 0.43                 | 1.42     |
| 14              | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 8.12                 | 2.70                | 0.26                      | 0.31                 | 2.85     |
| 15              | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 2.85                 | 2.90                | 1.86                      | 1.87                 | 2.37     |
| 16              | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 1.51                 | 1.37                | 0.14                      | 0.14                 | 0.79     |
| 17              | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 3.75                 | 3.90                | 0.27                      | 0.20                 | 2.03     |
| 18              | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 2.25                 | 2.10                | 0.19                      | 0.18                 | 1.18     |
| 19              | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 7.90                 | 3.60                | 0.16                      | 0.65                 | 3.08     |
| 20              | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 2.40                 | 1.90                | 0.23                      | 0.15                 | 1.17     |
| 21              | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 3.10                 | 0.25                | 0.25                      | 0.47                 | 1.02     |
| 22              | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 3.60                 | 3.30                | 0.25                      | 0.07                 | 1.80     |
| 23              | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 2.60                 | 3.10                | 0.29                      | 0.11                 | 1.53     |
| 24              | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 4.48                 | 3.40                | 0.31                      | 0.06                 | 2.06     |
| 25              | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 4.43                 | 19.00               | 0.31                      | 0.06                 | 5.95     |
| <b>LMA</b>      |         |                                      | <b>5.0 UNT</b>       |                     | <b>LMP</b>                |                      |          |
|                 |         |                                      |                      |                     | <b>15.0 UNT</b>           |                      |          |

*Fuente: Elaboración Propia 2014.*

En la gráfica 4, se aprecian los resultados promedio de la turbidez para cada punto de control donde se puede observar que en dos de los puntos el agua presenta niveles de turbidez superiores al límite máximo aceptable pero inferiores al límite máximo permisible, en el resto de puntos la turbidez es inferior al límite máximo aceptable, de acuerdo a la norma COGUANOR.

En los puntos donde la turbidez del agua es mayor se debe a la reducción de los caudales de agua en la época seca y a la presencia de partículas de suelos en la corriente superficial.

**Gráfica 4. Resultados promedio de turbidez, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

#### **8.2.5. Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

La DBO es la cantidad de oxígeno necesario que requieren las bacterias para estabilizar la materia orgánica, bajo condiciones aeróbicas en un intervalo de tiempo específico, normalmente dentro de 5 días y a 20 °C de temperatura, por estas condiciones se le denomina (DBO<sub>5</sub>).

En el cuadro 16, se muestran los resultados de la DBO<sub>5</sub>, en miligramos por litro (mg/l) para los puntos de control establecidos, donde el agua de la quebrada El Roble (MCRA 14) tiene en promedio una demanda biológica de oxígeno -DBO<sub>5</sub>- de 101.20 mg/l, esta se encuentra ubicada en la comunidad La Cuestona, donde existe un beneficio húmedo de café y que en la época de cosecha son descargadas agua mieles directamente en el afluente; también las descargas de las aguas residuales y grises provenientes de los caseríos afectan la calidad del agua constituyéndose en un foco de contaminación. El punto de río Atulapa beneficio la planta (MCRA 22), que se ubica en la comunidad de

Santa Rosalía, perteneciente a la parte baja de la microcuenca tiene una DBO<sub>5</sub> promedio de 28.46 mg/l, en donde el punto se ubica a 200 metros del beneficio húmedo de café la Planta y a 1km del turicentro La Planta, los cuales se brindan tratamientos a las agua residuales por lo tanto existe poca presencia de materia orgánica. En el beneficio La Planta, utilizan un proceso de tratamiento donde las agua mieles pasan por un proceso de fosas de sedimentación y el agua es utilizada para riego en pastos.

**Cuadro 16. Resultados de DBO<sub>5</sub>, en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| DBO <sub>5</sub> -mg/l- |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|-------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                     | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                       | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 99.40                | 10.24               | 7.23                      | 103.31               | 55.05    |
| 2                       | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 70.48                | 7.23                | 15.66                     | 115.96               | 52.33    |
| 3                       | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 61.45                | 1.20                | 25.30                     | 118.37               | 51.58    |
| 4                       | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 69.88                | 16.27               | 13.25                     | 66.27                | 41.42    |
| 5                       | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 74.70                | 9.64                | 7.83                      | 145.18               | 59.34    |
| 6                       | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 80.12                | 20.48               | 16.27                     | 117.47               | 58.58    |
| 7                       | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 94.58                | 10.24               | 9.64                      | 115.36               | 57.45    |
| 8                       | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 64.46                | 15.66               | 12.05                     | 119.58               | 52.94    |
| 9                       | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 71.08                | 15.06               | 36.14                     | 97.29                | 54.89    |
| 10                      | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 65.66                | 11.45               | 17.47                     | 67.15                | 40.43    |
| 11                      | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 89.16                | 14.46               | 19.88                     | 92.11                | 53.90    |
| 12                      | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 65.06                | 21.08               | 7.23                      | 75.30                | 42.17    |
| 13                      | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 71.08                | 27.11               | 14.46                     | 79.52                | 48.04    |
| 14                      | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 159.04               | 17.47               | 36.14                     | 192.17               | 101.20   |
| 15                      | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 80.12                | 21.08               | 19.38                     | 76.51                | 49.27    |
| 16                      | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 106.02               | 21.69               | 20.51                     | 45.78                | 48.50    |
| 17                      | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 101.81               | 22.89               | 19.88                     | 112.65               | 64.31    |
| 18                      | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 100.60               | 17.47               | 13.86                     | 196.39               | 82.08    |
| 19                      | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 82.53                | 20.48               | 19.28                     | 9.04                 | 32.83    |
| 20                      | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 41.57                | 9.04                | 20.48                     | 88.55                | 39.91    |
| 21                      | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 58.43                | 16.73               | 13.86                     | 62.65                | 37.92    |
| 22                      | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 36.14                | 12.65               | 15.66                     | 49.40                | 28.46    |
| 23                      | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 105.42               | 19.88               | 21.08                     | 85.54                | 57.98    |
| 24                      | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 63.86                | 23.49               | 28.31                     | 106.02               | 55.42    |
| 25                      | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 63.25                | 17.47               | 36.14                     | 86.14                | 50.75    |
| <b>LMA</b>              |         |                                      | <b>LMP</b>           |                     | <b>30 mg/l</b>            |                      |          |

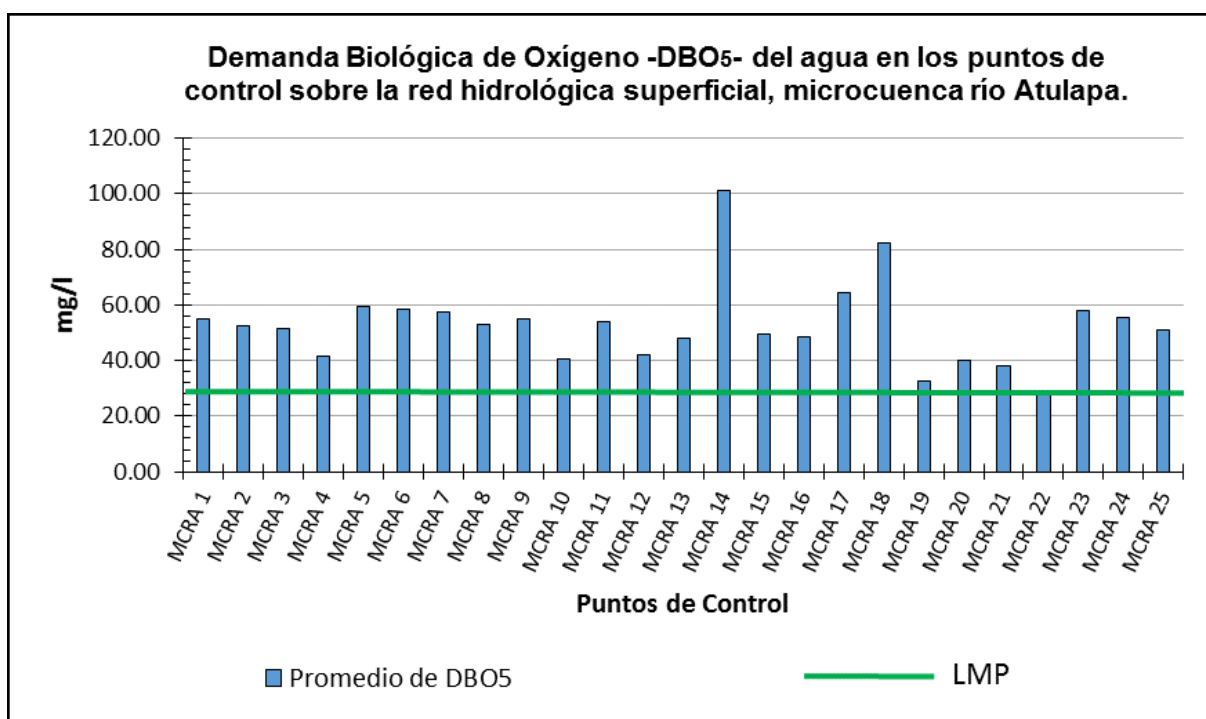
*Fuente: Elaboración propia 2014.*

En la gráfica 5, se observan los niveles promedio de la demanda biológica de oxígeno en el agua de los puntos de control, donde el agua de la quebrada Cruz de Piedra (MCRA 1) en parte alta de la cuenca tiene una DBO<sub>5</sub> de 55.05 mg/l y variando en forma irregular debido a los lugares que atraviesa el afluente. El punto con mayores niveles de DBO<sub>5</sub>

101.20 mg/l, el cual es superior al límite máximo permisible (30mg/l), debido a la contaminación provocada por agua mieles en la época de noviembre a marzo.

El agua de la mayoría de mayoría de los puntos de control presente niveles de DBO<sub>5</sub> superiores al límite máximo permisible (30 mg/l), debido a influencia de actividades antropogénicas que provocan la contaminación del agua de la corriente superficial del río Atulapa.

**Gráfica 5. Resultados promedio de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), en los puntos de control, establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas, 2014.**



Fuente: Elaboración propia 2014.

### 8.2.6. Coliformes fecales

La presencia de bacterias coliformes fecales indica que el agua podría estar contaminada por heces fecales humanas o de animales de sangre caliente, lo cual afecta de forma significativa la calidad del agua.

En el cuadro 17, se muestran los resultados de la presencia de coliformes fecales para cada uno de los puntos de control establecidos, donde se puede observar el agua de la totalidad de estos puntos tiene presencia de coliformes fecales con calores promedio de 25 NMP/100 ml de agua en la quebrada El Porvenir a 1860 NMP/100 ml de agua en la puntos establecido sobre el cauce principal en el parque Chatún.

**Cuadro 17. Resultado de la presencia de coliformes fecales en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Coliformes Fecales en NMP/100 ml |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|----------------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                              | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                                | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 460                  | 93                  | 210                       | 240                  | 251      |
| 2                                | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 11                   | 4                   | 43                        | 43                   | 25       |
| 3                                | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 1100                 | 93                  | 43                        | 23                   | 315      |
| 4                                | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 43                   | 23                  | 43                        | 75                   | 46       |
| 5                                | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 93                   | 93                  | 240                       | 460                  | 222      |
| 6                                | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 28                   | 93                  | 75                        | 4                    | 50       |
| 7                                | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 43                   | 43                  | 460                       | 9                    | 139      |
| 8                                | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 210                  | 9                   | 43                        | 9                    | 68       |
| 9                                | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 240                  | 43                  | 240                       | 43                   | 142      |
| 10                               | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 460                  | 4                   | 15                        | 15                   | 124      |
| 11                               | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 150                  | 93                  | 460                       | 460                  | 291      |
| 12                               | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 14                   | 43                  | 43                        | 43                   | 36       |
| 13                               | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 210                  | 40                  | 210                       | 2400                 | 715      |
| 14                               | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 2400                 | 1100                | 150                       | 93                   | 936      |
| 15                               | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 23                   | 43                  | 43                        | 43                   | 38       |
| 16                               | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 120                  | 20                  | 20                        | 9                    | 42       |
| 17                               | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 460                  | 28                  | 1100                      | 43                   | 408      |
| 18                               | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 93                   | 20                  | 2400                      | 150                  | 666      |
| 19                               | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 2400                 | 210                 | 150                       | 93                   | 713      |
| 20                               | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 93                   | 75                  | 1100                      | 93                   | 340      |
| 21                               | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 93                   | 93                  | 2400                      | 2400                 | 1247     |
| 22                               | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 240                  | 2400                | 1100                      | 2400                 | 1535     |
| 23                               | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 240                  | 2400                | 2400                      | 2400                 | 1860     |
| 24                               | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 240                  | 1100                | 1100                      | 1100                 | 885      |
| 25                               | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 4                    | 2400                | 93                        | 93                   | 648      |
| <b>LMA</b>                       |         |                                      | <b>LMP</b>           |                     | <b>0 (ausencia)</b>       |                      |          |

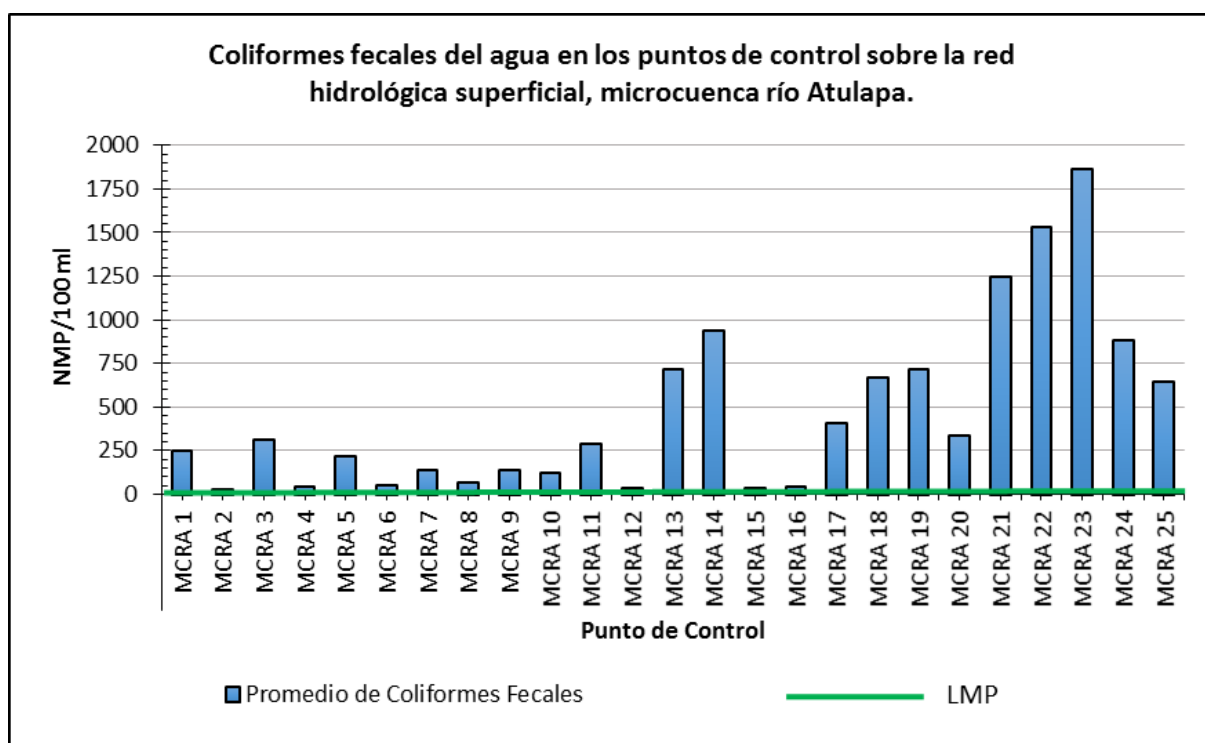
Fuente: Elaboración propia 2014.

En la gráfica 6, de acuerdo a los resultados existe presencia de coliformes fecales en todos los puntos de control de la red hidrológica superficial del río Atulapa, con concentraciones que van desde los 25 NMP/100 ml de agua hasta valores mayores a

2,400 NMP/100 ml de agua, estos valores son superiores al LMP establecido en la norma COGUANOR y la OMS para agua apta para el consumo humano (0 LMP).

Los puntos con mayor presencia de coliformes fecales en el agua se encuentran ubicados en la parte baja de la microcuenca, donde la actividad humana y actividades de industrias, turicentros y empresas privadas generan mayor contaminación, debido a las descargas de aguas negras y mieles que hacen al cauce principal del río. Las cuales son tratadas antes de ser descargadas, pero causando así una mayor presencia debido a la demanda de aguas negras y mieles generadas en cada uno de los establecimientos.

**Gráfica 6. Resultados promedio de coliformes fecales en NMP/100 ml, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



Fuente: Elaboración propia 2014.

### 8.2.7. Nitratos ( $\text{NO}_3$ )

Son elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, pero en cantidades excesivas provocan la eutrofización crecimiento desmesurado de las algas verdes

cianofíceas y se impide la oxigenación del agua. El nitrato es el final del ciclo del proceso de nitrificación y se forma como resultado de la actuación sobre el nitrato de bacterias aerobias. La red superficial de la microcuenca río Atulapa se encuentra en dentro una zona cafetalera y debido a ello la presencia de los nitratos en el cauce principal es evidente. La contaminación es producto de los fertilizantes aplicados a las fincas de café, que a través de la escorrentía e infiltración son arrastrados al cauce principal; el percolado de tanques sépticos, redes de alcantarillados y letrinas, son otras actividades las cuales son productos de la presencia de nitratos en el agua. En el cuadro 18, se muestra los resultados promedio de los puntos de control.

**Cuadro 18. Resultado de los niveles de Nitratos –NO<sub>3</sub>- en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

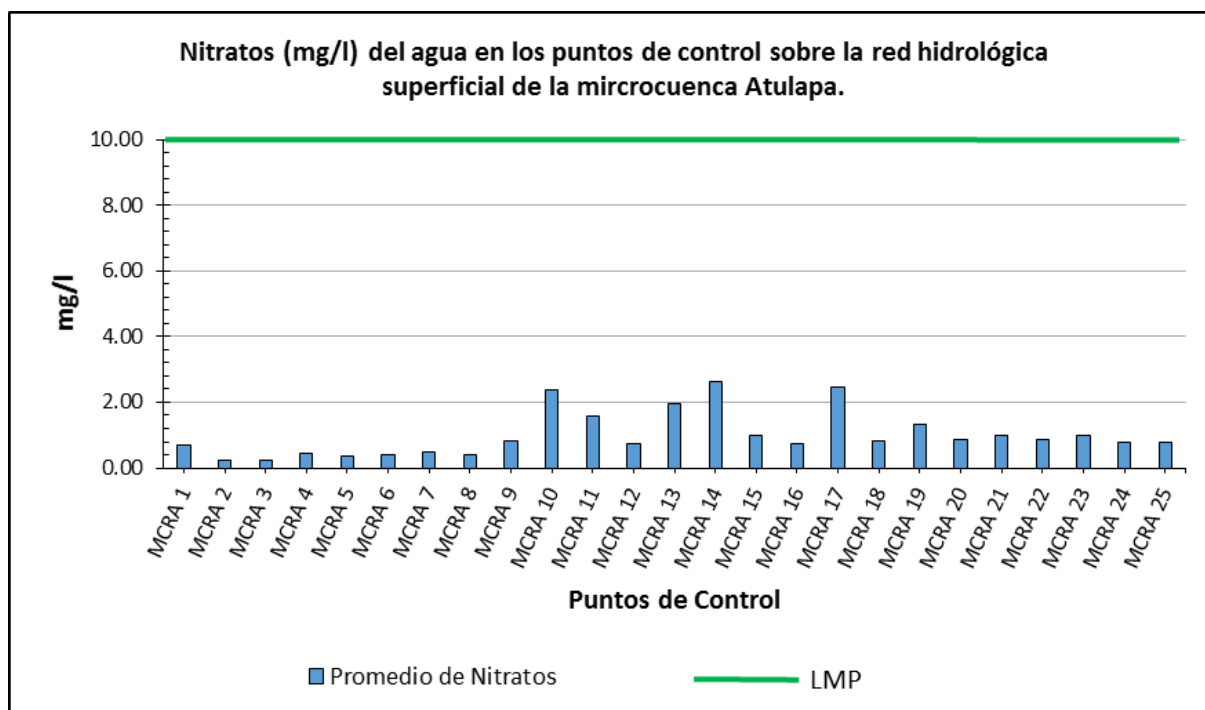
| Nitratos (NO <sub>3</sub> ) en mg/l |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                                 | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                                   | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 0.52                 | 0.14                | 1.01                      | 1.03                 | 0.67     |
| 2                                   | MCRA 2  | Quebrada El Povenir                  | 0.22                 | 0.11                | 0.28                      | 0.36                 | 0.24     |
| 3                                   | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 0.16                 | 0.32                | 0.22                      | 0.23                 | 0.23     |
| 4                                   | MCRA 4  | Quebrada El Povenir 2                | 0.52                 | 0.12                | 0.56                      | 0.58                 | 0.44     |
| 5                                   | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 0.52                 | 0.12                | 0.38                      | 0.47                 | 0.37     |
| 6                                   | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 0.63                 | 0.17                | 0.15                      | 0.67                 | 0.40     |
| 7                                   | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 0.52                 | 0.28                | 0.74                      | 0.42                 | 0.49     |
| 8                                   | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 0.46                 | 0.13                | 0.60                      | 0.41                 | 0.40     |
| 9                                   | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 0.97                 | 0.10                | 1.22                      | 0.92                 | 0.80     |
| 10                                  | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 0.80                 | 3.47                | 2.76                      | 2.52                 | 2.39     |
| 11                                  | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 0.73                 | 0.39                | 2.30                      | 2.84                 | 1.57     |
| 12                                  | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 0.47                 | 0.30                | 1.32                      | 0.88                 | 0.74     |
| 13                                  | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 1.10                 | 0.11                | 4.47                      | 2.10                 | 1.95     |
| 14                                  | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 0.46                 | 0.27                | 7.91                      | 1.94                 | 2.65     |
| 15                                  | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 0.89                 | 0.18                | 1.38                      | 1.50                 | 0.99     |
| 16                                  | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 0.40                 | 0.13                | 1.23                      | 1.18                 | 0.73     |
| 17                                  | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 0.51                 | 0.08                | 7.27                      | 2.01                 | 2.46     |
| 18                                  | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 0.67                 | 0.09                | 1.61                      | 0.93                 | 0.82     |
| 19                                  | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 0.58                 | 0.08                | 3.81                      | 0.84                 | 1.33     |
| 20                                  | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 0.12                 | 0.07                | 2.22                      | 1.08                 | 0.87     |
| 21                                  | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 0.12                 | 0.25                | 2.47                      | 1.04                 | 0.97     |
| 22                                  | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 0.11                 | 0.05                | 2.43                      | 0.88                 | 0.87     |
| 23                                  | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 0.99                 | 0.11                | 2.18                      | 0.74                 | 1.01     |
| 24                                  | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 0.23                 | 0.19                | 2.22                      | 0.40                 | 0.76     |
| 25                                  | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 0.14                 | 0.11                | 1.84                      | 0.98                 | 0.77     |
| LMA                                 |         |                                      | LMP                  |                     |                           |                      |          |
|                                     |         |                                      | 10 mg/l              |                     |                           |                      |          |

Fuente: Elaboración propia 2014.

Aunque los nitratos son un producto normal del metabolismo humano, el agua con altas concentraciones presenta un riesgo para la salud, especialmente en los niños. Si se bebe agua con elevadas concentraciones de nitratos la acción de determinados microorganismos en el estómago puede transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbido en la sangre convierte la hemoglobina en metahemoglobina; la cual se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. De los cuatro monitoreos realizados; el tercer monitoreo que fue realizado en el mes de Septiembre presenta una presencia elevada de nitratos en el agua, debido a la fertilización con fórmulas completas (15-15-15, 18-6-12, 20-20-0 entre otros) a plantaciones de café, la cuales contienen nitrógeno, fosforo, potasio y zinc, entre otros elementos, los cuales son arrastrados a través de la escorrentía a las vertientes de agua.

