

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Estudio de la calidad del agua: caso de estudio del río Déleg - provincia del Cañar

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Civil

AUTORES:

JUAN CARLOS ESPEJO RUIZ

C.I: 010660088-5

PABLO ANDRÉS TENELANDA PATIÑO

C.I: 010445455-8

DIRECTOR:

DRA. GLADYS GUILLERMINA PAUTA CALLE M. Sc.

C.I: 030069104-5

Cuenca-Ecuador

2018



RESUMEN

El estudio de la calidad del agua de los ríos es indispensable, ya que estos constituyen fuentes importantes de abastecimiento y son los recursos para los múltiples usos que se pueden dar en beneficio del desarrollo humano. El crecimiento exponencial de la población y el poco control de la contaminación son problemas de grave repercusión, ya que la disponibilidad de las fuentes superficiales se agota, y queda como última medida explotar los acuíferos subterráneos, de los cuales en nuestra zona se dispone de muy poca información hasta el momento. El presente trabajo constituye un aporte al proyecto de investigación “Manejo Integral de la Calidad del Agua”, que es parte del programa VLIR. Por estas razones se consideró oportuno disponer de un diagnóstico actualizado de la calidad del agua del río Déleg en la provincia del Cañar, mediante la aplicación del índice ICA formulado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con 18 parámetros físicos, químicos y microbiológicos convencionales, y en 5 estaciones importantes, para poder definir los usos que pueden asignarse al recurso; el estudio también permite una evaluación de la variabilidad espacial y temporal de la calidad en el periodo de septiembre a diciembre del 2017, con 8 monitoreos. Los resultados muestran que el ICA en el río Déleg varía entre 56,02 a 72,06; que catalogan al cuerpo de agua como *poco contaminado* y los usos asignados a lo largo de su curso serán: agrícola, industrial y abrevadero de animales.

PALABRAS CLAVES: CALIDAD DEL AGUA, RÍO DÉLEG, ICA, CAÑAR



ABSTRACT

The study of the water quality in rivers is invaluable due to the importance of this natural resource and the benefit it provides to society. The exponential population growth coupled with the minimal safety and contamination regulations that exist today pose a grave and looming threat. One major risk is the loss of these rivers as a primary water supply, creating the need to turn to subterranean water aquifers, of which very little is known in these areas. This current project is meant to supplement the existing investigation, “Manejo Integral de la Calidad de Agua”, which is part of the VLIR program. For these reasons, it determined necessary and important to produce an updated diagnosis of the water quality in the river Déleg, in the Cañar province, through the application of the WQI (Water Quality Index) formulated by the Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, with 18 physical, chemical, and microbiological parameters in 5 important stations in order to define usages which can be assigned to the resource; this study also evaluates the spatial and temporal variability of the water’s quality between september 2017 and december 2017, with 8 monitors. Results shows that the ICA index in the Déleg river varies between 56,02 and 72,06; which classify the river as having low contamination and the usages of the water along the river will be for farming, industry and animal trough.