En la gráfica 7, se presentan los niveles promedio de nitratos  $\text{NO}_3^-$  en mg/l de los 25 puntos de control; donde se puede observar que el punto con más presencia de nitratos es quebrada El Roble (MCRA 14) con 2.65 mg/l, no sobrepasando al límite máximo permisible según la normativa. El punto quebrada el porvenir (MCRA 2) y quebrada Don Fabio (MCRA 3) tiene un valor de 0.24 mg/l y 0.23 mg/l, siendo los menos contaminados por procesos de fertilización debido a que en la parte alta de cada punto únicamente hay bosques. Aunque la normativa indique un límite máximo permisible en los nitratos, la menor presencia de nitratos en el agua para consumo humano puede causar efectos sobre la salud del ser humano.

**Gráfica 7. Resultados promedio de niveles de Nitratos –NO<sub>3</sub>–, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca Atulapa, Esquipulas, 2014.**



Fuente: Elaboración Propia 2014.

#### 8.2.8. Fosfatos (PO<sub>4</sub>)

Los compuestos de fósforo que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento; excreciones humanas y animales; y detergentes y productos de limpieza. La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización.

La presencia de fósforo y nitratos en el agua causa la “Eutrofización”, que es el enriquecimiento excesivo del agua en determinados nutrientes originando el crecimiento de las algas. El cual si hay un exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos, que al morir se pudren y contaminan las aguas, disminuyendo su calidad. Aunque la normativa indique un límite máximo permisible de 20mg/l, para consumo humano en los fosfatos, siempre la mínima presencia de esta en el agua causa

síntomas y daños para la salud humana, por la cual debe de ser purificada y tener 0 presencia fosforo en el agua.

En el cuadro 19, se muestran los niveles de fosfatos en el agua de los 25 puntos de control para cada monitoreo en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa. Donde el punto de la Quebradona 2 (MCRA 15) es el que presenta mayor concentración de fosfatos en el agua con un valor de 0.82 mg/l, sobrepasando el límite máximo permisible (0.25mg/l), debido a la cantidad de fertilizantes fosfatados utilizados en las fincas de café y descarga de aguas residuales de casas que se encuentran alrededor de la vertiente. El punto quebrada El Porvenir (MCRA 2) y quebrada El Volcán 3 (MCRA 7) con 0.12 mg/l, presentan menor concentración de fosfatos en el agua y que no sobrepasan el límite máximo permisible, según la Agencia de Protección Ambiental – EPA-.

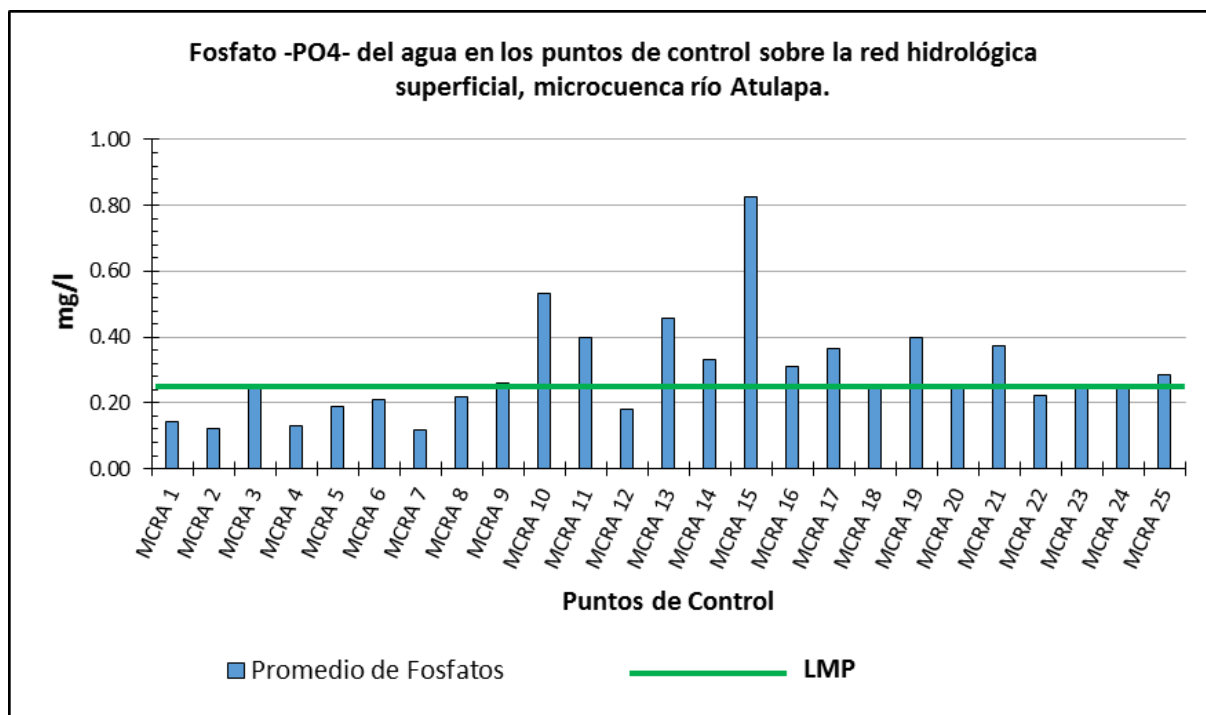
**Cuadro 19. Resultado de los niveles de fosfatos (PO<sub>4</sub>), en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Fosfatos en mg/l |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.              | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 0.33                 | 0.03                | 0.1042                    | 0.11                 | 0.14     |
| 2                | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 0.37                 | 0.02                | 0.0653                    | 0.03                 | 0.12     |
| 3                | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 0.49                 | 0.08                | 0.1667                    | 0.26                 | 0.25     |
| 4                | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 0.36                 | 0.02                | 0.06                      | 0.08                 | 0.13     |
| 5                | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 0.47                 | 0.04                | 0.07                      | 0.15                 | 0.19     |
| 6                | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 0.45                 | 0.09                | 0.07                      | 0.24                 | 0.21     |
| 7                | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 0.34                 | 0.04                | 0.04                      | 0.04                 | 0.12     |
| 8                | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 0.45                 | 0.09                | 0.11                      | 0.21                 | 0.22     |
| 9                | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 0.51                 | 0.07                | 0.13                      | 0.32                 | 0.26     |
| 10               | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 1.01                 | 0.24                | 0.44                      | 0.44                 | 0.53     |
| 11               | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 0.57                 | 0.22                | 0.40                      | 0.40                 | 0.40     |
| 12               | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 0.33                 | 0.11                | 0.11                      | 0.17                 | 0.18     |
| 13               | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 0.62                 | 0.09                | 0.68                      | 0.43                 | 0.46     |
| 14               | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 0.49                 | 0.28                | 0.26                      | 0.31                 | 0.33     |
| 15               | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 0.59                 | 0.24                | 0.59                      | 1.87                 | 0.82     |
| 16               | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 0.47                 | 0.16                | 0.47                      | 0.14                 | 0.31     |
| 17               | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 0.71                 | 0.29                | 0.27                      | 0.20                 | 0.37     |
| 18               | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 0.43                 | 0.21                | 0.19                      | 0.18                 | 0.25     |
| 19               | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 0.49                 | 0.28                | 0.16                      | 0.65                 | 0.40     |
| 20               | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 0.43                 | 0.21                | 0.23                      | 0.15                 | 0.25     |
| 21               | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 0.53                 | 0.25                | 0.25                      | 0.47                 | 0.38     |
| 22               | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 0.43                 | 0.16                | 0.25                      | 0.07                 | 0.22     |
| 23               | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 0.44                 | 0.14                | 0.29                      | 0.11                 | 0.25     |
| 24               | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 0.46                 | 0.18                | 0.31                      | 0.06                 | 0.25     |
| 25               | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 0.38                 | 0.38                | 0.31                      | 0.06                 | 0.28     |
| LMA              | -----   |                                      | LMP                  | 0.25 mg/l           |                           |                      |          |

Fuente: Elaboración propia 2014.

En la gráfica 8, se puede observar el comportamiento de las concentraciones de fosfato en donde inicialmente se encuentra con cantidades mínimas de presencia de fosforo en el agua, no sobrepasando los 0.25 mg/l, establecidos según –EPA-, siendo apta para consumo humano. Aumentando cada vez más debido al recorrido donde la actividad humana, agrícola e industrial en la parte media y baja de la microcuenca son más grandes y tienden a incrementar las descargas de agua residuales y negras; como también la utilización de fertilizantes químicos fosfatados en la fincas de café.

**Gráfica 8. Resultados promedio de los niveles de fosfatos (PO<sub>4</sub>), en los puntos de control establecidos en la red superficial hidrológica de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

### 8.2.9. Temperatura del agua

La temperatura es una medida de calor o energía térmica de sus partículas que pueden afectar la solubilidad del oxígeno contenido en el agua. Muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica.

La temperatura del agua de la red superficial de la microcuenca río Atulapa, no sobre pasa los 25°C, pues está situada en la parte del Área Protegida Trinacional Montecristo, con una cobertura forestal muy densa en la parte alta y teniendo un clima fresco. En el cuadro 20, se muestra el resultado promedio de la temperatura en los puntos de control, durante los 4 monitoreos realizados en la red superficial; teniendo así en el punto parque Chatún (MCRA 23), la temperatura más alta con 22.42 °C, localizado en la parte baja de la microcuenca a 100 metros de la descarga de agua del parque Chatún, que está en el

rango del límite máximo aceptable (15.0 °C -25.0 °C) según COGUANOR. El río Atulapa 2 (MCRA 16) con una temperatura de 16.96 °C, es el punto que tiene la temperatura más baja en el agua, y estando entre el rango del límite máximo aceptable de (15.0°C-25.0°C).

**Cuadro 20. Resultado de temperatura del agua en los puntos de control establecidos en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

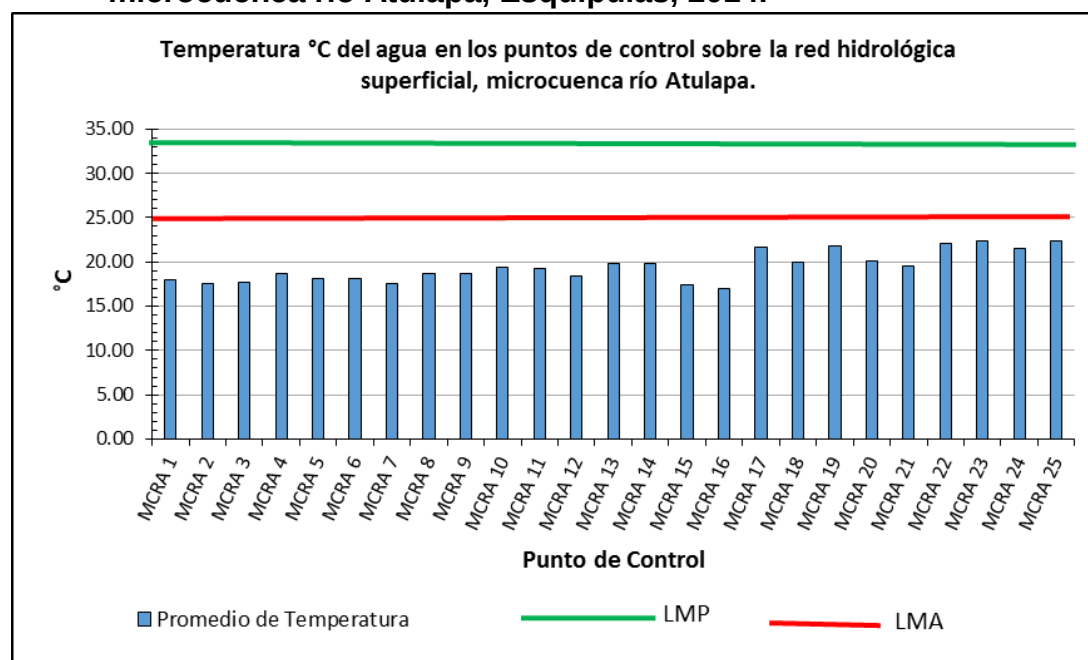
| Temperatura °C |                   |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|----------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.            | ID                | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1              | MCRA 1            | Quebrada Cruz de Piedra              | 17                   | 19.5                | 19.2                      | 16.2                 | 17.98    |
| 2              | MCRA 2            | Quebrada El Porvenir                 | 17.15                | 19.2                | 18.55                     | 15.45                | 17.59    |
| 3              | MCRA 3            | Quebrada de Don Fabio                | 16.8                 | 18.5                | 19.2                      | 16.35                | 17.71    |
| 4              | MCRA 4            | Quebrada El Porvenir 2               | 18.8                 | 20.25               | 19.7                      | 16                   | 18.69    |
| 5              | MCRA 5            | Rio Atulapa 1                        | 18.3                 | 20.06               | 19.3                      | 14.7                 | 18.09    |
| 6              | MCRA 6            | Rio El Volcán                        | 18.5                 | 20                  | 19.3                      | 14.5                 | 18.08    |
| 7              | MCRA 7            | Quebrada El Volcán 3                 | 17.1                 | 19.45               | 19.05                     | 14.7                 | 17.58    |
| 8              | MCRA 8            | Quebrada Volcan Arriba               | 18.75                | 20.25               | 20.15                     | 15.4                 | 18.64    |
| 9              | MCRA 9            | Quebrada La Quebradona               | 18.6                 | 20.45               | 20.2                      | 15.6                 | 18.71    |
| 10             | MCRA 10           | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 18.3                 | 19.75               | 20.4                      | 19.15                | 19.40    |
| 11             | MCRA 11           | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 17.6                 | 19.4                | 20.2                      | 19.6                 | 19.20    |
| 12             | MCRA 12           | Quebrada El Muro                     | 18.4                 | 19.15               | 18.45                     | 17.55                | 18.39    |
| 13             | MCRA 13           | Quebrada La Cuestona                 | 19.65                | 21.1                | 21.5                      | 17.05                | 19.83    |
| 14             | MCRA 14           | Quebrada El Roble                    | 19.25                | 21.1                | 21.7                      | 17.25                | 19.83    |
| 15             | MCRA 15           | La Quebradona 2                      | 16.1                 | 20.2                | 17.4                      | 15.9                 | 17.40    |
| 16             | MCRA 16           | Rio Atulapa 2                        | 15.9                 | 19.75               | 16.82                     | 15.35                | 16.96    |
| 17             | MCRA 17           | Quebrada El Roble 2                  | 21.95                | 23.8                | 22.4                      | 18.7                 | 21.71    |
| 18             | MCRA 18           | Rio Atulapa 4                        | 19.45                | 21.35               | 21.45                     | 17.6                 | 19.96    |
| 19             | MCRA 19           | Quebrada El Paxistal                 | 22                   | 23.9                | 21.85                     | 19.35                | 21.78    |
| 20             | MCRA 20           | Rio Atulapa La Presa                 | 19                   | 22.9                | 22.5                      | 16.2                 | 20.15    |
| 21             | MCRA 21           | Rio Atulapa La Planta                | 20.7                 | 20.3                | 20.55                     | 16.8                 | 19.59    |
| 22             | MCRA 22           | Atulapa Beneficio La Planta          | 22.45                | 25.5                | 22.5                      | 17.9                 | 22.09    |
| 23             | MCRA 23           | Parque Chatún                        | 22.1                 | 25.6                | 22.84                     | 19.15                | 22.42    |
| 24             | MCRA 24           | Rio Atulapa 6                        | 19.75                | 26.2                | 19.65                     | 20.55                | 21.54    |
| 25             | MCRA 25           | Rio Atulapa Final                    | 20.3                 | 25.7                | 22.41                     | 21.2                 | 22.40    |
| LMA            | 15.0 °C - 25.0 °C |                                      | LMP                  | 34.0 °C             |                           |                      |          |

*Fuente: Elaboración propia 2014.*

En la gráfica 9, se refleja el comportamiento de la temperatura del agua en los diferentes puntos de control, iniciando en el punto de quebrada Cruz de Piedra (MCRA 1) con una temperatura de 17.98 °C, localizado en la parte alta de la microcuenca, en el caserío Plan de la Arada, a 12 metros arriba de la carretera que conduce a la Granadilla; Y finalizando en la parte baja de la microcuenca con una temperatura de 22.40 °C perteneciente al

punto río Atulapa final (MCRA 25), localizado a 100 metros antes que desemboque en el río Chacalapa.

**Gráfica 9. Resultados promedio de temperatura del agua, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



Fuente: Elaboración propia 2014.

#### 8.2.10. Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos incrementan la salinidad, partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento de agua arrastra.

Una alta concentración de sólidos en el agua puede provocar diversos efectos, como por ejemplo, comunicar un sabor y olor desagradables al agua, aumentar la salinidad, provocar variaciones en la solubilidad del oxígeno en el medio y sirve como medio para el transporte de pesticidas, metales tóxicos y bacterias, además pueden tener el efecto de aumentar el grado de turbidez del agua, impidiendo que la luz penetre correctamente, dando lugar a una reducción de la tasa fotosintética, al crecimiento de las plantas y a la

reducción de la población de la peces y crustáceos. Las partículas de los sólidos disueltos pueden provenir de las aguas residuales, de la erosión natural y malas prácticas agrícolas y la construcción.

En el cuadro 21, se muestra el resultado de análisis a nivel de laboratorio para el parámetro de sólidos disueltos, en los puntos de control de cada monitoreo, teniendo en cuenta que el límite máximo aceptable es de 500mg/l y el límite máximo permisible es de 1000.0 mg/l para consumo humano según COGUANOR. El punto de la quebrada el volcán 3 (MCRA 7) con 16.71 mg/l contiene el mínimo de sólidos disueltos en el agua; y el punto de la quebrada el Roble (MCRA 14) tiene un valor de 61.07 mg/l que es el que contiene la mayor cantidad de sólidos disueltos en el agua; pero no sobrepasando el límite máximo aceptable y permisible.

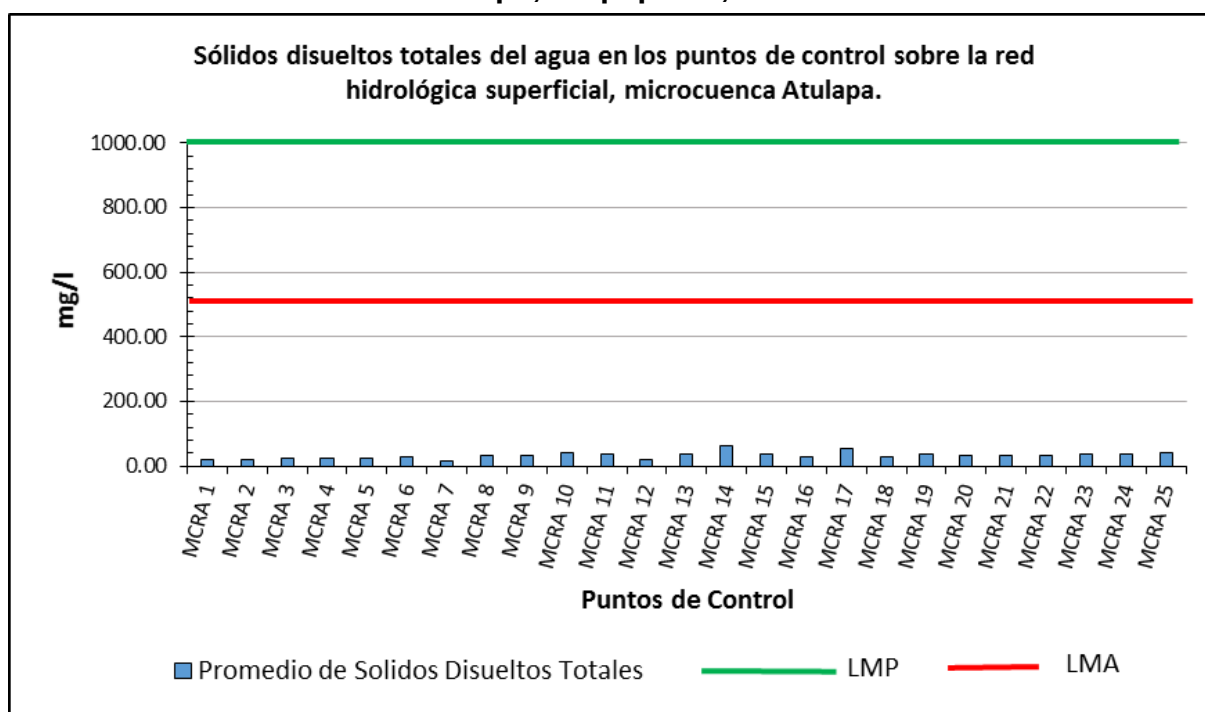
**Cuadro 21. Resultado de los niveles de sólidos disueltos en los puntos de control establecidos, en la red superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Sólidos Disueltos Totales en mg/l |             |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                               | ID          | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                                 | MCRA 1      | Quebrada Cruz de Piedra              | 22.53                | 20.67               | 23.74                     | 22.69                | 22.41    |
| 2                                 | MCRA 2      | Quebrada El Porvenir                 | 20.19                | 22.10               | 18.30                     | 19.46                | 20.01    |
| 3                                 | MCRA 3      | Quebrada de Don Fabio                | 22.62                | 22.91               | 21.95                     | 23.39                | 22.72    |
| 4                                 | MCRA 4      | Quebrada El Porvenir 2               | 22.14                | 21.73               | 23.39                     | 22.53                | 22.45    |
| 5                                 | MCRA 5      | Río Atulapa 1                        | 24.83                | 29.12               | 26.69                     | 24.19                | 26.21    |
| 6                                 | MCRA 6      | Río El Volcán                        | 25.34                | 30.98               | 28.03                     | 24.38                | 27.18    |
| 7                                 | MCRA 7      | Quebrada El Volcán 3                 | 15.74                | 18.40               | 17.70                     | 14.98                | 16.71    |
| 8                                 | MCRA 8      | Quebrada Volcan Arriba               | 29.09                | 35.84               | 32.99                     | 28.45                | 31.59    |
| 9                                 | MCRA 9      | Quebrada La Quebradona               | 31.74                | 42.21               | 33.18                     | 33.12                | 35.06    |
| 10                                | MCRA 10     | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 40.06                | 72.22               | 31.49                     | 31.49                | 43.82    |
| 11                                | MCRA 11     | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 34.69                | 46.05               | 32.93                     | 32.93                | 36.65    |
| 12                                | MCRA 12     | Quebrada El Muro                     | 18.21                | 18.94               | 18.94                     | 19.07                | 18.79    |
| 13                                | MCRA 13     | Quebrada La Cuestona                 | 33.97                | 44.22               | 36.61                     | 39.14                | 38.49    |
| 14                                | MCRA 14     | Quebrada El Roble                    | 93.02                | 52.61               | 48.42                     | 50.21                | 61.07    |
| 15                                | MCRA 15     | La Quebradona 2                      | 33.34                | 43.46               | 43.46                     | 32.54                | 38.20    |
| 16                                | MCRA 16     | Río Atulapa 2                        | 25.22                | 29.18               | 29.18                     | 25.02                | 27.15    |
| 17                                | MCRA 17     | Quebrada El Roble 2                  | 66.75                | 52.58               | 47.10                     | 47.68                | 53.53    |
| 18                                | MCRA 18     | Río Atulapa 4                        | 28.22                | 32.77               | 29.86                     | 28.06                | 29.73    |
| 19                                | MCRA 19     | Quebrada El Paxistal                 | 39.39                | 42.94               | 37.15                     | 33.47                | 38.24    |
| 20                                | MCRA 20     | Río Atulapa La Presa                 | 29.28                | 33.70               | 32.45                     | 28.80                | 31.06    |
| 21                                | MCRA 21     | Río Atulapa La Planta                | 30.85                | 30.85               | 33.02                     | 29.88                | 31.15    |
| 22                                | MCRA 22     | Atulapa Beneficio La Planta          | 31.20                | 38.56               | 33.66                     | 29.98                | 33.35    |
| 23                                | MCRA 23     | Parque Chatún                        | 28.86                | 44.96               | 44.96                     | 32.13                | 37.73    |
| 24                                | MCRA 24     | Río Atulapa 6                        | 34.24                | 45.18               | 45.18                     | 32.96                | 39.39    |
| 25                                | MCRA 25     | Río Atulapa Final                    | 34.37                | 49.76               | 49.76                     | 36.70                | 42.65    |
| LMA                               | 500.00 mg/l |                                      | LMP                  | 1000.00 mg/l        |                           |                      |          |

Fuente: Elaboración propia 2014.

En la gráfica 10, se muestran los resultados en promedio de los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, de los 4 monitoreos. Donde el punto con mayor promedio de sólidos disueltos es la quebrada El Roble (MCRA 14) con 61.07 mg/l promedio, localizado en el caserío de la Cuestona, a 5 metros bajo la carretera que conduce a la comunidad de Plan de la Arada.

**Gráfica 10. Resultados promedio de los niveles de sólidos disueltos, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

### 8.2.11. Temperatura ambiente

En el cuadro 22, se muestran los resultados por monitoreo de los puntos de control, para la temperatura ambiente en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, la temperatura más alta en los puntos de control es la de río Atulapa la Planta (MCRA 21) con un valor de 30.14°C y el punto donde la temperatura ambiente es menor es en el río Atulapa 2 (MCRA 16) con un valor de 21.01 °C promedio.

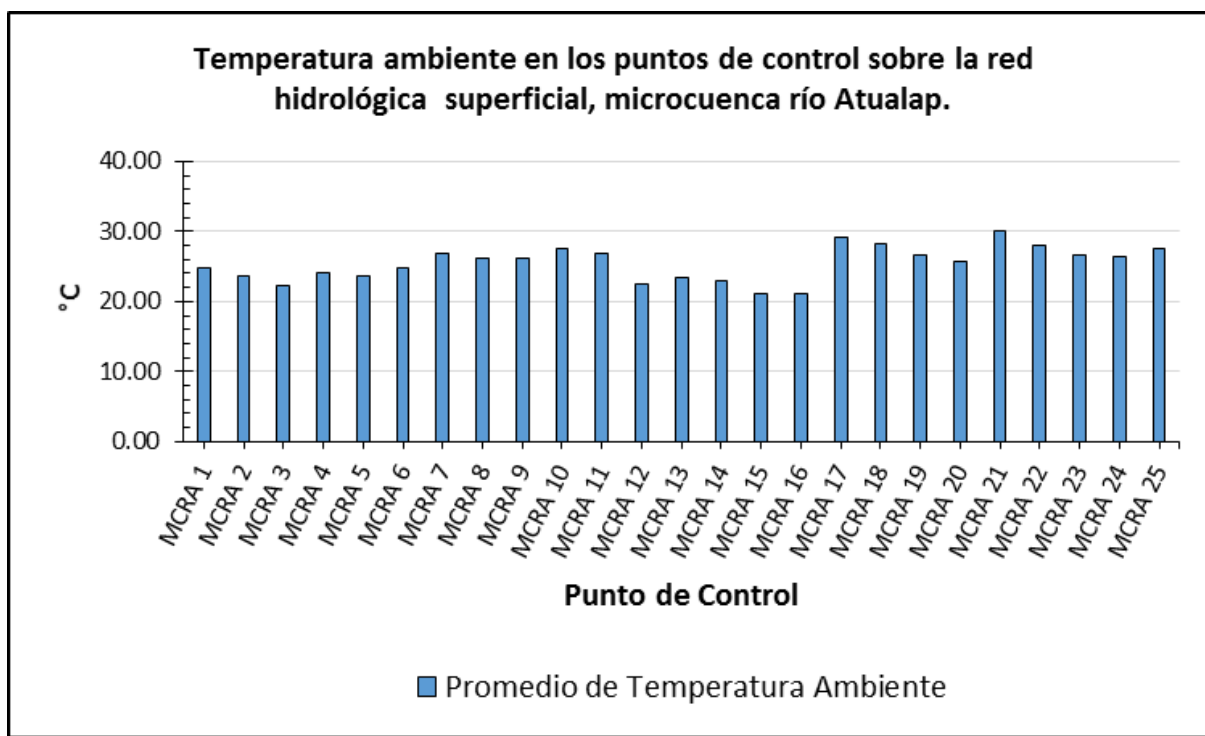
**Cuadro 22. Resultado de temperatura ambiente (°C) en los puntos de control establecidos, en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Temperatura Ambiente°C |         |                                      |                      |                     |                           |                      |          |
|------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| No.                    | ID      | Nombre                               | Monitoreo 1<br>Enero | Monitoreo 2<br>Mayo | Monitoreo 3<br>Septiembre | Monitoreo 4<br>Enero | Promedio |
| 1                      | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 23.7                 | 29.44               | 27.86                     | 18.26                | 24.82    |
| 2                      | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 23.07                | 28.66               | 24.9                      | 17.93                | 23.64    |
| 3                      | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 21.33                | 26.96               | 24.7                      | 16.45                | 22.36    |
| 4                      | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 23.81                | 26.3                | 29.24                     | 17.06                | 24.10    |
| 5                      | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 26.24                | 26.01               | 25.58                     | 16.97                | 23.70    |
| 6                      | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 25.83                | 27.08               | 28.31                     | 17.65                | 24.72    |
| 7                      | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 27.7                 | 28.25               | 29.32                     | 22.3                 | 26.89    |
| 8                      | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 26.87                | 28.22               | 27.09                     | 22.15                | 26.08    |
| 9                      | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 25.94                | 28.19               | 28.8                      | 21.32                | 26.06    |
| 10                     | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 25.44                | 27.31               | 30.06                     | 27.15                | 27.49    |
| 11                     | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 27.89                | 24.42               | 27.61                     | 27.36                | 26.82    |
| 12                     | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 22.08                | 24.39               | 22.74                     | 20.92                | 22.53    |
| 13                     | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 21.73                | 23.85               | 26.5                      | 21.21                | 23.32    |
| 14                     | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 21.28                | 23.2                | 26.51                     | 20.91                | 22.98    |
| 15                     | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 21.47                | 24.75               | 21.07                     | 17.18                | 21.12    |
| 16                     | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 20.14                | 23.57               | 22.78                     | 17.55                | 21.01    |
| 17                     | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 25.28                | 35.85               | 31.08                     | 23.99                | 29.05    |
| 18                     | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 29.98                | 28.71               | 29.11                     | 24.72                | 28.13    |
| 19                     | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 24.24                | 29.85               | 28.24                     | 23.89                | 26.56    |
| 20                     | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 23.45                | 29.57               | 29.75                     | 19.73                | 25.63    |
| 21                     | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 40.48                | 30.5                | 28.25                     | 21.34                | 30.14    |
| 22                     | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 31.4                 | 30.12               | 26.95                     | 23.88                | 28.09    |
| 23                     | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 24.1                 | 28.92               | 27.36                     | 26.22                | 26.65    |
| 24                     | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 25.6                 | 25.6                | 26.41                     | 28.02                | 26.41    |
| 25                     | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 26.16                | 27.07               | 27.2                      | 29.42                | 27.46    |
| <b>LMA</b> -----       |         |                                      | <b>LMP</b>           | -----               |                           |                      |          |

*Fuente: Elaboración propia 2014.*

En la gráfica 11, se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente promedio de los cuatros monitoreos, realizados en los puntos de control de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, contando con el punto de río Atulapa la Planta (MCRA 21) con 30.14°C, perteneciente a la parte baja de la microcuenca y el punto de río Atulapa 2 (MCRA 16) con 21.01°C, teniendo una temperatura ambiente promedio en toda la microcuenca Atulapa de 25.43°C.

**Gráfica 11. Resultados promedio de la temperatura ambiente en °C, en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

### **8.3. Índice de Calidad de Agua –ICA- de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa**

El Índice de Calidad de Agua –ICA- se estimó utilizando los valores de los nueve parámetros: Coliformes Fecales, pH, Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno Disuelto en % de Saturación; que se obtuvieron en cada uno de los cuatro monitoreos realizados.

En el siguiente cuadro, se presenta el índice de calidad del agua –ICA-, para cada una de las corrientes superficiales en los cuatro monitoreos realizados en los puntos de control sobre la red hidrológica de la microcuenca río Atulapa. De acuerdo a los resultados obtenidos la quebrada el porvenir (MCRA 2), presenta un mayor promedio del ICA con 82 y la quebrada la Cuestona (MCRA 13), presenta un menor promedio de ICA de (65).

**Cuadro 24. Índice de Calidad del Agua en los puntos de control establecidos en la red hidrográfica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.**

| Índice de Calidad de Agua General-ICA- |         |                                      |                           |                           |                                |                           |          |
|----------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------|
| No.                                    | Id      | Punto de Control                     | Primer Monitoreo<br>Enero | Segundo Monitoreo<br>Mayo | Tercer Monitoreo<br>Septiembre | Cuarto Monitoreo<br>Enero | Promedio |
| 1                                      | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 69                        | 77                        | 80                             | 72                        | 74       |
| 2                                      | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 76                        | 87                        | 90                             | 75                        | 82       |
| 3                                      | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 65                        | 84                        | 76                             | 75                        | 75       |
| 4                                      | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 74                        | 81                        | 81                             | 74                        | 77       |
| 5                                      | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 72                        | 81                        | 77                             | 72                        | 75       |
| 6                                      | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 76                        | 75                        | 87                             | 81                        | 80       |
| 7                                      | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 74                        | 81                        | 78                             | 80                        | 78       |
| 8                                      | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 71                        | 79                        | 88                             | 79                        | 79       |
| 9                                      | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 70                        | 79                        | 84                             | 75                        | 77       |
| 10                                     | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 65                        | 91                        | 79                             | 79                        | 79       |
| 11                                     | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 70                        | 75                        | 71                             | 71                        | 72       |
| 12                                     | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 75                        | 86                        | 86                             | 74                        | 81       |
| 13                                     | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 69                        | 75                        | 59                             | 57                        | 65       |
| 14                                     | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 61                        | 70                        | 70                             | 70                        | 68       |
| 15                                     | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 75                        | 77                        | 77                             | 68                        | 74       |
| 16                                     | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 71                        | 78                        | 78                             | 79                        | 77       |
| 17                                     | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 68                        | 77                        | 70                             | 74                        | 72       |
| 18                                     | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 72                        | 79                        | 71                             | 73                        | 74       |
| 19                                     | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 66                        | 74                        | 75                             | 75                        | 73       |
| 20                                     | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 74                        | 65                        | 68                             | 74                        | 70       |
| 21                                     | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 73                        | 73                        | 69                             | 68                        | 71       |
| 22                                     | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 68                        | 73                        | 67                             | 66                        | 69       |
| 23                                     | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 69                        | 72                        | 66                             | 70                        | 69       |
| 24                                     | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 71                        | 69                        | 63                             | 67                        | 67       |
| 25                                     | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 78                        | 66                        | 66                             | 75                        | 71       |

*Fuente: Elaboración propia 2014.*

El primer monitoreo que se realizó en la microcuenca del río Atulapa, para la determinación del Índice de Calidad de Agua, presentó en el punto de control nominada quebrada el Roble (MCRA 14) un menor Índice de Calidad, el cual se encuentra situado a 5 metros debajo de la carretera que conduce hacia la comunidad de la Cuestona y que pasa por las inmediaciones de los caseríos de la comunidad del Limón, es por ello que al recibir las descargas de aguas grises y mieles presenta un índice de calidad regular,

siendo este el más bajo del primer monitoreo. Sin embargo en el río Atulapa fina (MCRA 25), que se encuentra a 100 metros de la desembocadura del río Atulapa, el Índice de Calidad de Agua se incrementa y mejora la calidad, producto del recorrido de está por el cauce del río donde se oxigena, las coliformes fecales disminuyen su concentración por la exposición al sol y demanda biológica de oxígeno y la turbidez disminuyen, lo que refleja un mejor Índice de Calidad de Agua –ICA-. Gráfica 13.

El segundo monitoreo, (Marzo), realizado en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, el punto de control que presento un menor índice de Calidad de Agua fue río Atulapa la presa (MCRA 20), que se encuentra ubicado a 5 metros arriba de la presa el Limón; y siendo uno de los afectados por la escorrentía con fertilizantes químicos que baja de las fincas cercanas y caen al caudal del río. El punto de control, quebrada Beneficio Edgar Garza (MCRA 10) que presento un mayor índice de calidad en el agua, ubicado 100 metros arriba del beneficio en la comunidad del portezuelo; presenta un mayor índice de calidad debido a que a 300 metros nace el afluente y no se encontraba actividad humana-agrícola en las fincas cercanas al afluente. Gráfica 14.

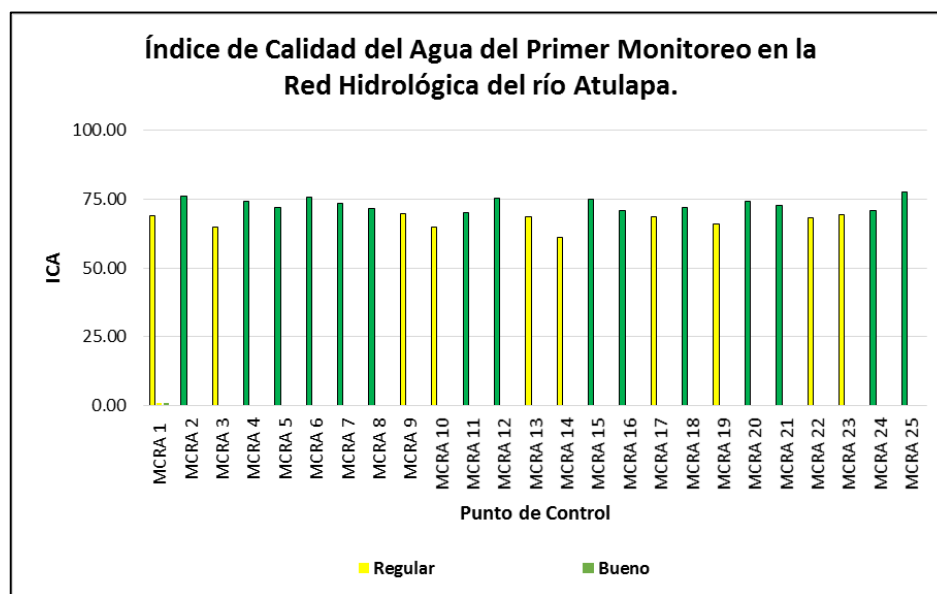
El tercer monitoreo realizado en el mes de septiembre, el punto de control que pertenece a quebrada la Cuestona (MCRA 13), que se encuentra localizada a 10 metros debajo de la carretera que conduce a la comunidad de la Cuestona, tiene un menor índice de calidad de agua, debido a la descarga de pulpa de café que hacen sin tratamiento y son depositadas a la orilla de la carretera, para luego ser ocupada como abono orgánico para las plantaciones de café, afectando así la calidad del agua que pasa por ese punto. Mientras que el punto de control quebrada el Porvenir (MCRA 2), localizado en la parte alta, en la comunidad de Plan de la Arada, ubicado a 20 metros de carretera y pasando por una zona boscosa y finca de café, el cual posee un alto índice de calidad de agua, debido a que es una zona de recarga hídrica, que en la época del mes de Septiembre, es cuando tiende a subir más el caudal por las fuerte lluvias. Gráfica 15.

La tendencia en el cuarto monitoreo no fue muy variada debido a que el punto de control de la quebrada la Cuestona (MCRA 13) presenta el menor Índice de Calidad de Agua,

esto por la temporada de café, en la cual las descargas de aguas mieles es más común en los riachuelos que bajan por las fincas de café. La microcuenca del río Atulapa se caracteriza por ser una zona fuerte para la producción de café, es por ello que uno de los mayores contaminantes en el agua son las descargas de aguas mieles, que en algunos casos estas descargas producen vertientes pequeñas de agua, pero sin ser tratadas que a cierto punto llegan a unirse con el cauce principal del río Atulapa.

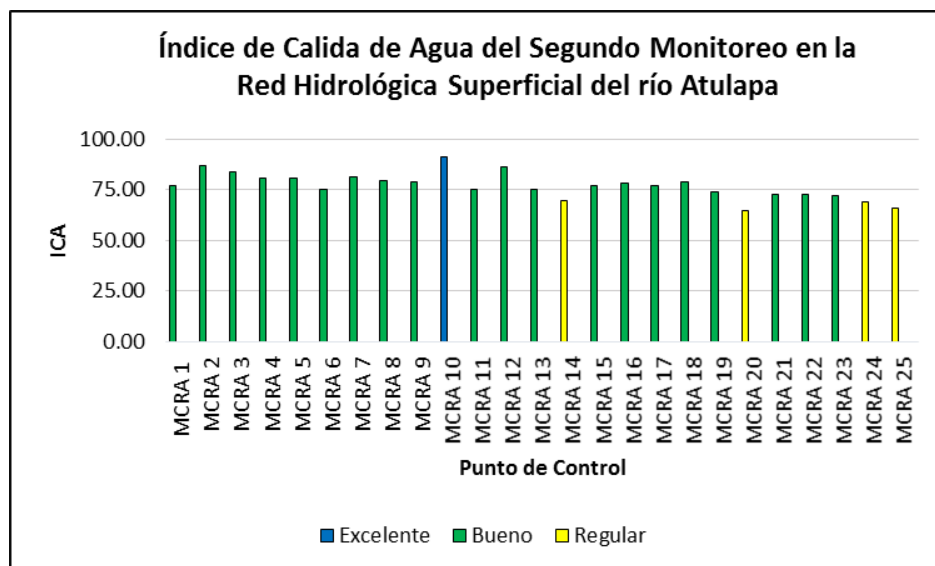
El punto de control río el Volcán (MCRA 6), que está ubicado a 60 metros antes de unirse a la red hidrológica del río Atulapa, se encuentra con un buen índice de calidad de agua, debido a que por estas fechas el caudal del río tiende a crecer y el agua obtiene una muy buena oxigenación; además de venir de zonas de boscosas, y pasando por una pequeña área de fincas de café. Gráfica 16.

**Gráfica 13. Índice de Calidad del Agua del primer monitoreo (Enero de 2013), en la red hidrológica del río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



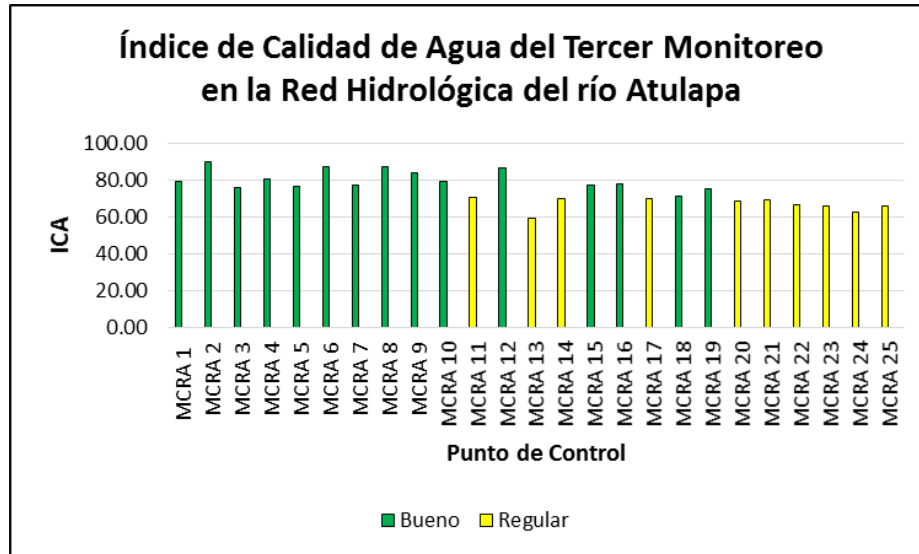
Fuente: Elaboración propia 2014.

**Gráfica 14. Índice de Calidad de Agua del segundo monitoreo (Mayo de 2013), en la red hidrológica del río Atulpa, Esquipulas, 2014.**



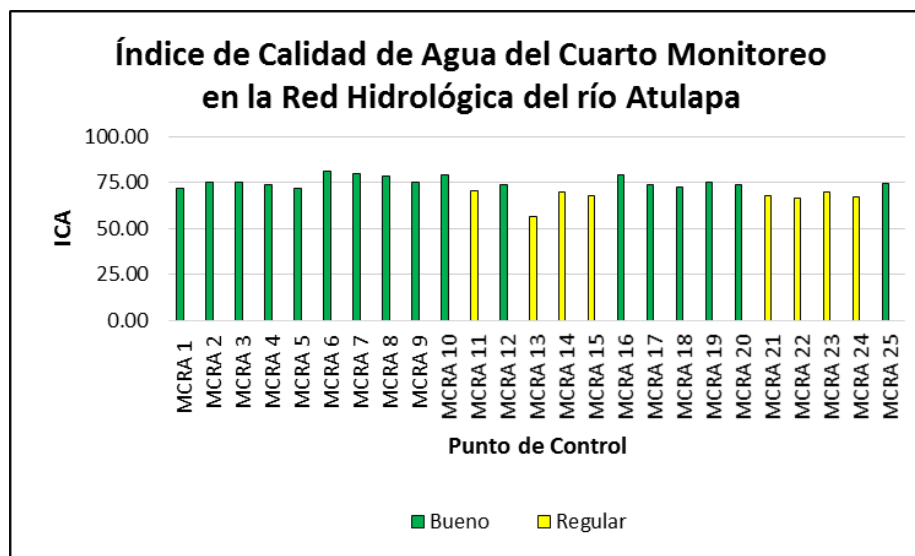
Fuente: Elaboración propia 2014.

**Gráfica 15. Índice de Calidad de Agua del tercer monitoreo (Septiembre de 2013), en la red hidrológica superficial del río Atulapa, 2014.**



Fuente: Elaboración propia 2014.

**Gráfica 16. Índice de Calidad de Agua el cuarto monitoreo (Enero de 2014), en la red hidrológica del río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



*Fuente: Elaboración propia 2014.*

#### **8.4. Calidad de agua de la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula**

Con los resultados promedio del Índice de Calidad de Agua –ICA– en cada punto de control de los 4 monitoreos realizados en la red hidrológica superficial del río Atulapa, inicialmente se determinó la calidad de agua con base a la clasificación según la propuesta por Brown (1970) que se presenta en el cuadro 25. De acuerdo a la calidad del agua se dividen en 5 escalas; Excelente, Buena, Regular, Mala y Pésima.