KEY WORDS: QUALITY OF WATER, RIVER DÉLEG, ICA, CAÑAR



CONTENIDO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

RESUMEN 2

ABSTRACT 3

LISTA DE FIGURAS..... 6

LISTA DE IMÁGENES 6

LISTA DE TABLAS..... 7

LISTA DE GRÁFICAS..... 8

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA..... 15

1. INTRODUCCIÓN 16

1.1. ANTECEDENTES 16

1.2. OBJETIVOS 16

1.2.1. OBJETIVO GENERAL..... 16

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 17

1.3. JUSTIFICACIÓN..... 17

1.4. ALCANCE..... 18

2. MARCO TEÓRICO..... 19

2.1. CALIDAD DEL AGUA..... 19

2.1.1. PARÁMETROS DEL AGUA 19

2.1.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS..... 19

2.1.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS..... 22

2.1.1.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS 27

2.2. CONTAMINACIÓN EN LOS CUERPOS SUPERFICIALES..... 28

2.2.1. ORIGINADOS POR FUENTES PUNTUALES..... 28

2.2.2. ORIGINADOS POR FUENTES NO PUNTUALES (CONTAMINACIÓN DIFUSA) 29

2.3. EUTROFIZACIÓN 30

2.4. CALIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL 30

2.5. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA) 30

2.6. NORMATIVAS DE REFERENCIA..... 31

3. MATERIALES Y MÉTODOS..... 33

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..... 33

3.1.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 33

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA..... 33

3.1.3. GEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA 34

3.1.4. COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA 34

3.2. ESTACIONES DE MONITOREO 35

3.2.1. GEOLOGÍA DE CADA ESTACIÓN..... 35

3.2.1.1. CALIDAD DEL AGUA DEBIDO A LA GEOLOGÍA DE LA ZONA..... 41

3.2.1.2. CALIDAD DEL AGUA DEBIDO A LOS USOS DEL SUELO DE LA ZONA 41

3.3. CAMPAÑAS DE MONITOREO..... 41

3.4. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MONITOREO 42

3.5. TIPOS DE MUESTRA..... 43

3.6. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL 43

3.6.1. MÉTODO DE AFORO VELOCIDAD – SECCIÓN 44

3.6.1.1. MÉTODO DEL FLOTADOR 45



3.6.1.2. MÉTODO ACÚSTICO - FLOWTRACKER..... 49

3.7. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD (ICA) 52

3.7.1. PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ICA GLOBAL..... 53

3.7.2. ÍNDICES DE CALIDAD DE CADA PARÁMETRO 54

3.7.3. EVALUACIÓN DEL ICA 54

4. RESULTADOS 56

4.1. VARIACIÓN DEL CAUDAL 56

4.2. CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE AFORO 56

4.3. CLASIFICACIÓN DE CAUDALES..... 57

4.4. ÍNDICE DE CALIDAD (ICA) 58

4.5. VARIACIÓN DEL ÍNDICE ICA 59

4.6. USOS DEL RECURSO SEGÚN EL ICA GENERAL 60

4.7. RELACIÓN DEL CAUDAL Y EL ICA 62

5. DISCUSIONES..... 63

5.1. CAUDALES..... 63

5.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)..... 63

5.2.1. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA CALIDAD 63

5.2.2. VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CALIDAD 64

5.2.3. PARÁMETROS QUE MODIFICAN LA CALIDAD..... 65

5.2.4. OTROS ASPECTOS RELATIVOS A LA CALIDAD 66

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 68

6.1. CONCLUSIONES 68

6.2. RECOMENDACIONES 70

6.2.1. EN CUANTO A LAS MEDICIONES DEL CAUDAL 70

6.2.2. EN CUANTO A LA CALIDAD DEL RÍO 70

7. REFERENCIAS..... 71

8. ANEXO 74

8.1. ANEXO 1: CRITERIOS DE CÁLCULO PARA ÍNDICES DE CALIDAD (ICA's PARTICULARES)... 74

8.2. ANEXO 2: FUNCIONES Y ECUACIONES DEFINIDOS PARA LOS ICA's PARTICULARES 75

8.3. ANEXO 3: CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO SATURADO EN BASE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN 84