**Cuadro 25. Calidad de Agua General en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

| Índice de Calidad de Agua General-ICA- |         |                                      |                           |                           |                                |                           |         |
|----------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|
| No.                                    | Id      | Punto de Control                     | Primer Monitoreo<br>Enero | Segundo Monitoreo<br>Mayo | Tercer Monitoreo<br>Septiembre | Cuarto Monitoreo<br>Enero | ICA     |
| 1                                      | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | Regular                   | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 2                                      | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 3                                      | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | Regular                   | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 4                                      | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 5                                      | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 6                                      | MCRA 6  | Río El Volcán                        | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 7                                      | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 8                                      | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 9                                      | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | Regular                   | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 10                                     | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | Regular                   | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 11                                     | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | Regular                   | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 12                                     | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 13                                     | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | Regular                   | Buena                     | Regular                        | Regular                   | Regular |
| 14                                     | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | Regular                   | Regular                   | Regular                        | Regular                   | Regular |
| 15                                     | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Regular                   | Bueno   |
| 16                                     | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 17                                     | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | Regular                   | Buena                     | Regular                        | Buena                     | Bueno   |
| 18                                     | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | Buena                     | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 19                                     | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | Regular                   | Buena                     | Buena                          | Buena                     | Bueno   |
| 20                                     | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | Buena                     | Regular                   | Regular                        | Buena                     | Bueno   |
| 21                                     | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | Buena                     | Buena                     | Regular                        | Regular                   | Bueno   |
| 22                                     | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | Regular                   | Buena                     | Regular                        | Regular                   | Regular |
| 23                                     | MCRA 23 | Parque Chatún                        | Regular                   | Buena                     | Regular                        | Regular                   | Regular |
| 24                                     | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | Buena                     | Regular                   | Regular                        | Regular                   | Regular |
| 25                                     | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | Buena                     | Regular                   | Regular                        | Buena                     | Bueno   |

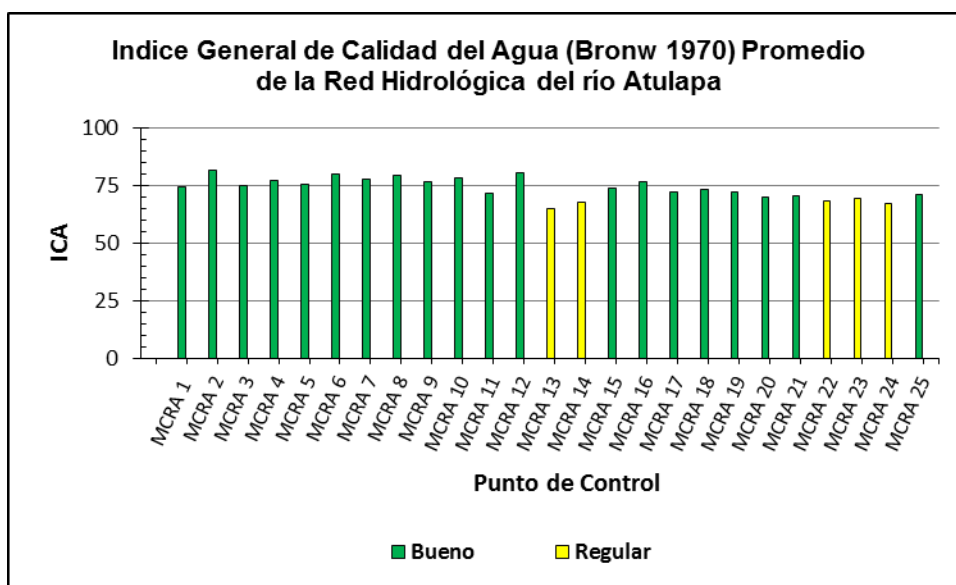
*Fuente: Elaboración propia 2014.*

En el cuadro 25, se encuentra la calidad del agua y el índice de calidad del agua -ICA-, para cada una de los puntos de control en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa y el promedio estimado a partir de los valores obtenidos en cada monitoreos. De acuerdo al ICA según Brown 1970 y el resultado de los análisis realizados el 80% (20) de los puntos de control que están dentro de la microcuenca se encuentran con una

calidad “Buena”, estando entre el rango de 71 a 82 de calidad. El 20% (5) de los puntos de control se encuentran con una calidad “Regular”, estando dentro de un rango del 65 a 69 de calidad. El punto de la quebrada la Cuestona (MCRA 13), que se encuentra dentro del 20% de los puntos de control con una calidad de agua “Regular” presentando índice de calidad de agua con valores de 65, el cual representa al más bajo de calidad en toda la microcuenca. Quebrada el Roble (MCRA 14) es el punto el cual en los cuatro monitoreo tiene una calidad “Regular”, presentando un índice de calidad en el agua con valor de 68, debido a que este punto se descargan aguas residuales provenientes de los caseríos que lo rodean. Los tres puntos que conforman el 20% de los puntos de control con un índice de calidad en el agua “Regular” son: río Atulapa beneficio la planta, parque Chatún y río Atulapa 6, con un rango de valor de calidad de 67-69.

En la gráfica 17, se presenta el comportamiento del Índice de Calidad de Agua –ICA- según Bronw -1970-, de la red hidrológica superficial microcuenca río Atulapa.

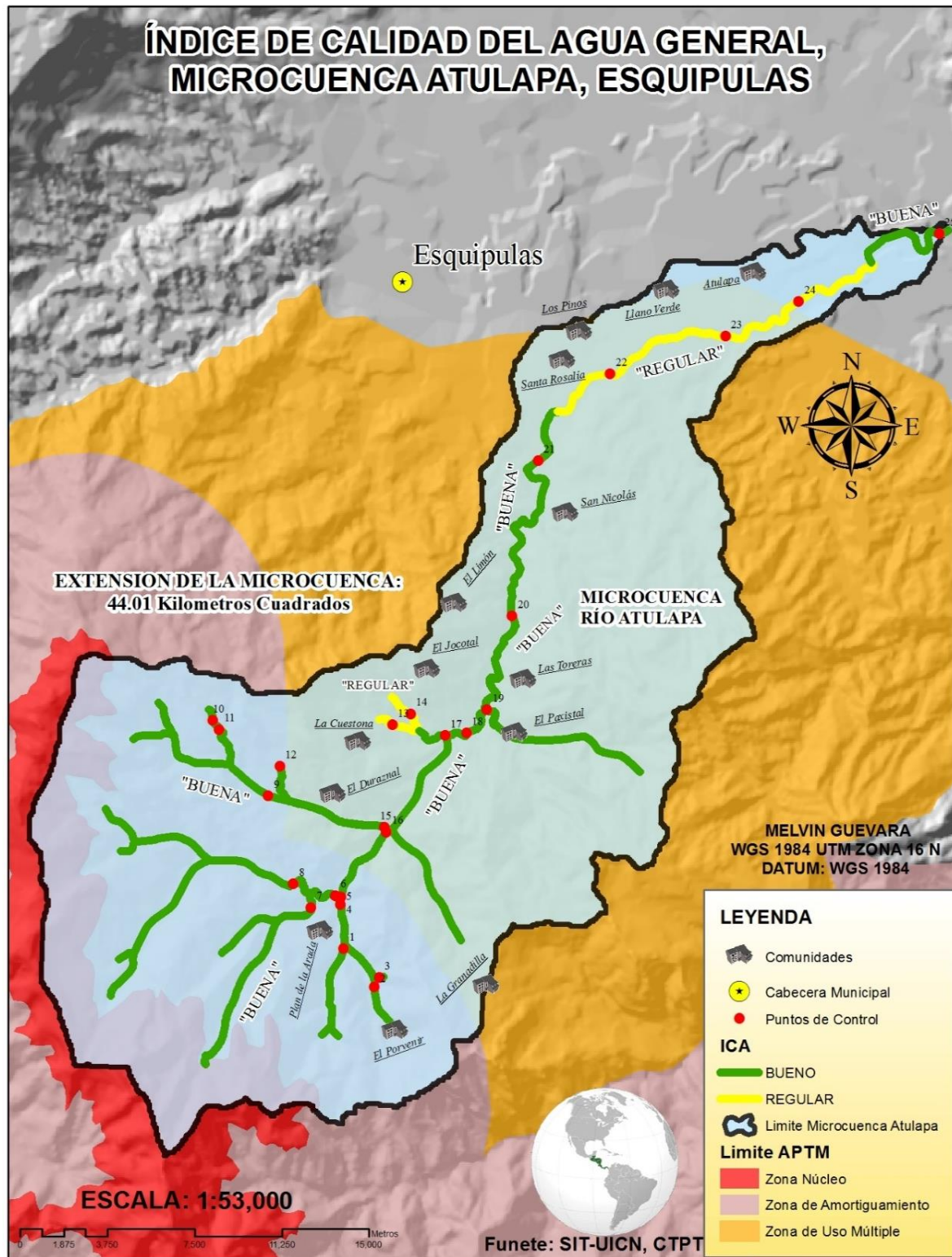
**Gráfica 17. Resultados promedio del Índice general de calidad del agua (Bronw 1970) en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**



Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la figura 12, se muestra la calidad del agua general en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, donde se puede observar que las corrientes superficiales que sufren cambios, productos de las descargas de aguas servidas y aguas mieles en los puntos de control, sin embargo el promedio total del índice general muestra que el 80% de los puntos representa una calidad “Buena” y el 20% de los puntos que representa a la calidad del agua “Regular”.

Figura 12. Índice de calidad del agua general en la red hidrológica superficial, microcuenca río Atulapa.



Fuente: Elaboración propia 2014.

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

Con los valores del Índice de Calidad de Agua –ICA- obtenidos en el presente estudio, se realizó una evaluación utilizando los lineamientos del panel de expertos Dinius (1987), basado en función del uso para el cual se destinará el agua de una fuente superficial, donde se definen 6 rangos de estado de calidad del agua, los cuales son: Excelente, Aceptable, Levemente Contaminada, Contaminada, Fuertemente Contaminada y Excesivamente contaminada; y se establecen cinco criterios generales de uso: Agua Potable, Agricultura, Pesca y Vida Acuática, Industrial y Recreativo. Con base a rangos y criterios generales se puede observar la calidad del agua en los diferentes puntos de control establecidos de ríos que conforman la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa. Ver cuadro 26.

**Cuadro 26. Calidad del agua según criterios generales de uso para cada punto de control establecido en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas 2014.**

| No. | ID      | Nombre                               | Índice de Calidad del Agua -ICA- | CALIDAD DE AGUA SEGÚN SU USO |                       |                       |                       |            |
|-----|---------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
|     |         |                                      |                                  | Agua Potable                 | Agrícola              | Pesca y Vida Acuática | Industrial            | Recreativo |
| 1   | MCRA 1  | Quebrada Cruz de Piedra              | 74                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 2   | MCRA 2  | Quebrada El Porvenir                 | 82                               | Aceptable                    | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 3   | MCRA 3  | Quebrada de Don Fabio                | 75                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 4   | MCRA 4  | Quebrada El Porvenir 2               | 77                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 5   | MCRA 5  | Río Atulapa 1                        | 75                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 6   | MCRA 6  | Río El Volcán                        | 80                               | Aceptable                    | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 7   | MCRA 7  | Quebrada El Volcán 3                 | 78                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 8   | MCRA 8  | Quebrada Volcan Arriba               | 79                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 9   | MCRA 9  | Quebrada La Quebradona               | 77                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 10  | MCRA 10 | Quebrada Beneficio Edgar Garza       | 79                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 11  | MCRA 11 | Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo | 72                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 12  | MCRA 12 | Quebrada El Muro                     | 81                               | Aceptable                    | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 13  | MCRA 13 | Quebrada La Cuestona                 | 65                               | Contaminada                  | Levemente Contaminada | Aceptable             | Levemente Contaminada | Aceptable  |
| 14  | MCRA 14 | Quebrada El Roble                    | 68                               | Contaminada                  | Levemente Contaminada | Aceptable             | Levemente Contaminada | Aceptable  |
| 15  | MCRA 15 | La Quebradona 2                      | 74                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 16  | MCRA 16 | Río Atulapa 2                        | 77                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 17  | MCRA 17 | Quebrada El Roble 2                  | 72                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 18  | MCRA 18 | Río Atulapa 4                        | 74                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 19  | MCRA 19 | Quebrada El Paxistal                 | 73                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 20  | MCRA 20 | Río Atulapa La Presa                 | 70                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 21  | MCRA 21 | Río Atulapa La Planta                | 71                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |
| 22  | MCRA 22 | Atulapa Beneficio La Planta          | 69                               | Contaminada                  | Levemente Contaminada | Aceptable             | Levemente Contaminada | Aceptable  |
| 23  | MCRA 23 | Parque Chatún                        | 69                               | Contaminada                  | Levemente Contaminada | Aceptable             | Levemente Contaminada | Aceptable  |
| 24  | MCRA 24 | Río Atulapa 6                        | 67                               | Contaminada                  | Levemente Contaminada | Aceptable             | Levemente Contaminada | Aceptable  |
| 25  | MCRA 25 | Río Atulapa Final                    | 71                               | Levemente Contaminada        | Aceptable             | Excelente             | Aceptable             | Excelente  |

*Fuente: Elaboración propia 2014.*

De acuerdo al Índice de Calidad de Agua –ICA- y según la escala de criterios generales de uso, en los 25 puntos de control establecidos; 20 puntos de control se clasifican de la siguiente manera.

- Para uso de “Agua potable”, se encuentran levemente contaminada, esto quiere decir que para poder ser apta para ser utilizada de este tipo es necesario realizar una buena purificación, el cual requiere una buena cloración del agua para reducir los niveles de bacterias en el agua.
- Para uso “Agrícola” esta si es aceptable, pero para cultivos que requieran un agua de mejor calidad, es necesario darle una purificación, no de gran proceso pero si para evitar algún tipo de bacteria que pueda dañar el cultivo.
- Para “Pesca y vida acuática” la calidad del agua se encuentra en excelente estado, que son áreas de la microcuenca donde la vida acuática es abundante.
- Para la actividad “Industrial” la calidad de agua es aceptable y que requiere de una purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación; y para uso “Recreativo”, se encuentra en excelente estado, en donde se puede practicar cualquier tipo de deporte acuático o ser utilizada para turicentros acuáticos.

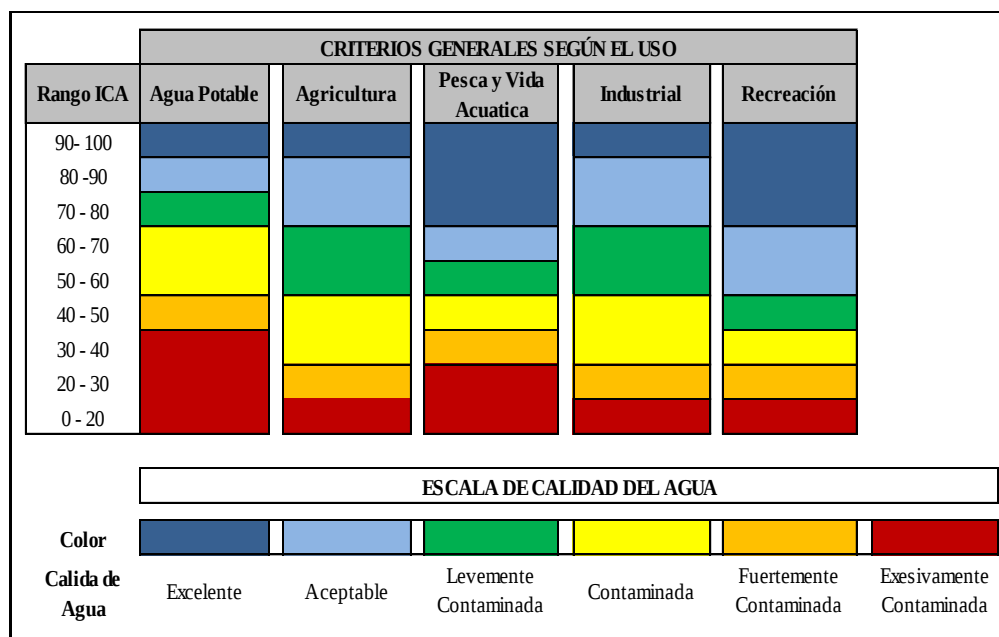
Entre los puntos que presentan una baja calidad del agua dentro de la red hidrológica de la microcuenca del río Atulapa, se encuentran 5 puntos, los cuales son: Quebrada la Cuestona (MCRA 13), EL Roble (MCRA 14), Beneficio la Planta (MCRA 22), Parque Chatún (MCRA 23) y río Atulapa 6 (MCRA 24); que según la escala de criterios generales de uso se clasifican de la forma siguiente:

- Para “Agua Potable”, presenta una calidad de agua contaminada, el cual es recomendable realizar un tratamiento potabilizador necesario.

- Para usos de la “Agricultura”, el agua se encuentra levemente contaminada, el cual es utilizable en cualquiera de los cultivos.
- En “Pesca y vida acuática”, el agua es aceptable y es el límite para los peces que son muy sensitivos.
- Para uso “Industrial” presenta un agua levemente contaminada, la cual no requiere de tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal. Y para área recreativa, es aceptable, pero si es necesario restringir los deportes de inmersión, y quiere de un buen tratamiento y purificación, por precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.

En la Imagen 4, se muestran los criterios generales utilizados en la clasificación anterior y el rango de –ICA- que caracteriza cada criterio.

**Figura 13. Criterios generales según el Índice de Calidad de Agua –ICA-**



Fuente: SNET (1998).

## **8.5. Lineamientos de propuesta de manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Atulapa**

El agua superficial de los ríos usualmente empieza como pequeños arroyos y aumentan su caudal a medida que fluyen hacia el mar. En la actualidad el caudal de muchos ríos es alimento por descargas de aguas servidas provenientes de los sistemas de drenaje de los centros poblados. La red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, por estar rodeada por aldeas y caseríos, donde la mayor actividad económica del ser humano es la producción de café. Se hace necesario establecer medidas que permitan evitar la contaminación generada por actividades agrícolas-industriales y poder conservar las fuentes de agua, para evitar el deterioro por la acción antrópica. Según los análisis realizados en la microcuenca se logró determinar que existen diversos focos de contaminación (descarga de aguas mieles, aguas residuales, lixiviados, desechos sólidos entre otros) producidos por la actividad agrícola e industrial desarrollada por los seres humanos. Es por ello que se plantearan una serie de lineamientos los cuales permitan disminuir y controlar la contaminación a la red principal del río Atulapa.

### **8.5.1. Implementar un plan de capacitaciones para la concientización del uso adecuado e importancia del agua, en las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca río Atulapa**

Uno de las actividades más importantes en la microcuenca río Atulapa, es concientizar a las personas que viven en las comunidades vecinas y que aprovechan el recurso agua para sus diversas actividades, tanto domesticas como agrícolas. Para ello es necesario gestionar con diferentes instituciones que laboren en el municipio de Esquipulas, para implementar un plan de actividades de capacitación, el cual permita involucrar a las personas de las comunidades que estén sabedores de los diferentes tipos de actividades que generan contaminación directa e indirectamente a las fuentes de agua y así mismo las metodologías que se pueden implementar para reducir la contaminación al mismo.

Siendo uno de los temas a implementar para las capacitaciones las siguientes:

- Uso y manejo adecuado del agua para uso doméstico y uso agrícola.
- Importancia de la elaboración de fosas sépticas para el manejo de aguas negras.

- Uso adecuado de los desechos sólidos.
- Implementación de obras de conservación de suelos en las parcelas (acequias de ladera, barreras vivas, barreras muertas, terrazas continuas e individuales, cercas vivas, fosas de infiltración, entre otros).
- Uso adecuado de fertilizantes y agroquímicos en las parcelas de café.
- Aprovechamiento y reutilización del agua para otros usos.

#### **8.5.2. Implementación de la ley de áreas protegidas en las comunidades de la microcuenca río Atulapa**

La red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa es una de las fuentes de agua que genera un gran porcentaje de agua para las comunidades vecinas del área rural y a una parte de la cabecera del municipio de Esquipulas; dicha fuente se encuentra en una de las áreas protegidas con las que cuenta el país de Guatemala, Nominada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-, como Reserva de Biosfera Fraternidad. Por el cual es necesario implementar y llevar a cabo las reglas que establece ley de áreas protegidas –Decreto Numero 4-89, el cual establece en el -Artículo 13-, fuentes de agua: como programa prioritario del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas – SIGAP-, se crea el subsistema de conservación de los bosques pluviales, de tal manera asegurar un suministro de agua constante y de aceptable calidad para la comunidad guatemalteca.

A través del **ARTÍCULO 17, Áreas protegidas fronterizas**, la microcuenca del río Atulapa se encuentra respaldada por el convenio trinacional de los países de Guatemala, El Salvador y Honduras, del cual se forma El Plan Trifinio, que es el ente interinstitucional que se encarga de realizar programas y proyectos con enfoque al cuidado y protección de bosques y cuencas, con especies nativas de la región, implementación de sistemas de agua potable; todas con el enfoque al cuidado de la reserva de biosfera.

**ARTÍCULO 18. Planes Maestros y Operativos.** El manejo de cada una de las áreas protegidas del sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –SIGAP-, estará definido por su respectivo plan maestro, el cual será la persona individual o jurídica que la administra.

Todos los planes maestros y operativos deben ser registrados, aprobados y supervisados por la secretaria ejecutiva del CONAP para verificar que se cumple con los propósitos de conservación de la ley.

**ARTÍCULO 19. Concesiones.** El CONAP podrá dar en arrendamiento u otorgar concesiones de aprovechamiento en las áreas protegidas bajo su administración, siempre y cuando el plan maestro respectivo lo establezca y lo permita claramente; debiendo suscribirse los correspondientes contratos de concesión.

**ARTICULO 20. Actividades dentro de las Áreas Protegidas.** Las empresas públicas o privadas que tengan actualmente, o que en el futuro desarrollen instalaciones o actividades comerciales, industriales, turísticas, pesqueras, forestales, agropecuarias, experimentales o de transporte dentro del perímetro de las áreas protegidas, celebrarán de mutuo acuerdo con el CONAP, un contrato en el que se establecerán las condiciones y normas de operación, determinadas por un estudio de impacto ambiental, presentado por el interesado al Consejo Nacional de Áreas Protegidas, el cual con su opinión lo remitirá a la Comisión Nacional del Medio Ambiente para su evaluación, siempre y cuando su actividad sea compatible con los usos previstos en el plan maestro de la unidad de conservación de que se trate.

Es necesario implementar una ley para el control y uso adecuado del agua en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, para mejorar la calidad del agua, el cual en su mayoría se encuentra en una calidad “Buena”. Basado en el decreto 4-89 y el artículo 20, de actividades dentro de las áreas protegidas, realizar análisis de agua en los puntos de control cercanos a las empresas y centros turísticos, a través de la municipalidad de Esquipulas, Centro de Salud, CONAP y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para verificar si cumplen con los mecanismos adecuados para la realización del tratamiento adecuado a las aguas residuales, las cuales son depositadas al cauce principal del río Atulapa.

### **8.5.3. Implementación de buenas prácticas agrícolas para evitar la contaminación de las fuentes de agua por el uso de fertilizantes y agroquímicos**

Las buenas prácticas fundamentales para reducir riesgos de contaminación de agua y favorecer su disponibilidad permanente son.

- Observancia de la legislación vigente relativa a la protección de nacientes y riberas y quebradas.
- Determinar la topografía del terreno, su efecto sobre el flujo del agua y el modo en que se distribuye el agua de lluvia en el sitio y aplicar medidas para evitar la contaminación de las fuentes de agua.
- Manejo y control de las aguas mieles, a través de fosas de infiltración e implementación de micro-organismos para la eliminación de bacterias en el agua.
- Aplicar estructuras de conservación de suelo que contengan los lixiviados de las fincas de café, en las cuales les aplican productos químicos, y evitar las escorrentías que van directamente a los riachuelos y cauce principal del río, esto a través de la implementación acequias de ladera, que dependiendo de la topografía del terreno se pueden aplicar a ciertas distancia, pero no aplicarlas en pendientes prolongadas que contengan más del 45%, para evitar deslizamiento de suelo.
- Implementar una siembra de árboles a la orilla de las vertientes, riachuelos, quebradas y cauce principal del río Atulapa.
- Minimizar el uso de fertilizantes y pesticidas químicos en las parcelas de café, elaborando abonos orgánicos, como compost y tratamiento de pulpa de café por medio de lombri-compost.