8.4. ANEXO 4: DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LOS DOS MÉTODOS DE AFORO 85

8.5. ANEXO 5: DATOS OBTENIDOS POR EL EQUIPO FLOWTRACKER 2 Y FLOTADOR (ESTACIÓN 5 – AFORO E3) 86

8.5.1 EQUIPO FLOWTRACKER 2..... 86

8.5.2. FLOTADOR..... 87

8.6. ANEXO 6: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO 88

8.7. ANEXO 7: CAUDALES DE CRECIDA EN LAS ESTACIONES 3 Y 4..... 89

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Esquema simplificado del proceso de contaminación difusa de aguas continentales. Fuente (Tapia & Villavicencio, 2007)..... | 29 |
| Figura 2: Geología de la microcuenca del río Déleg..... | 38 |
| Figura 3: Ubicación de las estaciones de monitoreo en el río Déleg..... | 39 |
| Figura 4: Usos del suelo en la microcuenca del río Déleg..... | 40 |
| Figura 5: Distribución típica de velocidades en un cauce natural que más se aproxima a la realidad. Fuente (Tapia Rodríguez et al., 2012)..... | 44 |
| Figura 6: Sección de aforo para el método de medición de caudal. Fuente (Canyon Industries, Inc., 2004 - 2014)..... | 46 |
| Figura 7: Medición de las profundidades para el cálculo de la profundidad media. Fuente (Chamorro de Rodríguez & Velásquez, 2011)..... | 48 |
| Figura 8: Molinete o correntómetro. Fuente (Hudson, 1997). | 49 |
| Figura 9: Detalle de la sonda. Orientación del FlowTracker en el curso de agua. Definición de sistema de coordenadas. Fuente (SonTek, 2007). | 50 |
| Figura 10: Medición de la velocidad a 20%; 60% y 80% de profundidad. Fuente (Chereque Morán, 1989)..... | 51 |
| Figura 11: Metodología para el aforo de caudal con el equipo FlowTracker. Fuente (Marbello Pérez, 2005)..... | 52 |
| Figura 12: Correlación entre métodos de aforo..... | 56 |
| Figura 13: Variación espacial y temporal de los caudales..... | 57 |
| Figura 14: Diagrama de caja en base a la clasificación de caudales..... | 58 |
| Figura 15: Variación espacial y temporal del ICA..... | 60 |
| Figura 16: Relación del índice ICA para caudales altos..... | 62 |
| Figura 17: Relación del índice ICA para caudales medios..... | 62 |
| Figura 18: Relación del índice ICA para caudales bajos..... | 62 |
| Figura 19: Profundidad de la Estación 5..... | 87 |

LISTA DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Imagen 1: Contaminación puntual en un cuerpo receptor. Fuente (Temas ambientales, 2017-2018). | 29 |
| Imagen 2: Descargas y desechos en todo el cauce del río en el sector de la industria cerámica. Fuente (Autores). | 33 |
| Imagen 3: Equipo empleado para el aforo de caudal. Fuente (Autores). | 43 |
| Imagen 4: Equipo empleado para la toma de muestras de agua. Fuente (Autores). | 43 |
| Imagen 5: Estación 1. Fuente (Autores). | 47 |
| Imagen 6: Estación 2. Fuente (Autores). | 47 |
| Imagen 7: Estación 3. Fuente (Autores). | 47 |
| Imagen 8: Estación 4. Fuente (Autores). | 47 |
| Imagen 9: Estación 5. Fuente (Autores). | 47 |
| Imagen 10: Caudal de crecida en la estación 3. Fuente (Autores)..... | 89 |
| Imagen 11: Caudal de crecida en la estación 4. Fuente (Autores)..... | 89 |



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del agua según su grado de dureza. Fuente (Sawyer et al., 1994). 23

Tabla 2: Criterios de calidad para los diferentes usos, presentes en el Anexo I de la reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA). 32

Tabla 3: Área de cobertura para cada uso del suelo..... 35

Tabla 4: Ubicación estaciones de monitoreo en el río Déleg..... 35

Tabla 5: Fechas de los monitoreos..... 42

Tabla 6: Factores de corrección de velocidad. Fuente (INRENA, 2005)..... 46

Tabla 7: Factores de corrección para cada estación. 47

Tabla 8: Coeficientes de ponderación para cada parámetro. Fuente (Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable, 2007)..... 53

Tabla 9: Agrupación para ICA's particulares. Fuente (Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable, 2007)..... 54

Tabla 10: Rango de clasificación del ICA según el criterio general. Fuente (Fernández, Ramírez, & Solano, 2003) 54

Tabla 11: Escala de clasificación del ICA en base a los usos que se le puede dar al recurso. Fuente (Dinius, 1987)..... 55

Tabla 12: Caudales (l/s) aforados (método flotador) en el periodo de monitoreo. 56

Tabla 13: Caudales (l/s) corregidos mediante la ecuación obtenida en la correlación de métodos. 56

Tabla 14: Clasificación de los caudales (l/s). 57

Tabla 15: ICA's máximos y mínimos para cada parámetro. 58

Tabla 16: Índice de calidad general ICA. 59

Tabla 17: Grado de contaminación de las diferentes estaciones de monitoreo. 59

Tabla 18: Usos de agua asignados para caudales altos..... 60

Tabla 19: Usos de agua asignados para caudales medios..... 61

Tabla 20: Usos de agua asignados para caudales bajos..... 61

Tabla 21: Contaminación puntual y difusa..... 64

Tabla 22: Valores ICA mínimos y máximos según clasificación de caudales..... 67

Tabla 23: Concentración de oxígeno saturado en base a la temperatura y presión. 84

Tabla 24: Datos obtenidos mediante los dos métodos de aforo. 85

Tabla 25: Cálculo de velocidad (m/s) método de flotador..... 87

Tabla 26: Resumen de medición de Caudal (l/s) método de flotador. 87



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del pH..... 75
Gráfica 2: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del Color..... 76
Gráfica 3: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Turbiedad..... 76
Gráfica 4: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Grasas y Aceites. 77
Gráfica 5: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Sólidos suspendidos..... 77
Gráfica 6: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Sólidos disueltos. 78
Gráfica 7: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Conductividad eléctrica. 78
Gráfica 8: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Alcalinidad. 79
Gráfica 9: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Dureza total. 79
Gráfica 10: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Nitrógeno como nitratos. 80
Gráfica 11: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Nitrógeno amoniacal. 80
Gráfica 12: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Fosfatos totales. 81
Gráfica 13: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Cloruros. 81
Gráfica 14: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Oxígeno Disuelto. 82
Gráfica 15. Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de DBO5 82
Gráfica 16: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Coliformes totales..... 83
Gráfica 17: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Coliformes fecales. 83
Gráfica 18: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de las SAAM. 84



**CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

JUAN CARLOS ESPEJO RUIZ en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA: CASO DE ESTUDIO DEL RÍO DÉLEG - PROVINCIA DEL CAÑAR”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril de 2018.

Juan Carlos Espejo Ruiz

C.I: 010660088-5



**CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

PABLO ANDRÉS TENELANDA PATIÑO en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA: CASO DE ESTUDIO DEL RÍO DÉLEG - PROVINCIA DEL CAÑAR", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril de 2018.

Pablo Andrés Tenelanda Patiño

C.I: 010445455-8



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

JUAN CARLOS ESPEJO RUIZ, autor del trabajo de titulación "ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA: CASO DE ESTUDIO DEL RÍO DÉLEG - PROVINCIA DEL CAÑAR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, abril de 2018

Juan Carlos Espejo Ruiz

C.I: 010660088-5



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

PABLO ANDRÉS TENELANDA PATIÑO, autor del trabajo de titulación “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA: CASO DE ESTUDIO DEL RÍO DÉLEG - PROVINCIA DEL CAÑAR”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, abril de 2018

Pablo Andrés Tenelanda Patiño

C.I: 010445455-8



DEDICATORIA

De manera infinita a Dios por darme la sabiduría, fe y voluntad para terminar una etapa más en mi vida. A toda mi familia, en especial a mi madre que ha sido siempre mi apoyo, guía y fortaleza durante toda mi actividad académica. A mi padre por la formación de valores para ser una persona de bien.

Juan

Este proyecto de titulación lo dedico a mi madre, por todo su esfuerzo y sacrificio; así como a mis hermanos y a toda mi familia, quienes han estado ahí para apoyarme incondicionalmente en el duro proceso para convertirme en un profesional.

Pablo



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestro cordial agradecimiento a Dra. Guillermina Pauta Msc., por su paciencia, entrega y apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo de titulación. Gracias por compartir sus conocimientos y experiencias.

De igual manera, agradecemos al personal del Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería por la ayuda brindada en los ensayos para la obtención de los resultados, indispensables en el desarrollo de este proyecto.

Un especial agradecimiento al Ing. Freddy Pacheco por su amistad y apoyo durante la realización de este estudio, así mismo al departamento de investigación PROMAS por la ayuda con los equipos para este trabajo.

Así mismo, un agradecimiento a todos los que formaron parte de nuestra formación académica, ingenieros y amigos que hicieron esta etapa una de las mejores experiencias.

Finalmente agradecemos a las entidades públicas de la SENAGUA y al I. Municipalidad del Cantón Déleg, que brindaron la información correspondiente para la elaboración de este proyecto.