## CONCLUSIONES

1. Los parámetros físico-químicos analizados en el agua de la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa, se encuentran dentro de los límites máximos aceptables, con excepción de los fosfatos que se encuentran sobre los límites establecidos por la normativa para agua de consumo humano.
2. La totalidad de los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial del río Atulapa presentan concentraciones entre 25 y  $\leq 2400$  NMP/100 ml de agua, esto evidencia la contaminación de las fuentes de agua por la presencia de bacterias coliformes fecales.
3. De acuerdo al Índice de Calidad del Agua general –ICA-, el 80 por ciento de puntos de control establecidos tiene una calidad de agua “Buena” y el restante 20 por ciento una calidad de agua “Regular”.
4. Los puntos con calidad de agua “Buenas” de acuerdo al índice de Calidad del Agua general, se ubican en parte altas y media de la cuenca y puntos con calidad de agua “Regular” están ubicados en la parte baja de la misma, lo cual evidencia la influencia antropogénica de la contaminación.
5. De acuerdo a los resultados del Índice de Calidad del Agua General –ICA-, se establecieron criterios generales según su uso; indicando que el 20% de los puntos de control presentan con una calidad según su uso “Contaminada” para uso de agua potable, el cual requiere de un tratamiento potabilizador necesario; “Levemente contaminada” para actividades agrícolas e industriales y “Aceptable para uso recreativo y pesca y vida acuática.
6. Según los resultados obtenidos en la fase de campo y de laboratorio, se elaboró una serie de lineamientos estratégicos para mejorar la calidad del agua en la microcuenca Atulapa, a través de acciones a corto, mediano y largo plazo que permitan reducir el impacto de contaminación de las descargas de aguas residuales.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar con el monitoreo de la calidad del agua en los puntos de control establecidos para disponer información que permita compara la calidad de agua de la corriente superficial en función del tiempo.
2. Realizar monitoreos de la calidad del agua en períodos de tiempo menores a 3 meses para identificar las épocas de incremento o disminución de la contaminación del agua superficial de la microcuenca del río Atulapa.
3. Realizar estudios que permitan identificar la presencia de metales pesados, en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, debido al tipo de geología que se encuentra (rocas ígneas y sedimentarias) dentro de la misma.
4. Establecer líneas estratégicas para implementar la ley de áreas protegidas en las comunidades, centros turísticos y empresas privadas, para darle un mejor tratamiento a las descargas de aguas residuales y aguas mieles.
5. Implementar en las comunidades una directiva de agua, para gestionar proyectos de reforestación, saneamiento ambiental y salud a través de la municipalidad e instituciones gubernamentales y no gubernamentales, para mejorar la calidad del agua y vida de las familias.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alianza Mundial de ACJs, GT. 2003. Diagnóstico institucional: definición, proceso, y métodos. Guatemala. 4 p.
2. Boy Piedrasanta, JA. 1989. Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua para consumo humano y uso industrial en la ciudad de Amatitlán. Tesis Ing. Quim. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 136 p.
3. COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 2009. Norma COGUANOR – NGO 29 001:99, agua potable (en línea). Guatemala. 14 p. Consultado 02 may. 2013. Disponible en: [http://www.coguanor.gob.gt/NGO\\_21-001:99/agua\\_potable.pdf](http://www.coguanor.gob.gt/NGO_21-001:99/agua_potable.pdf).
4. CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio, GT). 2005. Diagnóstico ambiental y socioeconómico área protegida trinacional Montecristo (en línea). Esquipulas, Chiquimula, GT. 138 p. Consultado 19 jul. 2013. Disponible en: [http://www.sica.int/busqueda/busqueda\\_archivo.aspx?Archivo=odoc\\_4960\\_1\\_01122005.pdf](http://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=odoc_4960_1_01122005.pdf)
5. \_\_\_\_\_. 2009. El Trifinio: los recursos hídricos en la parte alta de la cuenca del río Lempa. Esquipulas, Chiquimula, GT, CTPT, Programa para la Promoción de la Administración del Agua como bien Público Regional en la Cuenca Alta del Río Lempa en la Región del Trifinio. 108 p.
6. \_\_\_\_\_. 2010. Taller monitoreo de la calidad de agua en ríos. Esquipulas, Chiquimula, GT. 24 p.

7. Garay, J; Panizzo L; Lesmes, L; Ramírez, G; Sánchez, J. 1993. Manual de técnicas analíticas de parámetros físico-químicos y contaminantes marinos. 3 ed. Cartagena, ES, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. 56 p.
8. Lemus, R. 2013. Ensayo sobre calidad del agua superficial en Latinoamérica (en línea). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 8 p. Consultado 30 oct. 2013. 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)
9. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2009. Política nacional del cambio climático (acuerdo gubernativo 329-2009) (en línea). Guatemala. 26 p. Consultado 30 oct. 2013. Disponible en [http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas\\_publicas/Recursos%20Naturales/Politica%20Nacional%20de%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20Guatemala.pdf](http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Politica%20Nacional%20de%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20Guatemala.pdf)
10. SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 1998. Índice de calidad del agua general "ICA". San Salvador, SV, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Servicio Nacionales de Estudios Territoriales. 14 p.
11. URL (Universidad Rafael Landívar, GT); IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, GT). 2009. Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo (en línea). Guatemala, Serviprensa. 249 p. Consultado 30 oct. 2013. Disponible en [http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie\\_amb/11.PDF](http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie_amb/11.PDF)



## **ANEXOS**

## **Anexo 1. Procedimiento para la determinación de parámetros físicos, químicos, y microbiológicos.**

### **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 10 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.

### **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) 0.0274 g de tartrato de antimonil-potasio en 10 ml de agua destilada
- C) 1.00 g de heptamolibdato de amonio en 25 ml de agua destilada
- D) 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

## **Demanda biológica de oxígeno en 5 días DBO5**

### **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.
- Tápala 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

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

## **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 utilizara la fórmula:

$$\text{Sólidos totales} = \text{peso final} - \text{peso inicial}$$

### **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.

### **Turbidez**

La turbidez será medida utilizando un turbidímetro.

#### **Procedimiento:**

- Calibrar el medidor de turbidez con soluciones de calibración.
- La medición con este método se realizara 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 realizara empleando la técnica de los tubos múltiples.

### **Análisis de coliformes**

Se analizaron, coliformes fecales.

#### **Procedimiento:**

- Preparación de Agar.
- Hacer 1 agar simple, y 1 agar doble; en el agar simple se utiliza 17 gramos de m<sub>1</sub>x en 1000 ml, y en el agar doble se utiliza 17 m<sub>1</sub>x 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.
- Las pruebas se incubaran a 25°C por 24 hrs.
- Después de las 24 horas, realizar la lectura de los tubos de ensayo. La lectura se realizara por un cambio de color, reacción Indol positiva o negativa.
- Por ultimo estos resultados se interpretan por una tabla establecida por la norma COGUANOR.

**Anexo 2. Determinación del Índice de Calidad de Agua -ICA- en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, Esquipulas, 2014.**

**Primer monitoreo, Enero 2013.**

| <b>Quebrada Cruz de Piedra</b>                                                          |                           |              |                 |                        |           |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|-----------------|------------------------|-----------|--------------|
| <b>PUNTO DE MUESTREO: 12 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla.</b> |                           |              |                 |                        |           |              |
|                                                                                         | <b>Parámetros</b>         | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b> | <b>Sub<sub>i</sub></b> | <b>Wi</b> | <b>Total</b> |
| 1                                                                                       | Coliformes Fecales        | 460          | NMP/100 ml      | 35                     | 0.17      | 5.95         |
| 2                                                                                       | pH                        | 7.27         | Unidades pH     | 91.5                   | 0.13      | 11.90        |
| 3                                                                                       | DBO <sub>5</sub>          | 99.40        | mg/l            | 2                      | 0.12      | 0.24         |
| 4                                                                                       | Nitratos                  | 0.52         | mg/l            | 95                     | 0.11      | 10.45        |
| 5                                                                                       | Fosfatos                  | 0.33         | mg/l            | 81                     | 0.11      | 8.91         |
| 6                                                                                       | Turbidez                  | 1.17         | FAU             | 97.5                   | 0.09      | 8.78         |
| 7                                                                                       | Sólidos disueltos Totales | 22.53        | mg/l            | 79                     | 0.09      | 7.11         |
| 8                                                                                       | Oxígeno Disuelto          | 96.7         | % saturación    | 87.5                   | 0.18      | 15.75        |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                |                           |              |                 | Suma                   | 1.00      | 69.08        |
|                                                                                         |                           |              |                 |                        |           |              |
| <b>Quebrada El Porvenir</b>                                                             |                           |              |                 |                        |           |              |
| <b>PUNTO DE MUESTREO: 20 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla.</b> |                           |              |                 |                        |           |              |
|                                                                                         | <b>Parámetros</b>         | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b> | <b>Sub<sub>i</sub></b> | <b>Wi</b> | <b>Total</b> |
| 1                                                                                       | Coliformes Fecales        | 11           | NMP/100 ml      | 68.63                  | 0.17      | 11.67        |
| 2                                                                                       | pH                        | 7.18         | Unidades pH     | 91                     | 0.13      | 11.83        |
| 3                                                                                       | DBO <sub>5</sub>          | 70.48        | mg/l            | 2                      | 0.12      | 0.24         |
| 4                                                                                       | Nitratos                  | 0.22         | mg/l            | 96.5                   | 0.11      | 10.62        |
| 5                                                                                       | Fosfatos                  | 0.37         | mg/l            | 76                     | 0.11      | 8.36         |
| 6                                                                                       | Turbidez                  | 2.2          | FAU             | 97                     | 0.09      | 8.73         |
| 7                                                                                       | Sólidos disueltos Totales | 20.19        | mg/l            | 78.7                   | 0.09      | 7.08         |
| 8                                                                                       | Oxígeno Disuelto          | 101.6        | % saturación    | 97                     | 0.18      | 17.46        |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                |                           |              |                 | Suma                   | 1.00      | 75.99        |

| Quebrada Don Fabio Solís                                             |                           |       |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Orilla de la Carretera, Caserío Plan de La Arada. |                           |       |              |                  |      |       |
|                                                                      | Parámetros                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                    | Coliformes Fecales        | 1100  | NMP/100 ml   | 20.95            | 0.17 | 3.56  |
| 2                                                                    | pH                        | 7.02  | Unidades pH  | 89               | 0.13 | 11.57 |
| 3                                                                    | DBO <sub>5</sub>          | 61.45 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                    | Nitratos                  | 0.16  | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                                    | Fosfatos                  | 0.49  | mg/l         | 68               | 0.11 | 7.48  |
| 6                                                                    | Turbidez                  | 0.71  | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                    | Sólidos disueltos Totales | 22.62 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                    | Oxígeno Disuelto          | 97.6  | % saturación | 87               | 0.18 | 15.66 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                             |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 64.92 |

| Quebrada El Porvenir 2                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros de la desembocadura sobre el río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                        | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                      | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 56               | 0.17 | 9.52  |
| 2                                                                      | pH                        | 7.32   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                      | DBO <sub>5</sub>          | 69.88  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                      | Nitratos                  | 0.52   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                      | Fosfatos                  | 0.36   | mg/l         | 77.3             | 0.11 | 8.50  |
| 6                                                                      | Turbidez                  | 2.12   | FAU          | 98               | 0.09 | 8.82  |
| 7                                                                      | Sólidos disueltos Totales | 22.14  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                      | Oxígeno Disuelto          | 102.85 | % saturación | 98               | 0.18 | 17.64 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                               |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 74.35 |

| Río Atulapa 1                             |                           |       |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Inicio del río Atulapa |                           |       |              |                  |      |       |
|                                           | Parámetros                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                         | Coliformes Fecales        | 93    | NMP/100 ml   | 47               | 0.17 | 7.99  |
| 2                                         | pH                        | 7.62  | Unidades pH  | 89.5             | 0.13 | 11.64 |
| 3                                         | DBO <sub>5</sub>          | 74.70 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                         | Nitratos                  | 0.52  | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                         | Fosfatos                  | 0.47  | mg/l         | 72               | 0.11 | 7.92  |
| 6                                         | Turbidez                  | 2.29  | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                         | Sólidos disueltos Totales | 24.83 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                         | Oxígeno Disuelto          | 103.3 | % saturación | 98               | 0.18 | 17.64 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-  |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 71.87 |

| Río El Volcán                                                                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 60 metros antes de unirse al río Atulapa                                                   |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                                    |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                             | Coliformes Fecales        | 28     | NMP/100 ml   | 66.36            | 0.17 | 11.28 |
| 2                                                                                                             | pH                        | 7.48   | Unidades pH  | 93               | 0.13 | 12.09 |
| 3                                                                                                             | DBO <sub>5</sub>          | 80.12  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                             | Nitratos                  | 0.63   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                                                             | Fosfatos                  | 0.45   | mg/l         | 72               | 0.11 | 7.92  |
| 6                                                                                                             | Turbidez                  | 2.78   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                                                             | Sólidos disueltos Totales | 25.34  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                             | Oxígeno Disuelto          | 103.95 | % saturación | 98               | 0.18 | 17.64 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                                      |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.57 |
|                                                                                                               |                           |        |              |                  |      |       |
| Quebrada El Volcán 3                                                                                          |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 25 metros arriba del puente, Finca Nazario Súchite y Juan Vásquez.                         |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                                    |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                             | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 56               | 0.17 | 9.52  |
| 2                                                                                                             | pH                        | 6.88   | Unidades pH  | 86               | 0.13 | 11.18 |
| 3                                                                                                             | DBO <sub>5</sub>          | 94.58  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                             | Nitratos                  | 0.52   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                                                             | Fosfatos                  | 0.34   | mg/l         | 78               | 0.11 | 8.58  |
| 6                                                                                                             | Turbidez                  | 1.68   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                                                             | Sólidos disueltos Totales | 15.74  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                             | Oxígeno Disuelto          | 102.15 | % saturación | 98               | 0.18 | 17.64 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                                      |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 73.56 |
|                                                                                                               |                           |        |              |                  |      |       |
| Río Volcán Arriba                                                                                             |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba de la carretera, limite Caserío Plan de la Arada y Caserío El Portezuelo. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                                    |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                             | Coliformes Fecales        | 210    | NMP/100 ml   | 41.9             | 0.17 | 7.12  |
| 2                                                                                                             | pH                        | 7.6    | Unidades pH  | 91.5             | 0.13 | 11.90 |
| 3                                                                                                             | DBO <sub>5</sub>          | 64.46  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                             | Nitratos                  | 0.46   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                                                             | Fosfatos                  | 0.45   | mg/l         | 72               | 0.11 | 7.92  |
| 6                                                                                                             | Turbidez                  | 1.45   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                                                             | Sólidos disueltos Totales | 29.09  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                             | Oxígeno Disuelto          | 104.25 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                                      |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 71.44 |

| La Quebradona                                                                                   |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 40 metros arriba del puente, limite del Caserío El Duraznal y El Portezuelo. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                      |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                               | Coliformes Fecales        | 240    | NMP/100 ml   | 38.18            | 0.17 | 6.49  |
| 2                                                                                               | pH                        | 7.66   | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                                                               | DBO <sub>5</sub>          | 71.08  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                               | Nitratos                  | 0.97   | mg/l         | 93.5             | 0.11 | 10.29 |
| 5                                                                                               | Fosfatos                  | 0.51   | mg/l         | 70               | 0.11 | 7.70  |
| 6                                                                                               | Turbidez                  | 1.49   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                                               | Sólidos disueltos Totales | 31.74  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                               | Oxígeno Disuelto          | 102.25 | % saturación | 98               | 0.18 | 17.64 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                        |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 69.90 |
|                                                                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
| Quebrada Beneficio Edgar Garza                                                                  |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 100 Metros arriba del beneficio Edgar Garza.                                 |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                      |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                               | Coliformes Fecales        | 460    | NMP/100 ml   | 35               | 0.17 | 5.95  |
| 2                                                                                               | pH                        | 7.42   | Unidades pH  | 93               | 0.13 | 12.09 |
| 3                                                                                               | DBO <sub>5</sub>          | 65.66  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                               | Nitratos                  | 0.8    | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |
| 5                                                                                               | Fosfatos                  | 1.01   | mg/l         | 39.5             | 0.11 | 4.35  |
| 6                                                                                               | Turbidez                  | 1.1    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                                               | Sólidos disueltos Totales | 40.06  | mg/l         | 79.5             | 0.09 | 7.16  |
| 8                                                                                               | Oxígeno Disuelto          | 96.4   | % saturación | 87               | 0.18 | 15.66 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                        |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 64.67 |
|                                                                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
| Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo                                                            |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros abajo del beneficio.                                              |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                      |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                               | Coliformes Fecales        | 150    | NMP/100 ml   | 43.81            | 0.17 | 7.45  |
| 2                                                                                               | pH                        | 7.02   | Unidades pH  | 99               | 0.13 | 12.87 |
| 3                                                                                               | DBO <sub>5</sub>          | 89.16  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                               | Nitratos                  | 0.734  | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |
| 5                                                                                               | Fosfatos                  | 0.57   | mg/l         | 63               | 0.11 | 6.93  |
| 6                                                                                               | Turbidez                  | 2.4    | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                                               | Sólidos disueltos Totales | 34.69  | mg/l         | 89               | 0.09 | 8.01  |
| 8                                                                                               | Oxígeno Disuelto          | 93.25  | % saturación | 85.5             | 0.18 | 15.39 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                        |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 70.07 |

| Quebrada El Muro                                                          |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del muro, El Portezuelo.              |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 14     | NMP/100 ml   | 71.5             | 0.17 | 12.16 |
| 2                                                                         | pH                        | 6.92   | Unidades pH  | 87               | 0.13 | 11.31 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 65.06  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 0.47   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.33   | mg/l         | 82               | 0.11 | 9.02  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 7.84   | FAU          | 91.5             | 0.09 | 8.24  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 18.21  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 99     | % saturación | 93.5             | 0.18 | 16.83 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.46 |
|                                                                           |                           |        |              |                  |      |       |
| Quebrada La Cuestona                                                      |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros debajo de la carretera, Caserío La Cuestona. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 210    | NMP/100 ml   | 41.9             | 0.17 | 7.12  |
| 2                                                                         | pH                        | 7.29   | Unidades pH  | 91.5             | 0.13 | 11.90 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 71.08  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 1.1    | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.61   | mg/l         | 63               | 0.11 | 6.93  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 2.75   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 33.97  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 98.95  | % saturación | 88               | 0.18 | 15.84 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 68.54 |
|                                                                           |                           |        |              |                  |      |       |
| Quebrada El Roble                                                         |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros debajo de la Carretera, Caserío la Cuestona   |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | ≥2400  | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                                         | pH                        | 7.34   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 159.04 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 0.46   | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.99   | mg/l         | 70               | 0.11 | 7.70  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 8.12   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 93.02  | mg/l         | 87               | 0.09 | 7.83  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 72.95  | % saturación | 59.5             | 0.18 | 10.71 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 61.07 |

| La Quebradona 2                                                                                     |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del puente de hamaca, Desembocadura de la quebrada río Atulapa. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                          |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                   | Coliformes Fecales        | 23     | NMP/100 ml   | 64.54            | 0.17 | 10.97 |
| 2                                                                                                   | pH                        | 7.52   | Unidades pH  | 92.5             | 0.13 | 12.03 |
| 3                                                                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 80.12  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                   | Nitratos                  | 0.88   | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 5                                                                                                   | Fosfatos                  | 0.59   | mg/l         | 69               | 0.11 | 7.59  |
| 6                                                                                                   | Turbidez                  | 2.85   | FAU          | 92               | 0.09 | 8.28  |
| 7                                                                                                   | Sólidos disueltos Totales | 33.34  | mg/l         | 84.5             | 0.09 | 7.61  |
| 8                                                                                                   | Oxígeno Disuelto          | 102.75 | % saturación | 98.5             | 0.18 | 17.73 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                            |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 74.84 |
|                                                                                                     |                           |        |              |                  |      |       |
| Río Atulapa 2                                                                                       |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: Limite de los Caseríos Plan de la Arada y El Duraznal, Finca de Byron Soto.      |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                          |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                   | Coliformes Fecales        | 120    | NMP/100 ml   | 39.09            | 0.17 | 6.65  |
| 2                                                                                                   | pH                        | 7.52   | Unidades pH  | 92.5             | 0.13 | 12.03 |
| 3                                                                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 106.02 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                   | Nitratos                  | 0.4    | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                                                   | Fosfatos                  | 0.47   | mg/l         | 71               | 0.11 | 7.81  |
| 6                                                                                                   | Turbidez                  | 1.51   | FAU          | 94               | 0.09 | 8.46  |
| 7                                                                                                   | Sólidos disueltos Totales | 25.22  | mg/l         | 82.5             | 0.09 | 7.43  |
| 8                                                                                                   | Oxígeno Disuelto          | 103.05 | % saturación | 97.5             | 0.18 | 17.55 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                            |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 70.72 |
|                                                                                                     |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                                     |                           |        |              |                  |      |       |
| Quebrada El Roble 2                                                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del río Atulapa, Caserío la Cuestona.                                  |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                          |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                   | Coliformes Fecales        | 460    | NMP/100 ml   | 35.5             | 0.17 | 6.04  |
| 2                                                                                                   | pH                        | 7.83   | Unidades pH  | 89               | 0.13 | 11.57 |
| 3                                                                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 101.81 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                   | Nitratos                  | 0.01   | mg/l         | 99               | 0.11 | 10.89 |
| 5                                                                                                   | Fosfatos                  | 0.71   | mg/l         | 55.5             | 0.11 | 6.11  |
| 6                                                                                                   | Turbidez                  | 3.75   | FAU          | 90               | 0.09 | 8.10  |
| 7                                                                                                   | Sólidos disueltos Totales | 66.75  | mg/l         | 86               | 0.09 | 7.74  |
| 8                                                                                                   | Oxígeno Disuelto          | 99.1   | % saturación | 98.5             | 0.18 | 17.73 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                            |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 68.41 |

| Río Atulapa 4                                                      |        |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del amate, Caserío El Jocotal. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                         | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                               | 93     | NMP/100 ml   | 47               | 0.17 | 7.99  |  |
| 2 pH                                                               | 7.57   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                 | 100.60 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |  |
| 4 Nitratos                                                         | 0.67   | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |  |
| 5 Fosfatos                                                         | 0.43   | mg/l         | 72               | 0.11 | 7.92  |  |
| 6 Turbidez                                                         | 2.25   | FAU          | 93               | 0.09 | 8.37  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                        | 28.22  | mg/l         | 83.5             | 0.09 | 7.52  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                 | 103.6  | % saturación | 97.5             | 0.18 | 17.55 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                           |        |              | Suma             | 1.00 | 71.78 |  |

| Quebrada El Paxistal                                                     |       |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros antes del río Atulapa, Caserío Las Toreras. |       |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                               | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                     | ≥2400 | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |  |
| 2 pH                                                                     | 7.6   | Unidades pH  | 91.5             | 0.13 | 11.90 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                       | 82.53 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |  |
| 4 Nitratos                                                               | 0.58  | mg/l         | 93.5             | 0.11 | 10.29 |  |
| 5 Fosfatos                                                               | 0.49  | mg/l         | 68               | 0.11 | 7.48  |  |
| 6 Turbidez                                                               | 7.9   | FAU          | 80               | 0.09 | 7.20  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                              | 39.39 | mg/l         | 85               | 0.09 | 7.65  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                       | 100.1 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                 |       |              | Suma             | 1.00 | 65.97 |  |

| Río Atulapa La Presa                                              |        |              |                  |      |       |  |
|-------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros arriba de la Presa, Caserío El Limón. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                        | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                              | 93     | NMP/100 ml   | 49               | 0.17 | 8.33  |  |
| 2 pH                                                              | 7.57   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                | 41.57  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |  |
| 4 Nitratos                                                        | 0.0021 | mg/l         | 99               | 0.11 | 10.89 |  |
| 5 Fosfatos                                                        | 0.4289 | mg/l         | 73               | 0.11 | 8.03  |  |
| 6 Turbidez                                                        | 2.4    | FAU          | 92.5             | 0.09 | 8.33  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                       | 29.28  | mg/l         | 94               | 0.09 | 8.46  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                | 103.55 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                          |        |              | Suma             | 1.00 | 74.06 |  |

| Río Atulapa La Planta                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: A 25 metros abajo del puente la Planta. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                            | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                          | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 49               | 0.17 | 8.33  |
| 2                                                          | pH                        | 7.67   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                          | DBO <sub>5</sub>          | 58.43  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                          | Nitratos                  | 0.0024 | mg/l         | 98.7             | 0.11 | 10.86 |
| 5                                                          | Fosfatos                  | 0.5261 | mg/l         | 68.5             | 0.11 | 7.54  |
| 6                                                          | Turbidez                  | 3.1    | FAU          | 91.5             | 0.09 | 8.24  |
| 7                                                          | Sólidos disueltos Totales | 30.85  | mg/l         | 90               | 0.09 | 8.10  |
| 8                                                          | Oxígeno Disuelto          | 104.55 | % saturación | 97.5             | 0.18 | 17.55 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                   |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 72.81 |

| Río Atulapa Beneficio La Planta                                                |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 250 metros de la descarga de aguas mieles de Rolando Solís. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                              | Coliformes Fecales        | 240    | NMP/100 ml   | 42               | 0.17 | 7.14  |
| 2                                                                              | pH                        | 8.37   | Unidades pH  | 70               | 0.13 | 9.10  |
| 3                                                                              | DBO <sub>5</sub>          | 36.14  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                              | Nitratos                  | 0.0031 | mg/l         | 99               | 0.11 | 10.89 |
| 5                                                                              | Fosfatos                  | 0.4261 | mg/l         | 73               | 0.11 | 8.03  |
| 6                                                                              | Turbidez                  | 3.6    | FAU          | 91.5             | 0.09 | 8.24  |
| 7                                                                              | Sólidos disueltos Totales | 31.2   | mg/l         | 80               | 0.09 | 7.20  |
| 8                                                                              | Oxígeno Disuelto          | 105.9  | % saturación | 96               | 0.18 | 17.28 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                       |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 68.12 |

| Río Atulapa 6                                                |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del puente Atulapa, ruta CA-10. |                           |       |              |                  |      |       |
|                                                              | Parámetros                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                            | Coliformes Fecales        | 240   | NMP/100 ml   | 41               | 0.17 | 6.97  |
| 2                                                            | pH                        | 7.54  | Unidades pH  | 92.1             | 0.13 | 11.97 |
| 3                                                            | DBO <sub>5</sub>          | 63.86 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                            | Nitratos                  | 0.23  | mg/l         | 99.5             | 0.11 | 10.95 |
| 5                                                            | Fosfatos                  | 0.46  | mg/l         | 70               | 0.11 | 7.70  |
| 6                                                            | Turbidez                  | 4.48  | FAU          | 87.8             | 0.09 | 7.90  |
| 7                                                            | Sólidos disueltos Totales | 34.24 | mg/l         | 84.5             | 0.09 | 7.61  |
| 8                                                            | Oxígeno Disuelto          | 103.8 | % saturación | 97.5             | 0.18 | 17.55 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                     |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 70.89 |

| Río Atulapa Final                                                         |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros arriba de la desembocadura del río Atulapa. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 4      | NMP/100 ml   | 89               | 0.17 | 15.13 |
| 2                                                                         | pH                        | 8.4    | Unidades pH  | 80.5             | 0.13 | 10.47 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 63.25  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 0.0036 | mg/l         | 99               | 0.11 | 10.89 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.38   | mg/l         | 73.5             | 0.11 | 8.09  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 4.43   | FAU          | 89               | 0.09 | 8.01  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 34.37  | mg/l         | 84.5             | 0.09 | 7.61  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 109.45 | % saturación | 95               | 0.18 | 17.10 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 77.53 |

### Segundo Monitoreo, Marzo 2013.

| Quebrada Cruz de Piedra                                                          |        |              |                  |      |       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 12 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                       | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                             | 93     | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |  |
| 2 pH                                                                             | 7.16   | Unidades pH  | 90.9             | 0.13 | 11.82 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                               | 10.24  | mg/l         | 33.33            | 0.12 | 4.00  |  |
| 4 Nitratos                                                                       | 0.1359 | mg/l         | 97.5             | 0.11 | 10.73 |  |
| 5 Fosfatos                                                                       | 0.033  | mg/l         | 78.5             | 0.11 | 8.64  |  |
| 6 Turbidez                                                                       | 1.71   | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                      | 20.67  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                               | 101.75 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                         |        |              |                  | 1.00 | 76.75 |  |

| Quebrada El Porvenir                                                             |        |              |                  |      |       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                       | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                             | 4      | NMP/100 ml   | 90.9             | 0.17 | 15.45 |  |
| 2 pH                                                                             | 7.19   | Unidades pH  | 91.3             | 0.13 | 11.87 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                               | 7.23   | mg/l         | 54.3             | 0.12 | 6.52  |  |
| 4 Nitratos                                                                       | 0.1141 | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |  |
| 5 Fosfatos                                                                       | 0.022  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |  |
| 6 Turbidez                                                                       | 1.91   | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                      | 22.1   | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                               | 97.15  | % saturación | 87.3             | 0.18 | 15.71 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                         |        |              | Suma             | 1.00 | 86.80 |  |

| Quebrada Don Fabio Solís                                             |       |              |                  |      |       |  |
|----------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Orilla de la Carretera, Caserío Plan de La Arada. |       |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                 | 93    | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |  |
| 2 pH                                                                 | 7.32  | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                   | 1.20  | mg/l         | 96               | 0.12 | 11.52 |  |
| 4 Nitratos                                                           | 0.32  | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |  |
| 5 Fosfatos                                                           | 0.083 | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |  |
| 6 Turbidez                                                           | 4.9   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                          | 22.91 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                   | 88.6  | % saturación | 87.3             | 0.18 | 15.71 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                             |       |              | Suma             | 1.00 | 83.69 |  |

| Quebrada El Porvenir 2                                                |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 50 metros de la desembocadura sobre el río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                            |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                     | Coliformes Fecales        | 23     | NMP/100 ml   | 67.27            | 0.17 | 11.44 |
| 2                                                                     | pH                        | 7.56   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                     | DBO <sub>5</sub>          | 16.27  | mg/l         | 19.8             | 0.12 | 2.38  |
| 4                                                                     | Nitratos                  | 0.12   | mg/l         | 97.5             | 0.11 | 10.73 |
| 5                                                                     | Fosfatos                  | 0.017  | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 6                                                                     | Turbidez                  | 1.65   | FAU          | 96.8             | 0.09 | 8.71  |
| 7                                                                     | Sólidos disueltos Totales | 21.73  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                     | Oxígeno Disuelto          | 101.35 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                              |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 80.92 |

| Río Atulapa 1                             |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Inicio del río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                         | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                         | pH                        | 7.76   | Unidades pH  | 88               | 0.13 | 11.44 |
| 3                                         | DBO <sub>5</sub>          | 9.64   | mg/l         | 52               | 0.12 | 6.24  |
| 4                                         | Nitratos                  | 0.12   | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 5                                         | Fosfatos                  | 0.04   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 6                                         | Turbidez                  | 1.91   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7                                         | Sólidos disueltos Totales | 29.12  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                         | Oxígeno Disuelto          | 101.45 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 80.66 |

| Río El Volcán                                               |                           |       |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 60 metros antes de unirse al río Atulapa |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                  |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                           | Coliformes Fecales        | 93    | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                                           | pH                        | 7.88  | Unidades pH  | 87               | 0.13 | 11.31 |
| 3                                                           | DBO <sub>5</sub>          | 20.48 | mg/l         | 12               | 0.12 | 1.44  |
| 4                                                           | Nitratos                  | 0.17  | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 5                                                           | Fosfatos                  | 0.089 | mg/l         | 92               | 0.11 | 10.12 |
| 6                                                           | Turbidez                  | 2.07  | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                           | Sólidos disueltos Totales | 30.98 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                           | Oxígeno Disuelto          | 101.7 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                    |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 75.31 |

| Quebrada El Volcán 3                                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 25 metros arriba del puente, Finca Nazario Súcite y Juan Vásquez. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                           |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                    | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                                    | pH                        | 7.59   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                                    | DBO <sub>5</sub>          | 10.24  | mg/l         | 33.8             | 0.12 | 4.06  |
| 4                                                                                    | Nitratos                  | 0.27   | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                                                    | Fosfatos                  | 0.044  | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 6                                                                                    | Turbidez                  | 1.78   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                                    | Sólidos disueltos Totales | 18.4   | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                    | Oxígeno Disuelto          | 104.15 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                             |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 81.42 |

| RíoVolcán Arriba                                                                                              |                           |       |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba de la carretera, limite Caserío Plan de la Arada y Caserío El Portezuelo. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                                    |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                             | Coliformes Fecales        | 9     | NMP/100 ml   | 75.45            | 0.17 | 12.83 |
| 2                                                                                                             | pH                        | 7.76  | Unidades pH  | 88               | 0.13 | 11.44 |
| 3                                                                                                             | DBO <sub>5</sub>          | 15.66 | mg/l         | 19               | 0.12 | 2.28  |
| 4                                                                                                             | Nitratos                  | 0.13  | mg/l         | 97.5             | 0.11 | 10.73 |
| 5                                                                                                             | Fosfatos                  | 0.094 | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |
| 6                                                                                                             | Turbidez                  | 1.13  | FAU          | 77               | 0.09 | 6.93  |
| 7                                                                                                             | Sólidos disueltos Totales | 35.84 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                             | Oxígeno Disuelto          | 102.2 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                                      |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 79.36 |

| La Quebradona                                                                                   |                           |       |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 40 metros arriba del puente, limite del Caserío El Duraznal y El Portezuelo. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                      |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                               | Coliformes Fecales        | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                                               | pH                        | 7.92  | Unidades pH  | 86.5             | 0.13 | 11.25 |
| 3                                                                                               | DBO <sub>5</sub>          | 15.06 | mg/l         | 20               | 0.12 | 2.40  |
| 4                                                                                               | Nitratos                  | 0.1   | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 5                                                                                               | Fosfatos                  | 0.07  | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 6                                                                                               | Turbidez                  | 1.02  | FAU          | 98               | 0.09 | 8.82  |
| 7                                                                                               | Sólidos disueltos Totales | 42.21 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                               | Oxígeno Disuelto          | 101.5 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                        |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 79.09 |

| Quebrada Beneficio Edgar Garza             |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: En el puente de Madera. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                 |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                          | Coliformes Fecales        | 4     | NMP/100 ml   | 90.9             | 0.17 | 15.45 |
| 2                                          | pH                        | 7.18  | Unidades pH  | 90.8             | 0.13 | 11.80 |
| 3                                          | DBO <sub>5</sub>          | 11.45 | mg/l         | 94.3             | 0.12 | 11.32 |
| 4                                          | Nitratos                  | 3.47  | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |
| 5                                          | Fosfatos                  | 0.2   | mg/l         | 90               | 0.11 | 9.90  |
| 6                                          | Turbidez                  | 2.37  | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                          | Sólidos disueltos Totales | 72.22 | mg/l         | 87               | 0.09 | 7.83  |
| 8                                          | Oxígeno Disuelto          | 80.25 | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-   |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 91.19 |

| Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo              |                           |       |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 50 metros abajo del beneficio. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                        |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                 | Coliformes Fecales        | 93    | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                                 | pH                        | 7.18  | Unidades pH  | 90.8             | 0.13 | 11.80 |
| 3                                                 | DBO <sub>5</sub>          | 14.46 | mg/l         | 32.9             | 0.12 | 3.95  |
| 4                                                 | Nitratos                  | 0.4   | mg/l         | 95.5             | 0.11 | 10.51 |
| 5                                                 | Fosfatos                  | 0.22  | mg/l         | 86               | 0.11 | 9.46  |
| 6                                                 | Turbidez                  | 5.03  | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                 | Sólidos disueltos Totales | 46.05 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                 | Oxígeno Disuelto          | 82.3  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-          |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 75.31 |

| Quebrada El Muro                                             |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del muro, El Portezuelo. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                   |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                            | Coliformes Fecales        | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                            | pH                        | 7.28  | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                            | DBO <sub>5</sub>          | 21.08 | mg/l         | 97               | 0.12 | 11.64 |
| 4                                                            | Nitratos                  | 0.3   | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                            | Fosfatos                  | 0.106 | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |
| 6                                                            | Turbidez                  | 25.3  | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                            | Sólidos disueltos Totales | 18.94 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                            | Oxígeno Disuelto          | 98.4  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                     |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 86.43 |

| Quebrada La Cuestona                                                      |                           |       |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros debajo de la carretera, Caserío La Cuestona. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 40    | NMP/100 ml   | 90.9             | 0.17 | 15.45 |
| 2                                                                         | pH                        | 7.16  | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 27.11 | mg/l         | 6.8              | 0.12 | 0.82  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 0.1   | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.094 | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 1.8   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 44.22 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 77.86 | % saturación | 58.63            | 0.18 | 10.55 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 75.41 |

| Quebrada El Roble                                                      |                           |       |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros debajo de la Quebrada, Caserío la Cuestona |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                             |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                      | Coliformes Fecales        | 1100  | NMP/100 ml   | 21.18            | 0.17 | 3.60  |
| 2                                                                      | pH                        | 7.22  | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                      | DBO <sub>5</sub>          | 17.47 | mg/l         | 19               | 0.12 | 2.28  |
| 4                                                                      | Nitratos                  | 0.26  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                      | Fosfatos                  | 0.28  | mg/l         | 82               | 0.11 | 9.02  |
| 6                                                                      | Turbidez                  | 2.7   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7                                                                      | Sólidos disueltos Totales | 52.61 | mg/l         | 87               | 0.09 | 7.83  |
| 8                                                                      | Oxígeno Disuelto          | 89.55 | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                               |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 69.62 |

| La Quebradona 2                                                                                     |                           |       |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del puente de hamaca, Desembocadura de la quebrada río Atulapa. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                          |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                   | Coliformes Fecales        | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                                                   | pH                        | 7.64  | Unidades pH  | 91.8             | 0.13 | 11.93 |
| 3                                                                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 21.08 | mg/l         | 12               | 0.12 | 1.44  |
| 4                                                                                                   | Nitratos                  | 0.18  | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                                                                   | Fosfatos                  | 0.24  | mg/l         | 84               | 0.11 | 9.24  |
| 6                                                                                                   | Turbidez                  | 2.9   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7                                                                                                   | Sólidos disueltos Totales | 43.46 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                   | Oxígeno Disuelto          | 100.3 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                            |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 77.15 |

| Río Atulapa 2                                                                                  |       |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: Limite de los Caseríos Plan de la Arada y El Duraznal, Finca de Byron Soto. |       |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                                     | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                                           | 20    | NMP/100 ml   | 68.18            | 0.17 | 11.59 |  |
| 2 pH                                                                                           | 7.69  | Unidades pH  | 90.5             | 0.13 | 11.77 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                                             | 21.69 | mg/l         | 11.5             | 0.12 | 1.38  |  |
| 4 Nitratos                                                                                     | 0.12  | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |  |
| 5 Fosfatos                                                                                     | 0.16  | mg/l         | 90               | 0.11 | 9.90  |  |
| 6 Turbidez                                                                                     | 1.85  | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                                    | 29.18 | mg/l         | 70               | 0.09 | 6.30  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                                             | 102.1 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                       |       |              | Suma             | 1.00 | 78.10 |  |

| Quebrada El Roble 2                                                |       |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del río Atulapa, Caserío la Cuestona. |       |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                         | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                               | 28    | NMP/100 ml   | 66.36            | 0.17 | 11.28 |  |
| 2 pH                                                               | 8.08  | Unidades pH  | 82               | 0.13 | 10.66 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                 | 22.89 | mg/l         | 11.2             | 0.12 | 1.34  |  |
| 4 Nitratos                                                         | 0.077 | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |  |
| 5 Fosfatos                                                         | 0.29  | mg/l         | 81               | 0.11 | 8.91  |  |
| 6 Turbidez                                                         | 3.9   | FAU          | 95               | 0.09 | 8.55  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                        | 52.58 | mg/l         | 87               | 0.09 | 7.83  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                 | 108.1 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                           |       |              | Suma             | 1.00 | 77.07 |  |

| Río Atulapa 4                                                      |        |              |                  |      |       |  |
|--------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del amate, Caserío El Jocotal. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                         | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                               | 20     | NMP/100 ml   | 68.18            | 0.17 | 11.59 |  |
| 2 pH                                                               | 8.03   | Unidades pH  | 84               | 0.13 | 10.92 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                 | 17.47  | mg/l         | 19               | 0.12 | 2.28  |  |
| 4 Nitratos                                                         | 0.085  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |  |
| 5 Fosfatos                                                         | 0.21   | mg/l         | 87               | 0.11 | 9.57  |  |
| 6 Turbidez                                                         | 2.1    | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                        | 32.77  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                 | 103.75 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                           |        |              | Suma             | 1.00 | 78.69 |  |

| Quebrada El Paxistal                                                     |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros antes del río Atulapa, Caserío Las Toreras. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                               |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                        | Coliformes Fecales        | 210    | NMP/100 ml   | 42.18            | 0.17 | 7.17  |
| 2                                                                        | pH                        | 7.65   | Unidades pH  | 90.5             | 0.13 | 11.77 |
| 3                                                                        | DBO <sub>5</sub>          | 20.48  | mg/l         | 11.9             | 0.12 | 1.43  |
| 4                                                                        | Nitratos                  | 0.0788 | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                        | Fosfatos                  | 0.28   | mg/l         | 84               | 0.11 | 9.24  |
| 6                                                                        | Turbidez                  | 3.6    | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                        | Sólidos disueltos Totales | 42.94  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                        | Oxígeno Disuelto          | 102    | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                 |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 73.93 |

| Río Atulapa La Presa                                             |                           |       |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros arriba de la Presa, Caserío El Limón |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                       |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                | Coliformes Fecales        | 75    | NMP/100 ml   | 53               | 0.17 | 9.01  |
| 2                                                                | pH                        | 7.94  | Unidades pH  | 86.3             | 0.13 | 11.22 |
| 3                                                                | DBO <sub>5</sub>          | 9.04  | mg/l         | 54.8             | 0.12 | 6.58  |
| 4                                                                | Nitratos                  | 0.066 | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                | Fosfatos                  | 0.2   | mg/l         | 87               | 0.11 | 9.57  |
| 6                                                                | Turbidez                  | 1.9   | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                | Sólidos disueltos Totales | 33.7  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                | Oxígeno Disuelto          | 103.6 | % saturación | 9.9              | 0.18 | 1.78  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                         |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 64.62 |

| Río Atulapa La Planta                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: A 25 metros abajo del puente la Planta. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                 |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                          | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 49               | 0.17 | 8.33  |
| 2                                                          | pH                        | 7.67   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                          | DBO <sub>5</sub>          | 58.43  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                          | Nitratos                  | 0.0024 | mg/l         | 98.7             | 0.11 | 10.86 |
| 5                                                          | Fosfatos                  | 0.5261 | mg/l         | 68.5             | 0.11 | 7.54  |
| 6                                                          | Turbidez                  | 3.1    | FAU          | 91.5             | 0.09 | 8.24  |
| 7                                                          | Sólidos disueltos Totales | 30.85  | mg/l         | 90               | 0.09 | 8.10  |
| 8                                                          | Oxígeno Disuelto          | 104.55 | % saturación | 97.5             | 0.18 | 17.55 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                   |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 72.81 |

| Río Atulapa Beneficio La Planta                                                |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 250 metros de la descarga de aguas mieles de Rolando Solís. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                     |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                              | Coliformes Fecales        | ≥2400 | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                                              | pH                        | 7.85  | Unidades pH  | 88               | 0.13 | 11.44 |
| 3                                                                              | DBO <sub>5</sub>          | 12.65 | mg/l         | 32               | 0.12 | 3.84  |
| 4                                                                              | Nitratos                  | 0.048 | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                              | Fosfatos                  | 0.16  | mg/l         | 90               | 0.11 | 9.90  |
| 6                                                                              | Turbidez                  | 3.3   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                              | Sólidos disueltos Totales | 38.56 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                              | Oxígeno Disuelto          | 102.5 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                       |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 72.91 |

| Parque Chatú                                                                               |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros debajo de la descarga de aguas residuales del parque Chatún. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                 |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                          | Coliformes Fecales        | ≥2400 | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                                                          | pH                        | 7.54  | Unidades pH  | 92.5             | 0.13 | 12.03 |
| 3                                                                                          | DBO <sub>5</sub>          | 19.88 | mg/l         | 18.8             | 0.12 | 2.26  |
| 4                                                                                          | Nitratos                  | 0.11  | mg/l         | 96.8             | 0.11 | 10.65 |
| 5                                                                                          | Fosfatos                  | 0.14  | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |
| 6                                                                                          | Turbidez                  | 3.1   | FAU          | 98               | 0.09 | 8.82  |
| 7                                                                                          | Sólidos disueltos Totales | 44.96 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                          | Oxígeno Disuelto          | 102.5 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                   |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 72.31 |

| Río Atulapa 6                                       |                           |       |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del puente ruta CA-10. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                          |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                   | Coliformes Fecales        | 1100  | NMP/100 ml   | 21.8             | 0.17 | 3.71  |
| 2                                                   | pH                        | 7.34  | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 23.49 | mg/l         | 12               | 0.12 | 1.44  |
| 4                                                   | Nitratos                  | 0.18  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                   | Fosfatos                  | 0.18  | mg/l         | 88               | 0.11 | 9.68  |
| 6                                                   | Turbidez                  | 3.4   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                   | Sólidos disueltos Totales | 45.18 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                   | Oxígeno Disuelto          | 94.4  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-            |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 69.09 |

| Río Atulapa Final                                                         |       |              |                  |      |       |  |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros arriba de la desembocadura del río Atulapa. |       |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                      | ≥2400 | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |  |
| 2 pH                                                                      | 7.44  | Unidades pH  | 93               | 0.13 | 12.09 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                        | 17.47 | mg/l         | 19               | 0.12 | 2.28  |  |
| 4 Nitratos                                                                | 0.11  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |  |
| 5 Fosfatos                                                                | 0.38  | mg/l         | 75               | 0.11 | 8.25  |  |
| 6 Turbidez                                                                | 19    | FAU          | 69               | 0.09 | 6.21  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                               | 49.76 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                        | 95.4  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |       |              | Suma             | 1.00 | 65.76 |  |