Juan, Pablo



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

| | |
|-------------------|---|
| CONAGUA | Comisión Nacional del Agua (México) |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| EPA | Agencia Internacional para la protección del medio Ambiente |
| ETAPA EP | Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento |
| ICA | Índice de Calidad del Agua |
| IGM | Instituto Geográfico Militar |
| INEC | Instituto Nacional de Estadística y Censos |
| INEN | Instituto Ecuatoriano de Normalización |
| INRENA | Instituto Nacional de Recursos Naturales |
| IMTA | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua |
| MTOP | Ministerio de Transporte y Obras Públicas |
| m s. n. m. | metros sobre el nivel del mar |
| OD | Oxígeno Disuelto |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PRECUPA | Prevención – Ecuador – Cuenca – Paute (Prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador) |
| PTAR | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales |
| SENAGUA | Secretaría Nacional del Agua |
| SIGTIERRAS | Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica |
| TULSMA | Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente |
| VLIR | Mejoramiento de la Calidad de Vida en el Austro Ecuatoriano |



1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El río Déleg nace de la confluencia de los ríos Chine y Llinqui, muy cerca de la población de Surampalti situada aproximadamente a 8 km del Cantón Déleg. Según la cartografía facilitada por la SENAGUA, el río recorre una distancia de 19.6 km hasta depositar sus aguas en el río Burgay, poco antes de que éste se una al río Cuenca. A lo largo de su recorrido, el río recibe el aporte de pequeñas quebradas como la Yaunay, Sigsipamba, Chacahuaycu, Matara, Gulag y otras menores. Los usos concesionados para el recurso constituyen: el riego, doméstico y abrevadero de animales.

Los principales asentamientos humanos ubicados a lo largo del río, de acuerdo al IGM son: la ciudad de Déleg y las parroquias de Yolón, Sinín, Hornapala, San Pedro, entre otras. La mayor parte de ellas disponen de sistema de alcantarillado que trasladan las aguas residuales domésticas hacia pequeñas plantas de tratamiento, cuyo proceso de depuración, en base a la información proporcionada por el GAD del Cantón Déleg, consiste en un sistema compuesto por: una fosa séptica y una zona de depuración biológica secundaria, con una eficiencia de depuración entre 70-80% para la DBO_5 y entre 80-90% para la materia en suspensión; luego de realizar este proceso, todos estos efluentes son descargados hacia algunas quebradas como la Sigsipamba, la del Salado y la del Dique o directamente hacia el cuerpo receptor.

Las principales actividades que se desarrollan en la microcuenca del río Déleg son: la agrícola e industrial; dentro de esta última es importante la presencia de la industria cerámica, la cual descarga sus efluentes sin un tratamiento adecuado, afectando la calidad del agua y limitando los usos posteriores del recurso.

Muy pocos son los estudios realizados sobre la calidad de este río; por lo que es importante conocer su estado actual, más aún cuando los asentamientos humanos de magnitud están conformados por una población fluctuante que sólo habita los fines de semana. El tema de la migración es un fenómeno social que ha afectado significativamente a muchas comunidades de la zona. Por ejemplo, las parroquias de Guabizhún, Yolón, Sinín y Hornapala, que prácticamente poseen índices de crecimiento negativos, o con poblaciones formadas en su mayoría por niños, mujeres y ancianos, de acuerdo al último censo realizado por el INEC en el 2010. Esto repercute desde el punto de vista ambiental, debido a la disminución de la actividad agrícola.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo es obtener un diagnóstico de la calidad del agua del río Déleg de la Provincia del Cañar, así como también, detectar las principales fuentes de contaminación y sugerir mecanismos para su prevención y control.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad del agua del río Déleg, en base al índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Definir los usos que pueden asignarse al recurso en las diferentes estaciones.
- Evaluar la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua, correspondiente al periodo climatológico representativo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Es de suma importancia conocer la calidad del agua de los cuerpos superficiales, debido a que estos recursos son el sustento de las comunidades aledañas, ya sea para: abastecimiento público, riego, abrevadero de animales o como cuerpo receptor de aguas residuales.