### Tercer Monitoreo, Septiembre 2013

| Quebrada Cruz de Piedra                                                          |        |              |                  |      |       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 12 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                       | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                             | 210    | NMP/100 ml   | 41.82            | 0.17 | 7.11  |  |
| 2 pH                                                                             | 7.37   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                               | 7.23   | mg/l         | 55               | 0.12 | 6.60  |  |
| 4 Nitratos                                                                       | 1.0071 | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |  |
| 5 Fosfatos                                                                       | 0.1042 | mg/l         | 90               | 0.11 | 9.90  |  |
| 6 Turbidez                                                                       | 0.9    | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                      | 23.74  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                               | 100.6  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                         |        |              |                  | 1.00 | 79.70 |  |

| Quebrada El Porvenir                                                             |        |              |                  |      |       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla. |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                       | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                             | 43     | NMP/100 ml   | 68.18            | 0.17 | 11.59 |  |
| 2 pH                                                                             | 7.3    | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                               | 15.66  | mg/l         | 99               | 0.12 | 11.88 |  |
| 4 Nitratos                                                                       | 0.2772 | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |  |
| 5 Fosfatos                                                                       | 0.0653 | mg/l         | 94               | 0.11 | 10.34 |  |
| 6 Turbidez                                                                       | 2.29   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                      | 18.304 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                               | 101.4  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                         |        |              | Suma             | 1.00 | 89.97 |  |

| Quebrada Don Fabio Solís                                             |                           |        |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Orilla de la Carretera, Caserío Plan de La Arada. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                      | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                    | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 68.18            | 0.17 | 11.59 |
| 2                                                                    | pH                        | 7.25   | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                    | DBO <sub>5</sub>          | 25.30  | mg/l         | 6                | 0.12 | 0.72  |
| 4                                                                    | Nitratos                  | 0.2228 | mg/l         | 95.25            | 0.11 | 10.48 |
| 5                                                                    | Fosfatos                  | 0.1667 | mg/l         | 88               | 0.11 | 9.68  |
| 6                                                                    | Turbidez                  | 6.87   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7                                                                    | Sólidos disueltos Totales | 21.95  | mg/l         | 79.1             | 0.09 | 7.12  |
| 8                                                                    | Oxígeno Disuelto          | 97.25  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                             |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.81 |

| Quebrada El Porvenir 2                                                |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 50 metros de la desembocadura sobre el río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                       | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                     | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                     | pH                        | 7.37   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                     | DBO <sub>5</sub>          | 13.25  | mg/l         | 33               | 0.12 | 3.96  |
| 4                                                                     | Nitratos                  | 0.5576 | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 5                                                                     | Fosfatos                  | 0.0625 | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |
| 6                                                                     | Turbidez                  | 3.23   | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                     | Sólidos disueltos Totales | 23.39  | mg/l         | 80               | 0.09 | 7.20  |
| 8                                                                     | Oxígeno Disuelto          | 102.2  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                              |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 80.65 |

| Río Atulapa 1                             |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Inicio del río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
|                                           | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                         | Coliformes Fecales        | 240    | NMP/100 ml   | 41.36            | 0.17 | 7.03  |
| 2                                         | pH                        | 7.48   | Unidades pH  | 89               | 0.13 | 11.57 |
| 3                                         | DBO <sub>5</sub>          | 7.83   | mg/l         | 32               | 0.12 | 3.84  |
| 4                                         | Nitratos                  | 0.375  | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |
| 5                                         | Fosfatos                  | 0.0722 | mg/l         | 94               | 0.11 | 10.34 |
| 6                                         | Turbidez                  | 4.06   | FAU          | 98               | 0.09 | 8.82  |
| 7                                         | Sólidos disueltos Totales | 26.69  | mg/l         | 79.5             | 0.09 | 7.16  |
| 8                                         | Oxígeno Disuelto          | 102.6  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 77.03 |

| Río El Volcán                                               |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 60 metros antes de unirse al río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                             | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                           | Coliformes Fecales        | 75     | NMP/100 ml   | 53               | 0.17 | 9.01  |
| 2                                                           | pH                        | 7.52   | Unidades pH  | 92.5             | 0.13 | 12.03 |
| 3                                                           | DBO <sub>5</sub>          | 16.27  | mg/l         | 95               | 0.12 | 11.40 |
| 4                                                           | Nitratos                  | 0.1467 | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                           | Fosfatos                  | 0.0708 | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 6                                                           | Turbidez                  | 6.34   | FAU          | 98               | 0.09 | 8.82  |
| 7                                                           | Sólidos disueltos Totales | 28.03  | mg/l         | 79.6             | 0.09 | 7.16  |
| 8                                                           | Oxígeno Disuelto          | 103.25 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                    |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 87.25 |

| Quebrada El Volcán 3                                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 25 metros arriba del puente, Finca Nazario Súcite y Juan Vásquez. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                      | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                    | Coliformes Fecales        | 460    | NMP/100 ml   | 35.4             | 0.17 | 6.02  |
| 2                                                                                    | pH                        | 7.31   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                                    | DBO <sub>5</sub>          | 9.64   | mg/l         | 52               | 0.12 | 6.24  |
| 4                                                                                    | Nitratos                  | 0.737  | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |
| 5                                                                                    | Fosfatos                  | 0.0444 | mg/l         | 93.2             | 0.11 | 10.25 |
| 6                                                                                    | Turbidez                  | 3.99   | FAU          | 89               | 0.09 | 8.01  |
| 7                                                                                    | Sólidos disueltos Totales | 17.7   | mg/l         | 79.7             | 0.09 | 7.17  |
| 8                                                                                    | Oxígeno Disuelto          | 102.3  | % saturación | 98.8             | 0.18 | 17.78 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                             |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 77.67 |

| Río Volcán Arriba                                                                                             |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba de la carretera, limite Caserío Plan de la Arada y Caserío El Portezuelo. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                                               | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                             | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                                                             | pH                        | 7.57   | Unidades pH  | 89.8             | 0.13 | 11.67 |
| 3                                                                                                             | DBO <sub>5</sub>          | 12.05  | mg/l         | 93.9             | 0.12 | 11.27 |
| 4                                                                                                             | Nitratos                  | 0.5978 | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                                                                             | Fosfatos                  | 0.1139 | mg/l         | 90.5             | 0.11 | 9.96  |
| 6                                                                                                             | Turbidez                  | 4.01   | FAU          | 98               | 0.09 | 8.82  |
| 7                                                                                                             | Sólidos disueltos Totales | 32.99  | mg/l         | 79.1             | 0.09 | 7.12  |
| 8                                                                                                             | Oxígeno Disuelto          | 103.5  | % saturación | 99.2             | 0.18 | 17.86 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                                      |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 87.66 |

| La Quebradona                                                                                   |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 40 metros arriba del puente, limite del Caserío El Duraznal y El Portezuelo. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                                 | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                               | Coliformes Fecales        | 240    | NMP/100 ml   | 35.45            | 0.17 | 6.03  |
| 2                                                                                               | pH                        | 7.54   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                                               | DBO <sub>5</sub>          | 36.14  | mg/l         | 96.5             | 0.12 | 11.58 |
| 4                                                                                               | Nitratos                  | 1.2207 | mg/l         | 96.1             | 0.11 | 10.57 |
| 5                                                                                               | Fosfatos                  | 0.1319 | mg/l         | 90.9             | 0.11 | 10.00 |
| 6                                                                                               | Turbidez                  | 4.41   | FAU          | 97.1             | 0.09 | 8.74  |
| 7                                                                                               | Sólidos disueltos Totales | 33.18  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                               | Oxígeno Disuelto          | 102.1  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                        |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 83.81 |

| Quebrada Beneficio Edgar Garza             |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: En el puente de Madera. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                            | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                          | Coliformes Fecales        | 15     | NMP/100 ml   | 69.54            | 0.17 | 11.82 |
| 2                                          | pH                        | 7.35   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                          | DBO <sub>5</sub>          | 17.47  | mg/l         | 32.8             | 0.12 | 3.94  |
| 4                                          | Nitratos                  | 2.7554 | mg/l         | 93.2             | 0.11 | 10.25 |
| 5                                          | Fosfatos                  | 0.4389 | mg/l         | 70.9             | 0.11 | 7.80  |
| 6                                          | Turbidez                  | 3.47   | FAU          | 96.9             | 0.09 | 8.72  |
| 7                                          | Sólidos disueltos Totales | 31.49  | mg/l         | 79.1             | 0.09 | 7.12  |
| 8                                          | Oxígeno Disuelto          | 100.15 | % saturación | 99.2             | 0.18 | 17.86 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-   |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 79.46 |

| Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo              |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 50 metros abajo del beneficio. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                   | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                 | Coliformes Fecales        | 460    | NMP/100 ml   | 35.4             | 0.17 | 6.02  |
| 2                                                 | pH                        | 7.15   | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                 | DBO <sub>5</sub>          | 19.88  | mg/l         | 18.5             | 0.12 | 2.22  |
| 4                                                 | Nitratos                  | 2.3043 | mg/l         | 98.1             | 0.11 | 10.79 |
| 5                                                 | Fosfatos                  | 0.4028 | mg/l         | 74               | 0.11 | 8.14  |
| 6                                                 | Turbidez                  | 4.09   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                 | Sólidos disueltos Totales | 32.93  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                 | Oxígeno Disuelto          | 96.4   | % saturación | 89               | 0.18 | 16.02 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-          |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 70.77 |

| Quebrada El Muro                                             |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del muro, El Portezuelo. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                   |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                            | Coliformes Fecales        | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                            | pH                        | 7.28  | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                            | DBO <sub>5</sub>          | 21.08 | mg/l         | 97               | 0.12 | 11.64 |
| 4                                                            | Nitratos                  | 0.3   | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5                                                            | Fosfatos                  | 0.106 | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |
| 6                                                            | Turbidez                  | 25.3  | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                            | Sólidos disueltos Totales | 18.94 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                            | Oxígeno Disuelto          | 98.4  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                     |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 86.43 |

| Quebrada La Cuestona                                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros debajo de la carretera, Caserío La Cuestona. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 210    | NMP/100 ml   | 42.18            | 0.17 | 7.17  |
| 2                                                                         | pH                        | 7.24   | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 14.46  | mg/l         | 32.1             | 0.12 | 3.85  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 4.4707 | mg/l         | 95.5             | 0.11 | 10.51 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.6778 | mg/l         | 59               | 0.11 | 6.49  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 98.5   | FAU          | 21               | 0.09 | 1.89  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 36.61  | mg/l         | 79.2             | 0.09 | 7.13  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 77.86  | % saturación | 58.63            | 0.18 | 10.55 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 59.42 |

| Quebrada El Roble                                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros debajo de la Quebrada, Caserío la Cuestona |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                             |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                      | Coliformes Fecales        | 150    | NMP/100 ml   | 43.9             | 0.17 | 7.46  |
| 2                                                                      | pH                        | 7.13   | Unidades pH  | 89.8             | 0.13 | 11.67 |
| 3                                                                      | DBO <sub>5</sub>          | 36.14  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                      | Nitratos                  | 7.9147 | mg/l         | 94               | 0.11 | 10.34 |
| 5                                                                      | Fosfatos                  | 0.2583 | mg/l         | 82               | 0.11 | 9.02  |
| 6                                                                      | Turbidez                  | 9.4    | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7                                                                      | Sólidos disueltos Totales | 48.42  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                      | Oxígeno Disuelto          | 89.55  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                               |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 70.33 |

| La Quebradona 2                                                                                     |       |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del puente de hamaca, Desembocadura de la quebrada río Atulapa. |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                          | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1 Coliformes Fecales                                                                                | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2 pH                                                                                                | 7.64  | Unidades pH  | 91.8             | 0.13 | 11.93 |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                                                  | 21.08 | mg/l         | 12               | 0.12 | 1.44  |
| 4 Nitratos                                                                                          | 0.18  | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5 Fosfatos                                                                                          | 0.24  | mg/l         | 84               | 0.11 | 9.24  |
| 6 Turbidez                                                                                          | 2.9   | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                                         | 43.46 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                                                  | 100.3 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                            |       |              | Suma             | 1.00 | 77.15 |

| Río Atulapa 2                                                                                  |       |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Limite de los Caseríos Plan de la Arada y El Duraznal, Finca de Byron Soto. |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                     | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1 Coliformes Fecales                                                                           | 20    | NMP/100 ml   | 68.18            | 0.17 | 11.59 |
| 2 pH                                                                                           | 7.69  | Unidades pH  | 90.5             | 0.13 | 11.77 |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                                             | 21.69 | mg/l         | 11.5             | 0.12 | 1.38  |
| 4 Nitratos                                                                                     | 0.12  | mg/l         | 96.5             | 0.11 | 10.62 |
| 5 Fosfatos                                                                                     | 0.16  | mg/l         | 90               | 0.11 | 9.90  |
| 6 Turbidez                                                                                     | 1.85  | FAU          | 97               | 0.09 | 8.73  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                                    | 29.18 | mg/l         | 70               | 0.09 | 6.30  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                                             | 102.1 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                                       |       |              | Suma             | 1.00 | 78.10 |

| Quebrada El Roble 2                                      |        |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del río Atulapa, Caserío la |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                               | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1 Coliformes Fecales                                     | 1100   | NMP/100 ml   | 21.8             | 0.17 | 3.71  |
| 2 pH                                                     | 7.36   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                       | 19.88  | mg/l         | 31.1             | 0.12 | 3.73  |
| 4 Nitratos                                               | 7.2663 | mg/l         | 97.1             | 0.11 | 10.68 |
| 5 Fosfatos                                               | 0.2667 | mg/l         | 84.8             | 0.11 | 9.33  |
| 6 Turbidez                                               | 24.4   | FAU          | 60.5             | 0.09 | 5.45  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                              | 47.1   | mg/l         | 78.2             | 0.09 | 7.04  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                       | 101.8  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                 |        |              | Suma             | 1.00 | 69.71 |

| Río Atulapa 4                                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del amate, Caserío El Jocotal. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                         |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                  | Coliformes Fecales        | ≥2400  | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                                  | pH                        | 7.48   | Unidades pH  | 93               | 0.13 | 12.09 |
| 3                                                                  | DBO <sub>5</sub>          | 13.86  | mg/l         | 31.2             | 0.12 | 3.74  |
| 4                                                                  | Nitratos                  | 1.6141 | mg/l         | 95.1             | 0.11 | 10.46 |
| 5                                                                  | Fosfatos                  | 0.1931 | mg/l         | 87.5             | 0.11 | 9.63  |
| 6                                                                  | Turbidez                  | 12.1   | FAU          | 76.1             | 0.09 | 6.85  |
| 7                                                                  | Sólidos disueltos Totales | 29.86  | mg/l         | 79.1             | 0.09 | 7.12  |
| 8                                                                  | Oxígeno Disuelto          | 102.75 | % saturación | 99.2             | 0.18 | 17.86 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                           |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 71.14 |

| Quebrada El Paxistal                                                     |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros antes del río Atulapa, Caserío Las Toreras. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                               |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                        | Coliformes Fecales        | 150    | NMP/100 ml   | 43.9             | 0.17 | 7.46  |
| 2                                                                        | pH                        | 7.18   | Unidades pH  | 90.8             | 0.13 | 11.80 |
| 3                                                                        | DBO <sub>5</sub>          | 19.28  | mg/l         | 33               | 0.12 | 3.96  |
| 4                                                                        | Nitratos                  | 3.8098 | mg/l         | 95.9             | 0.11 | 10.55 |
| 5                                                                        | Fosfatos                  | 0.1639 | mg/l         | 87.2             | 0.11 | 9.59  |
| 6                                                                        | Turbidez                  | 17.5   | FAU          | 76.5             | 0.09 | 6.89  |
| 7                                                                        | Sólidos disueltos Totales | 37.15  | mg/l         | 78.4             | 0.09 | 7.06  |
| 8                                                                        | Oxígeno Disuelto          | 102.01 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                 |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.13 |

| Río Atulapa la Presa                                             |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros arriba de la Presa, Caserío El Limón |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                       |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                | Coliformes Fecales        | 1100   | NMP/100 ml   | 21.8             | 0.17 | 3.71  |
| 2                                                                | pH                        | 7.47   | Unidades pH  | 88               | 0.13 | 11.44 |
| 3                                                                | DBO <sub>5</sub>          | 20.48  | mg/l         | 11.7             | 0.12 | 1.40  |
| 4                                                                | Nitratos                  | 2.219  | mg/l         | 97.3             | 0.11 | 10.70 |
| 5                                                                | Fosfatos                  | 0.2292 | mg/l         | 85               | 0.11 | 9.35  |
| 6                                                                | Turbidez                  | 16.5   | FAU          | 76.1             | 0.09 | 6.85  |
| 7                                                                | Sólidos disueltos Totales | 32.45  | mg/l         | 79.3             | 0.09 | 7.14  |
| 8                                                                | Oxígeno Disuelto          | 103.65 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                         |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 68.41 |

| Río Atulapa la Planta                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: A 25 metros abajo del puente la Planta. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                            | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                          | Coliformes Fecales        | ≥2400  | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                          | pH                        | 7.41   | Unidades pH  | 92.5             | 0.13 | 12.03 |
| 3                                                          | DBO <sub>5</sub>          | 13.86  | mg/l         | 31.1             | 0.12 | 3.73  |
| 4                                                          | Nitratos                  | 2.47   | mg/l         | 98.8             | 0.11 | 10.87 |
| 5                                                          | Fosfatos                  | 0.25   | mg/l         | 82.5             | 0.11 | 9.08  |
| 6                                                          | Turbidez                  | 23.3   | FAU          | 60.3             | 0.09 | 5.43  |
| 7                                                          | Sólidos disueltos Totales | 33.02  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                          | Oxígeno Disuelto          | 102.55 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                   |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 69.46 |

| Río Atulapa Beneficio la Planta                                                |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 250 metros de la descarga de aguas mieles de Rolando Solís. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                              | Coliformes Fecales        | 1100   | NMP/100 ml   | 21.8             | 0.17 | 3.71  |
| 2                                                                              | pH                        | 7.31   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                                              | DBO <sub>5</sub>          | 15.66  | mg/l         | 18.5             | 0.12 | 2.22  |
| 4                                                                              | Nitratos                  | 2.4255 | mg/l         | 98.7             | 0.11 | 10.86 |
| 5                                                                              | Fosfatos                  | 0.25   | mg/l         | 72.5             | 0.11 | 7.98  |
| 6                                                                              | Turbidez                  | 23.7   | FAU          | 60.1             | 0.09 | 5.41  |
| 7                                                                              | Sólidos disueltos Totales | 33.66  | mg/l         | 79.1             | 0.09 | 7.12  |
| 8                                                                              | Oxígeno Disuelto          | 102.95 | % saturación | 98.6             | 0.18 | 17.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                       |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 66.99 |

| Parque Chatún                                                            |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros abajo donde se une la quebrada el Paxistal. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                          | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                        | Coliformes Fecales        | ≥2400  | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                                        | pH                        | 7.34   | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                        | DBO <sub>5</sub>          | 21.08  | mg/l         | 12               | 0.12 | 1.44  |
| 4                                                                        | Nitratos                  | 2.1848 | mg/l         | 98.4             | 0.11 | 10.82 |
| 5                                                                        | Fosfatos                  | 0.2944 | mg/l         | 82.8             | 0.11 | 9.11  |
| 6                                                                        | Turbidez                  | 35.2   | FAU          | 51.5             | 0.09 | 4.64  |
| 7                                                                        | Sólidos disueltos Totales | 44.96  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                        | Oxígeno Disuelto          | 102.2  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                 |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 66.17 |

| Río Atulapa 6                                       |                           |        |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del puente ruta CA-10. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                     | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                   | Coliformes Fecales        | 1100   | NMP/100 ml   | 21.8             | 0.17 | 3.71  |
| 2                                                   | pH                        | 7.36   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 28.31  | mg/l         | 6.5              | 0.12 | 0.78  |
| 4                                                   | Nitratos                  | 2.2228 | mg/l         | 96.8             | 0.11 | 10.65 |
| 5                                                   | Fosfatos                  | 0.3069 | mg/l         | 78.5             | 0.11 | 8.64  |
| 6                                                   | Turbidez                  | 42.6   | FAU          | 45.5             | 0.09 | 4.10  |
| 7                                                   | Sólidos disueltos Totales | 45.18  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                   | Oxígeno Disuelto          | 94.8   | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-            |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 62.68 |

| Río Atulapa Final                                                         |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros arriba de la desembocadura del río Atulapa. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                           | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                                                         | pH                        | 7.16   | Unidades pH  | 90.5             | 0.13 | 11.77 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 36.14  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 1.837  | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.3069 | mg/l         | 77.5             | 0.11 | 8.53  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 47.2   | FAU          | 46               | 0.09 | 4.14  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 49.76  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 95.4   | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-                                  |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 66.27 |

### Cuarto Monitoreo, Enero 2014.

| Quebrada Cruz de Piedra                                                          |                           |        |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 12 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                  | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                | Coliformes Fecales        | 240    | NMP/100 ml   | 41.18            | 0.17 | 7.00  |
| 2                                                                                | pH                        | 7.02   | Unidades pH  | 89.9             | 0.13 | 11.69 |
| 3                                                                                | DBO <sub>5</sub>          | 103.31 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                | Nitratos                  | 1.032  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                                | Fosfatos                  | 0.11   | mg/l         | 97.8             | 0.11 | 10.76 |
| 6                                                                                | Turbidez                  | 2.4    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                                | Sólidos disueltos Totales | 22.69  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                | Oxígeno Disuelto          | 99.45  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                          |                           |        |              |                  | 1.00 | 71.99 |

| Quebrada El Porvenir                                                             |                           |        |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros arriba de la carretera, Finca de Jacobo Chinchilla. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                                  | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 61.09            | 0.17 | 10.39 |
| 2                                                                                | pH                        | 7.14   | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                                                | DBO <sub>5</sub>          | 115.96 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                | Nitratos                  | 0.36   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                                | Fosfatos                  | 0.033  | mg/l         | 97.8             | 0.11 | 10.76 |
| 6                                                                                | Turbidez                  | 2.9    | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                                | Sólidos disueltos Totales | 19.46  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                | Oxígeno Disuelto          | 98.45  | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                          |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.30 |

| Quebrada Don Fabio Solis                                             |                           |        |              |                  |      |       |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Orilla de la Carretera, Caserio Plan de La Arada. |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                      | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                    | Coliformes Fecales        | 23     | NMP/100 ml   | 67.72            | 0.17 | 11.51 |
| 2                                                                    | pH                        | 7.07   | Unidades pH  | 90.5             | 0.13 | 11.77 |
| 3                                                                    | DBO <sub>5</sub>          | 118.37 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                    | Nitratos                  | 0.22   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                    | Fosfatos                  | 0.26   | mg/l         | 84               | 0.11 | 9.24  |
| 6                                                                    | Turbidez                  | 5.7    | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                    | Sólidos disueltos Totales | 23.39  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                    | Oxígeno Disuelto          | 95.9   | % saturación | 88               | 0.18 | 15.84 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                              |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.06 |

| Quebrada El Porvenir 2                                                |                           |       |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 50 metros de la desembocadura sobre el río Atulapa |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                            |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                     | Coliformes Fecales        | 75    | NMP/100 ml   | 53               | 0.17 | 9.01  |
| 2                                                                     | pH                        | 6.76  | Unidades pH  | 79               | 0.13 | 10.27 |
| 3                                                                     | DBO <sub>5</sub>          | 66.27 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                     | Nitratos                  | 0.58  | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |
| 5                                                                     | Fosfatos                  | 0.081 | mg/l         | 94               | 0.11 | 10.34 |
| 6                                                                     | Turbidez                  | 2.4   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                     | Sólidos disueltos Totales | 22.53 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                     | Oxígeno Disuelto          | 100.3 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                               |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 74.02 |

| Río Atulapa 1                             |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Inicio del río Atulapa |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                         | Coliformes Fecales        | 460    | NMP/100 ml   | 35.4             | 0.17 | 6.02  |
| 2                                         | pH                        | 7.14   | Unidades pH  | 90.9             | 0.13 | 11.82 |
| 3                                         | DBO <sub>5</sub>          | 145.10 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                         | Nitratos                  | 0.46   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                         | Fosfatos                  | 0.15   | mg/l         | 90               | 0.11 | 9.90  |
| 6                                         | Turbidez                  | 2.6    | FAU          | 96.4             | 0.09 | 8.68  |
| 7                                         | Sólidos disueltos Totales | 24.19  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                         | Oxígeno Disuelto          | 100.7  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-   |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 72.14 |

| Río El Volcán                                              |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 60 metros antes de unirse al río Atulpa |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                 |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                          | Coliformes Fecales        | 4      | NMP/100 ml   | 90.9             | 0.17 | 15.45 |
| 2                                                          | pH                        | 7.25   | Unidades pH  | 91.4             | 0.13 | 11.88 |
| 3                                                          | DBO <sub>5</sub>          | 117.47 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                          | Nitratos                  | 0.002  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                          | Fosfatos                  | 0.237  | mg/l         | 85.5             | 0.11 | 9.41  |
| 6                                                          | Turbidez                  | 2.5    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                          | Sólidos disueltos Totales | 24.38  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                          | Oxígeno Disuelto          | 101.2  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                    |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 81.36 |

| Quebrada El Volcán 3                                                                  |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 25 metros arriba del puente, Finca Nazario Súchite y Juan Vasquez. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                            |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                     | Coliformes Fecales        | 9      | NMP/100 ml   | 75.45            | 0.17 | 12.83 |
| 2                                                                                     | pH                        | 7.08   | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                                                     | DBO <sub>5</sub>          | 115.36 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                     | Nitratos                  | 0.42   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                                     | Fosfatos                  | 0.042  | mg/l         | 98               | 0.11 | 10.78 |
| 6                                                                                     | Turbidez                  | 1.9    | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                                     | Sólidos disueltos Totales | 14.98  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                     | Oxígeno Disuelto          | 100.1  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                               |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 79.83 |

| Río Volcán Arriba                                                                                             |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba de la carretera, limite Caserio Plan de la Arada y Caserio El Portezuelo. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                                    |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                             | Coliformes Fecales        | 9      | NMP/100 ml   | 75.45            | 0.17 | 12.83 |
| 2                                                                                                             | pH                        | 7.27   | Unidades pH  | 91.5             | 0.13 | 11.90 |
| 3                                                                                                             | DBO <sub>5</sub>          | 119.58 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                             | Nitratos                  | 0.41   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                                                             | Fosfatos                  | 0.21   | mg/l         | 86.5             | 0.11 | 9.52  |
| 6                                                                                                             | Turbidez                  | 2.1    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                                                             | Sólidos disueltos Totales | 28.45  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                             | Oxígeno Disuelto          | 102.06 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                                                       |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 78.85 |

| La Quebradona                                                                                   |                           |        |              |                  |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 40 metros arriba del puente, limite del Caserio El Duraznal y El Portezuelo. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                      |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                               | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                                               | pH                        | 7.8    | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                                                               | DBO <sub>5</sub>          | 97.29  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                               | Nitratos                  | 0.92   | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 5                                                                                               | Fosfatos                  | 0.32   | mg/l         | 80               | 0.11 | 8.80  |
| 6                                                                                               | Turbidez                  | 4.4    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                                               | Sólidos disueltos Totales | 33.12  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                               | Oxígeno Disuelto          | 100.65 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                                         |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 75.19 |

| Quebrada Beneficio Edgar Garza             |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: En el puente de Madera. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                 |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                          | Coliformes Fecales        | 15     | NMP/100 ml   | 69.54            | 0.17 | 11.82 |
| 2                                          | pH                        | 7.35   | Unidades pH  | 92               | 0.13 | 11.96 |
| 3                                          | DBO <sub>5</sub>          | 17.47  | mg/l         | 32.8             | 0.12 | 3.94  |
| 4                                          | Nitratos                  | 2.7554 | mg/l         | 93.2             | 0.11 | 10.25 |
| 5                                          | Fosfatos                  | 0.4389 | mg/l         | 70.9             | 0.11 | 7.80  |
| 6                                          | Turbidez                  | 3.47   | FAU          | 96.9             | 0.09 | 8.72  |
| 7                                          | Sólidos disueltos Totales | 31.49  | mg/l         | 79.1             | 0.09 | 7.12  |
| 8                                          | Oxígeno Disuelto          | 100.15 | % saturación | 99.2             | 0.18 | 17.86 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-    |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 79.46 |

| Quebrada Beneficio Edgar Garza Abajo              |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 50 metros abajo del beneficio. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                        |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                 | Coliformes Fecales        | 460    | NMP/100 ml   | 35.4             | 0.17 | 6.02  |
| 2                                                 | pH                        | 7.15   | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                 | DBO <sub>5</sub>          | 19.88  | mg/l         | 18.5             | 0.12 | 2.22  |
| 4                                                 | Nitratos                  | 2.3043 | mg/l         | 98.1             | 0.11 | 10.79 |
| 5                                                 | Fosfatos                  | 0.4028 | mg/l         | 74               | 0.11 | 8.14  |
| 6                                                 | Turbidez                  | 4.09   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                 | Sólidos disueltos Totales | 32.93  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                 | Oxígeno Disuelto          | 96.4   | % saturación | 89               | 0.18 | 16.02 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-           |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 70.77 |

| Quebrada El Muro                                             |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del muro, El Portezuelo. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                   |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                            | Coliformes Fecales        | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                            | pH                        | 6.95  | Unidades pH  | 87.5             | 0.13 | 11.38 |
| 3                                                            | DBO <sub>5</sub>          | 75.30 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                            | Nitratos                  | 0.87  | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 5                                                            | Fosfatos                  | 0.17  | mg/l         | 88.8             | 0.11 | 9.77  |
| 6                                                            | Turbidez                  | 8.8   | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                            | Sólidos disueltos Totales | 19.07 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                            | Oxígeno Disuelto          | 98.75 | % saturación | 88               | 0.18 | 15.84 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                      |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 73.77 |

| Quebrada La Cuestona                                                      |                           |       |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros debajo de la carretera, Caserio La Cuestona. |                           |       |              |                  |      |       |
|                                                                           | Parámetros                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | ≥2400 | NMP/100 ml   | 3                | 0.17 | 0.51  |
| 2                                                                         | pH                        | 7.01  | Unidades pH  | 89.7             | 0.13 | 11.66 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 79.52 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 2.1   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.43  | mg/l         | 73.5             | 0.11 | 8.09  |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 77.4  | FAU          | 29               | 0.09 | 2.61  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 39.14 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 96.75 | % saturación | 88               | 0.18 | 15.84 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                   |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 56.73 |

| Quebrada El Roble                                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros debajo de la Quebrada, Caserio la Cuestona |                           |        |              |                  |      |       |
|                                                                        | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                      | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                                                      | pH                        | 7.11   | Unidades pH  | 90               | 0.13 | 11.70 |
| 3                                                                      | DBO <sub>5</sub>          | 192.17 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                      | Nitratos                  | 1.94   | mg/l         | 94.2             | 0.11 | 10.36 |
| 5                                                                      | Fosfatos                  | 0.306  | mg/l         | 64.4             | 0.11 | 7.08  |
| 6                                                                      | Turbidez                  | 5.4    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                      | Sólidos disueltos Totales | 50.21  | mg/l         | 87.2             | 0.09 | 7.85  |
| 8                                                                      | Oxígeno Disuelto          | 93.95  | % saturación | 88               | 0.18 | 15.84 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 69.81 |

| La Quebradona 2                                                                                     |                           |       |              |                  |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del puente de hamaca, Desembocadura de la quebrada río Atulapa. |                           |       |              |                  |      |       |
|                                                                                                     | Parámetros                | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                                   | Coliformes Fecales        | 43    | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                                                   | pH                        | 7.24  | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 76.51 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                                   | Nitratos                  | 1.5   | mg/l         | 96               | 0.11 | 10.56 |
| 5                                                                                                   | Fosfatos                  | 1.87  | mg/l         | 28.4             | 0.11 | 3.12  |
| 6                                                                                                   | Turbidez                  | 4.2   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                                                   | Sólidos disueltos Totales | 32.54 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                                   | Oxígeno Disuelto          | 99.95 | % saturación | 88               | 0.18 | 15.84 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                                             |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 67.83 |

| Río Atualpa 2                                                                                  |                           |       |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: Limite de los Caserios Plan de la Arada y El Duraznal, Finca de Byron Soto. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                                                     |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                                              | Coliformes Fecales        | 9     | NMP/100 ml   | 75.45            | 0.17 | 12.83 |
| 2                                                                                              | pH                        | 7.42  | Unidades pH  | 93               | 0.13 | 12.09 |
| 3                                                                                              | DBO <sub>5</sub>          | 45.78 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                                              | Nitratos                  | 1.18  | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                                              | Fosfatos                  | 0.14  | mg/l         | 91               | 0.11 | 10.01 |
| 6                                                                                              | Turbidez                  | 2.6   | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                                              | Sólidos disueltos Totales | 25.02 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                                              | Oxígeno Disuelto          | 100.5 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                                        |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 79.45 |

| Quebrada El Roble 2                                                 |                           |        |              |                  |      |       |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del río Atualapa, Caserio la Cuestona. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                          |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                   | Coliformes Fecales        | 43     | NMP/100 ml   | 60.9             | 0.17 | 10.35 |
| 2                                                                   | pH                        | 7.28   | Unidades pH  | 91.5             | 0.13 | 11.90 |
| 3                                                                   | DBO <sub>5</sub>          | 112.65 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                   | Nitratos                  | 2      | mg/l         | 89               | 0.11 | 9.79  |
| 5                                                                   | Fosfatos                  | 0.2    | mg/l         | 86.5             | 0.11 | 9.52  |
| 6                                                                   | Turbidez                  | 10.1   | FAU          | 76.3             | 0.09 | 6.87  |
| 7                                                                   | Sólidos disueltos Totales | 47.68  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                   | Oxígeno Disuelto          | 100.45 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                             |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 73.59 |

| Río Atulapa 4                                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros arriba del amate, Caserio El Jocotal. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                         |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                  | Coliformes Fecales        | 150    | NMP/100 ml   | 43.9             | 0.17 | 7.46  |
| 2                                                                  | pH                        | 7.01   | Unidades pH  | 89.8             | 0.13 | 11.67 |
| 3                                                                  | DBO <sub>5</sub>          | 196.39 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                  | Nitratos                  | 0.92   | mg/l         | 94.5             | 0.11 | 10.40 |
| 5                                                                  | Fosfatos                  | 0.175  | mg/l         | 86.5             | 0.11 | 9.52  |
| 6                                                                  | Turbidez                  | 3.6    | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |
| 7                                                                  | Sólidos disueltos Totales | 28.06  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                  | Oxígeno Disuelto          | 101.2  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                            |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 72.90 |

| Quebrada El Paxistal                                                     |                           |       |              |                  |      |       |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 10 metros antes del río Atulapa, Caserio Las Toreras. |                           |       |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                               |                           | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                        | Coliformes Fecales        | 93    | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                                                        | pH                        | 7.2   | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |
| 3                                                                        | DBO <sub>5</sub>          | 9.04  | mg/l         | 55               | 0.12 | 6.60  |
| 4                                                                        | Nitratos                  | 0.84  | mg/l         | 94               | 0.11 | 10.34 |
| 5                                                                        | Fosfatos                  | 0.65  | mg/l         | 60               | 0.11 | 6.60  |
| 6                                                                        | Turbidez                  | 9.1   | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                                        | Sólidos disueltos Totales | 33.47 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                        | Oxígeno Disuelto          | 99.55 | % saturación | 87.5             | 0.18 | 15.75 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                  |                           |       |              | Suma             | 1.00 | 74.96 |

| Río: Atulapa La Presa                                            |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 5 metros arriba de la Presa, Caserio El Limón |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                       |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                                | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17 | 7.96  |
| 2                                                                | pH                        | 7.29   | Unidades pH  | 91.5             | 0.13 | 11.90 |
| 3                                                                | DBO <sub>5</sub>          | 88.50  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                                | Nitratos                  | 1.05   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                                | Fosfatos                  | 0.15   | mg/l         | 88.5             | 0.11 | 9.74  |
| 6                                                                | Turbidez                  | 2.9    | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |
| 7                                                                | Sólidos disueltos Totales | 28.8   | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                                | Oxígeno Disuelto          | 101.55 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                          |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 74.07 |

| Río Atulapa La Planta                                      |                           |        |              |                  |      |       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: A 25 metros abajo del puente la Planta. |                           |        |              |                  |      |       |
| Parámetros                                                 |                           | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |
| 1                                                          | Coliformes Fecales        | ≥2400  | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |
| 2                                                          | pH                        | 7.4    | Unidades pH  | 92.4             | 0.13 | 12.01 |
| 3                                                          | DBO <sub>5</sub>          | 62.65  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |
| 4                                                          | Nitratos                  | 1.04   | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |
| 5                                                          | Fosfatos                  | 0.472  | mg/l         | 71.5             | 0.11 | 7.87  |
| 6                                                          | Turbidez                  | 3.3    | FAU          | 97.5             | 0.09 | 8.78  |
| 7                                                          | Sólidos disueltos Totales | 29.88  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |
| 8                                                          | Oxígeno Disuelto          | 101.35 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                    |                           |        |              | Suma             | 1.00 | 67.89 |

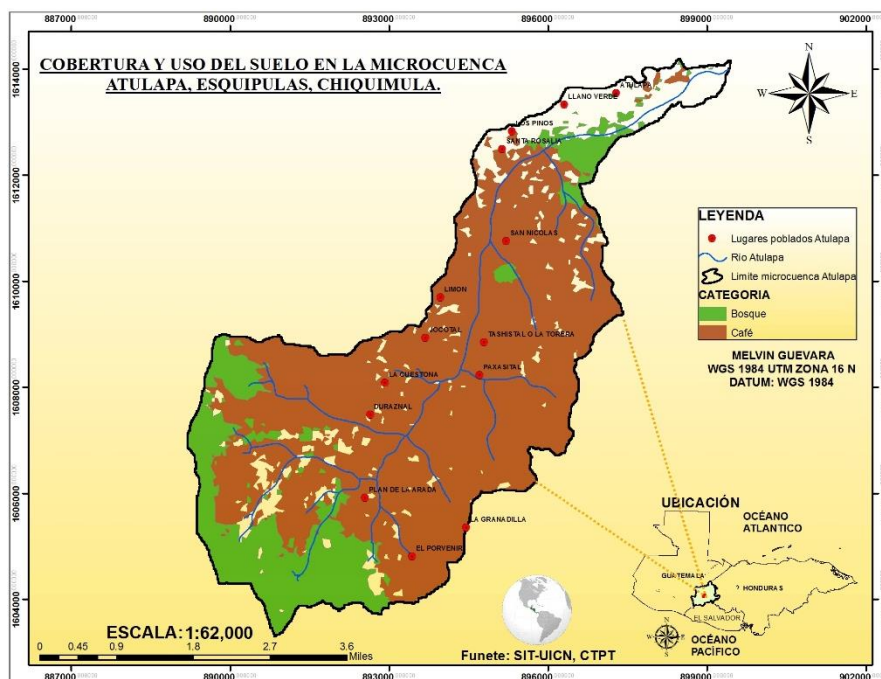
| Río Atulapa Beneficio La Planta                                                       |       |              |                  |      |       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------------|------|-------|--|
| <b>PUNTO DE MUESTREO: 250 metros de la descarga de aguas mieles de Rolando Solís.</b> |       |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                            | Valor | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                                  | ≥2400 | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |  |
| 2 pH                                                                                  | 7.24  | Unidades pH  | 91               | 0.13 | 11.83 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                                    | 49.40 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |  |
| 4 Nitratos                                                                            | 0.88  | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |  |
| 5 Fosfatos                                                                            | 0.065 | mg/l         | 95.8             | 0.11 | 10.54 |  |
| 6 Turbidez                                                                            | 3.8   | FAU          | 95.7             | 0.09 | 8.61  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                           | 29.98 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                                    | 101.7 | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                               |       |              | Suma             | 1.00 | 69.78 |  |

| Parque Chatún                                                                   |        |              |                  |      |       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| <b>PUNTO DE MUESTREO: 20 metros abajo donde se une la quebrada el Paxistal.</b> |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                                      | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                                            | ≥2400  | NMP/100 ml   | 20               | 0.17 | 3.40  |  |
| 2 pH                                                                            | 7.13   | Unidades pH  | 90.3             | 0.13 | 11.74 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                                              | 85.54  | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |  |
| 4 Nitratos                                                                      | 0.74   | mg/l         | 95               | 0.11 | 10.45 |  |
| 5 Fosfatos                                                                      | 0.1    | mg/l         | 93               | 0.11 | 10.23 |  |
| 6 Turbidez                                                                      | 5.6    | FAU          | 96.5             | 0.09 | 8.69  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                                     | 32.128 | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                                              | 102.7  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                         |        |              | Suma             | 1.00 | 69.67 |  |

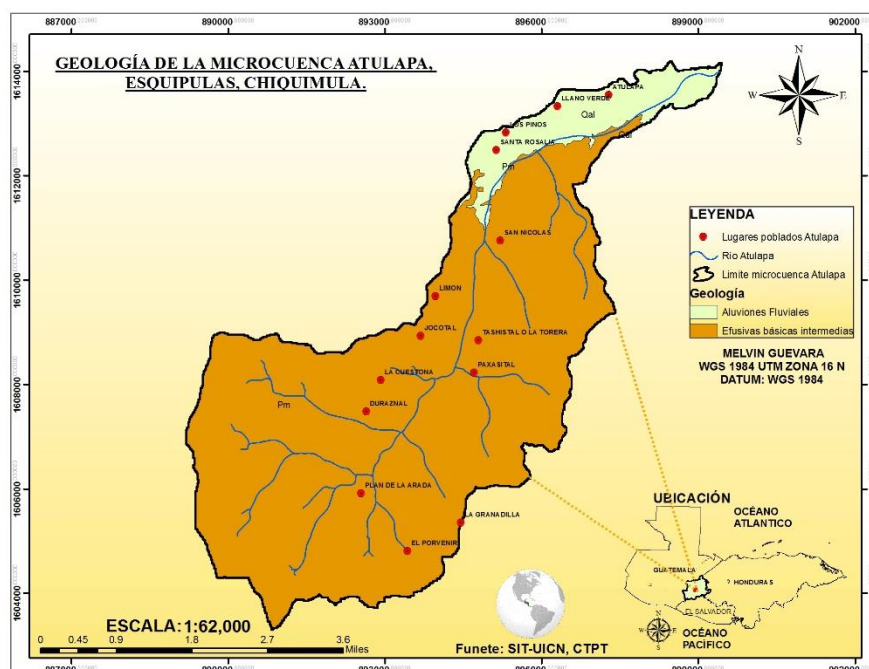
| Río Atulapa 6                                              |        |              |                  |      |       |  |
|------------------------------------------------------------|--------|--------------|------------------|------|-------|--|
| <b>PUNTO DE MUESTREO: 20 metros del puente ruta CA-10.</b> |        |              |                  |      |       |  |
| Parámetros                                                 | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | Wi   | Total |  |
| 1 Coliformes Fecales                                       | 1100   | NMP/100 ml   | 21.8             | 0.17 | 3.71  |  |
| 2 pH                                                       | 7.28   | Unidades pH  | 91.7             | 0.13 | 11.92 |  |
| 3 DBO <sub>5</sub>                                         | 106.02 | mg/l         | 2                | 0.12 | 0.24  |  |
| 4 Nitratos                                                 | 0.4    | mg/l         | 97               | 0.11 | 10.67 |  |
| 5 Fosfatos                                                 | 0.61   | mg/l         | 62.3             | 0.11 | 6.85  |  |
| 6 Turbidez                                                 | 3.9    | FAU          | 96               | 0.09 | 8.64  |  |
| 7 Sólidos disueltos Totales                                | 32.96  | mg/l         | 79               | 0.09 | 7.11  |  |
| 8 Oxígeno Disuelto                                         | 101.5  | % saturación | 99               | 0.18 | 17.82 |  |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                    |        |              | Suma             | 1.00 | 66.96 |  |

| RíoAtulapa Final                                                          |                           |        |              |                  |                |       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------|------------------|----------------|-------|
| PUNTO DE MUESTREO: 100 metros arriba de la desembocadura del río Atulapa. |                           |        |              |                  |                |       |
|                                                                           | Parámetros                | Valor  | Unidades     | Sub <sub>i</sub> | W <sub>i</sub> | Total |
| 1                                                                         | Coliformes Fecales        | 93     | NMP/100 ml   | 46.81            | 0.17           | 7.96  |
| 2                                                                         | pH                        | 7.32   | Unidades pH  | 91.9             | 0.13           | 11.95 |
| 3                                                                         | DBO <sub>5</sub>          | 86.14  | mg/l         | 2                | 0.12           | 0.24  |
| 4                                                                         | Nitratos                  | 0.98   | mg/l         | 93               | 0.11           | 10.23 |
| 5                                                                         | Fosfatos                  | 0.064  | mg/l         | 96               | 0.11           | 10.56 |
| 6                                                                         | Turbidez                  | 4.3    | FAU          | 97.5             | 0.09           | 8.78  |
| 7                                                                         | Sólidos disueltos Totales | 36.7   | mg/l         | 79               | 0.09           | 7.11  |
| 8                                                                         | Oxígeno Disuelto          | 102.05 | % saturación | 99               | 0.18           | 17.82 |
| Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-                                   |                           |        |              | Suma             | 1.00           | 74.64 |

### Anexo 3. Mapa de cobertura y uso del suelo en la microcuenca río Atulapa



### Anexo 4. Mapa geológico de la microcuenca río Atulapa.



## **Anexo 5. Fotografías de las diferentes actividades realizadas durante la ejecución de la investigación.**

Fotografía 1. Toma de muestra de agua, en la quebrada Cruz de Piedra.



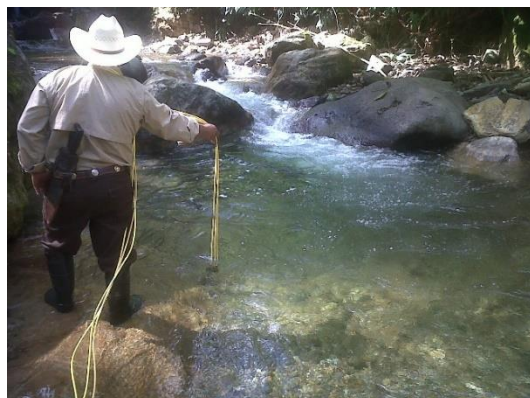
Fotografía 2. Toma de muestra de agua, en la quebrada Cruz de Piedra.



Fotografía 3. Toma de muestra de agua en cauce principal río Atulapa.



Fotografía 4. Lectura de pH a nivel de Campo, río El Volcán.



Fotografía 5. Análisis de DBO5 a nivel de laboratorio.



Fotografía 6. Análisis de coliformes fecales a nivel de laboratorio.



Fotografía 7. Análisis de sólidos disueltos Totales a nivel de laboratorio.



Fotografía 8. Análisis de sólidos disueltos Totales a nivel de laboratorio.



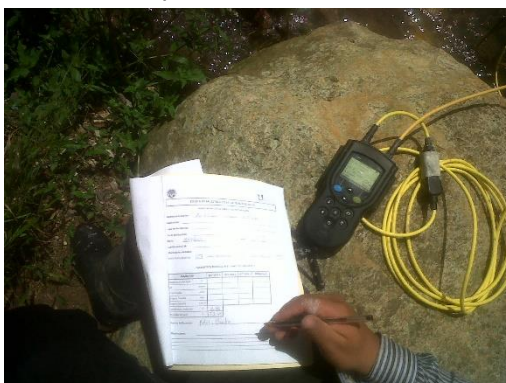
Fotografía 9. Análisis de sólidos disueltos Totales a nivel de laboratorio.



Fotografía 10. Análisis de Nitratos  $\text{NO}_3$  a nivel de laboratorio.



Fotografía 11. Toma de parámetros a nivel de campo.



Fotografía 10. Análisis de Nitratos  $\text{NO}_3$  a nivel de laboratorio.