El desconocimiento de la calidad del agua es un factor importante en el deterioro o daño que se le ocasiona al recurso, al descargar desechos y realizar captaciones no concesionadas por parte de las comunidades. Esto no es un problema de la población en sí, sino de las autoridades al no realizar concientizaciones a los habitantes del sector. Sin embargo, existen industrias y fábricas que conocen del peligro potencial y no realizan un tratamiento adecuado al depositar sus aguas al río Déleg.

El estudio de la calidad del río Déleg contribuye al conocimiento de la calidad del agua de los ríos, en el afán de preservar su calidad; en la actualidad la actividad minera implantada en la región obliga a los centros de estudios superiores, como las universidades, a tener una participación activa y responsable en el tema, a fin de constituir una voz de referencia, que tenga repercusión en la toma de decisiones por parte de las autoridades.

De igual manera, el presente trabajo de titulación es un aporte al objetivo general del proyecto de investigación “Manejo Integral de la Calidad del Agua”, que consiste en el manejo científico de la calidad del agua y toma como zona de estudio la cuenca hidrográfica del río Paute; además este proyecto es parte del programa VLIR “Mejoramiento de la Calidad de Vida del Austro Ecuatoriano”, cuya repercusión social y académica es de notable importancia.

Los resultados de este estudio, serán entregados a los organismos encargados del control y manejo del recurso agua, tales como: la I. Municipalidad del Cantón Déleg; la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), al Ministerio del Medio Ambiente en la Provincia del Cañar, la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPAL-EP) en la ciudad de Azogues. Con esta información estas entidades dispondrán de herramientas importantes para el proceso de toma de decisiones.



1.4. ALCANCE

Mediante este trabajo se pretende establecer un diagnóstico sobre la calidad del agua del río Déleg de la provincia del Cañar y conocer cómo esta calidad varía en el tiempo y espacio, correspondientes a un periodo climatológico representativo. Para la evaluación del río, se identificaron 5 estaciones de monitoreo, considerando: principales afluentes, los aportes de la carga contaminante y la accesibilidad.

Se plantea 8 campañas de monitoreo, con 5 estaciones de control; en cada estación, se hace la medición del caudal mediante el método de aforo velocidad-sección, que servirá para correlacionar los datos de calidad con caudal. Las muestras de agua serán llevadas al Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, en donde se realizarán los ensayos para la determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Obteniendo así, un Índice de Calidad del Agua (ICA) para los 18 parámetros establecidos por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Al finalizar el estudio se dispondrá de un registro de datos de la calidad del agua del río Déleg, lo que permitirá diagnosticar el estado actual de este cuerpo receptor y así completar la información de la calidad del agua para la cuenca hidrológica del río Paute. Esta información permitirá conocer los usos que pueden asignarse al recurso; así como también, detectar las principales fuentes de contaminación y sugerir mecanismos para su prevención y control.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se puede definir como una lista de concentraciones de sustancias orgánicas e inorgánicas, y a especificaciones que hacen referencia a los aspectos físicos, así como también a la composición y al estado de la flora y fauna del recurso (Sierra Ramírez, 2011). A su vez, se refiere al uso o actividad a la cual estará destinada el recurso, por ejemplo: agricultura, consumo humano, riego, industria, receptor de efluentes residuales, etc. Esta calidad se determina en base a ciertos parámetros o características que están presentes en el cuerpo de agua.

2.1.1. PARÁMETROS DEL AGUA

La estimación de la calidad de un cuerpo de agua consiste en la determinación de índices de calidad en base a parámetros físicos, químicos y microbiológicos; algunos medidos *in situ*, y luego comparándolos con rangos ya establecidos, según la metodología que se utilice.

2.1.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Los parámetros físicos son aquellas sustancias que inciden directamente en las condiciones estéticas del agua (Sierra Ramírez, 2011). Por lo tanto, estos parámetros de cierta forma están asociados a los sentidos, es decir, no son índices absolutos de contaminación ya que sus valores pueden variar considerablemente con respecto a un análisis de laboratorio más detallado. Algunos de estos parámetros son identificados a simple vista, clasificándolos como organolépticos; mientras que existen otros parámetros físicos que son necesarios de algunos procesos en los laboratorios para su obtención.

a) Parámetros organolépticos

- Turbiedad

Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz (Sierra Ramírez, 2011). Los materiales suspendidos que causan turbiedad en los ríos provenientes de los glaciares se deben a partículas coloidales de las rocas; por la agricultura, ya que a medida que desciende el río la turbiedad se compone de materia inorgánica como arcilla y barro; y cuando cruza por zonas urbanas, por residuos domésticos e industriales. Es un parámetro físico esencial en el abastecimiento de agua por su: *estética*, ya que se relaciona con una posible contaminación; *filtrabilidad*, ya que se vuelve más costosa; y *desinfección*, puesto que los microorganismos patógenos o la mayoría de organismos pueden estar encapsulados haciendo nula la acción del agente desinfectante (Sawyer, McCarty, & Parkin, 1994).

El método para determinar la turbiedad es el *Nefelométrico*, que compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la dispersada por una suspensión estándar de referencia, que está compuesta de polímero de formacina. Los resultados

se expresan en unidades de turbiedad nefelométrica ((APHA), (AWWA), & (WPCF), 2000).

- Color

El color en un cuerpo de agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas de hierro y manganeso coloidal o en solución, aunque se puede dar también por el contacto con desechos orgánicos, maderas, la presencia de ácidos húmicos, taninos y algunos residuos industriales. El color natural del agua es debido a partículas coloidales cargadas negativamente y se pueden separar con coagulantes de una sal de ion metálico trivalente como aluminio o hierro. El color se clasifica en 2 tipos: el *color verdadero*, que es el color cuando se ha removido la turbiedad; y el *color aparente*, que es causado por el material en suspensión, incluyendo el color de las sustancias en la solución y coloidales. El término *color* hace referencia al color verdadero del agua que normalmente se mide junto al pH, ya que la intensidad del color depende de este parámetro; a menudo cuando este parámetro aumenta es porque el pH ha incrementado (Romero Rojas, 2005).

Su determinación se la realiza de manera visual, comparando una muestra de agua con soluciones de color conocidas o con discos de cristal de colores adecuadamente calibrados. Para el color verdadero se remueve la turbiedad, utilizando el método recomendado de la centrifugación de la muestra o por el método de filtrado. La unidad de color es el color producido por 1mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato ((APHA) et al., 2000).

- Olor y Sabor

Estos parámetros físicos son prácticamente indistinguibles, pero si perceptibles por los sentidos, los que pueden ser estimulados por varias causas como la presencia de: sulfuro de hidrógeno (H_2S), cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, aceites, fenoles, etc. La determinación de estos parámetros es importante para la evaluación de la calidad del agua y su aceptabilidad. Se pueden expresar de manera cualitativa (Romero Rojas, 2005).

El olor y sabor pueden medirse mediante métodos cuantitativos, uno de ellos es la determinación de la relación de dilución a la cual son apenas detectables. Esta relación se expresa como número detectable (ND) de olor o de sabor (Romero Rojas, 2005).

b) Otros parámetros físicos

- Temperatura

La temperatura en el agua está establecida por la absorción de la radiación en las capas superiores del líquido. La variación de temperatura afecta a los gases en el agua y a la solubilidad de sales y, en general, a todas sus propiedades como a su comportamiento microbiológico (Marín Galvín, 2003).

Es un parámetro cuya detección es muy importante para varios procesos y análisis de laboratorio. Se lo debe medir *in situ*. Se lo determina con un termómetro de mercurio de buena calidad en lugares donde exista movimiento del cuerpo de agua ((APHA) et al., 2000).

- Conductividad

Es la capacidad que tiene el agua para transportar corriente eléctrica; depende de la temperatura a la que se realice la determinación y del contenido de las sustancias disueltas ionizadas en el agua. A mayor cantidad de minerales en el agua la conductividad es mayor y se dan las siguientes consecuencias: la corriente eléctrica fluye más libremente y la velocidad de corrosión es mayor; además los minerales disueltos en el agua estarán menos ionizados, sin embargo, se encuentran más cercanos y chocan con mayor frecuencia (Nalco Chemical Company, Kemmer, & McCallion, 1996).

La conductividad se determina mediante instrumentos de lectura directa en $\mu\text{mho}/\text{a}$ a 25°C con error menor al 1% ((APHA) et al., 2000).

- Sólidos

Se refiere a toda la materia a excepción del agua que se encuentra en los materiales líquidos. Se define como sólidos a la materia que queda como residuo luego de la evaporación y secado entre 103°C y 105°C. Su clasificación y su obtención lo da ((APHA) et al., (2000) como:

- Sólidos Totales: Incluye el material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Se determina haciendo evaporar una muestra en una placa (medida su peso con anterioridad) mediante baño María. Se seca a 103°C y 105°C. El aumento de peso con respecto al inicial representa el contenido de los sólidos totales.
- Sólidos Totales Disueltos: Es el residuo filtrable. Se filtra una muestra por un filtro estándar de vidrio, luego se evapora hasta que se seque en una placa pesada a un peso constante a 180°C. El aumento de peso de la placa representa los sólidos totales disueltos.
- Sólidos Totales en Suspensión: Es el residuo no filtrable o material no disuelto. Se filtra una muestra bien mezclada, al igual que en los sólidos totales disueltos, y el residuo retenido se seca a un peso constante a 103°C y 105°C. El aumento de peso representa los sólidos totales en suspensión.
- Sólidos Volátiles y Fijos: Normalmente se lo realiza en aguas residuales para la obtención de la materia orgánica presente. Los sólidos fijos se obtienen mediante el calcinamiento en un horno a 550±50°C durante 15-20 minutos y se lo registra como mg/L de sólidos fijos, mientras que la pérdida de peso entre los sólidos totales y fijos se registra como mg/L de sólidos volátiles.

Los sólidos sedimentables son aquellos sólidos en suspensión que se sedimentan por acción de la gravedad. Pueden determinarse y expresarse en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l) ((APHA) et al., 2000).

2.1.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

Los parámetros químicos son muy importantes para definir la calidad del agua, ya que identifican y cuantifican los agentes causantes de contaminación.

- pH

Es un parámetro que expresa la magnitud de la acidez o alcalinidad; es decir, la actividad del ion hidrógeno. En lo que se refiere al abastecimiento del agua es fundamental en el proceso de coagulación química, la desinfección, la corrosión y ablandamiento del agua. El pH se puede expresar como:

$$pH = -\log\{H^+\} \quad \text{ó} \quad pH = \log\frac{1}{\{H^+\}};$$

Se representa generalmente en una escala que varía de 0 a 14, para una concentración máxima de iones H^+ (hidrógeno) y OH^- (hidróxido) respectivamente (Rodríguez Mellado & Marín Galvín, 1999); donde un pH inferior a 7 indica un incremento en la acidez y un pH mayor que 7 indica un aumento en la alcalinidad. El pH igual a 7 y a una temperatura de 25°C representa la neutralización absoluta (Atkins & Jones, 2013).

Este parámetro origina cambios en la flora y fauna de los cuerpos de agua y posee influencia sobre la toxicidad de compuestos como: el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, entre otros (Romero Rojas, 2005).

Se determina mediante el método electrométrico, que utiliza mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia, siendo este el estándar absoluto para la medición de este parámetro ((APHA) et al., 2000).

- Alcalinidad

Se refiere a la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos, aceptar protones o de reaccionar con iones hidrógeno (Romero Rojas, 2005).

Existen varios compuestos que contribuyen a la alcalinidad del agua natural, los cuales pueden ser clasificados por sus valores de pH de la siguiente manera: Hidróxido, Carbonatos o Bicarbonatos. Los Bicarbonatos son los compuestos más influyentes en la alcalinidad, ya que se forman por acción del dióxido de carbono sobre materia básica del suelo (Sawyer et al., 1994).

Uno de los métodos para la obtención de la alcalinidad en el agua es el método de la alcalinidad baja, el cual se obtiene por titulación con ácido sulfúrico 0.02N y se representa como mg/l de carbonato de calcio, siendo equivalente a la alcalinidad determinada ((APHA) et al., 2000).

- Dureza

La dureza en el agua es producto de la existencia de cationes bivalentes, principalmente de calcio y magnesio. Esta ingresa al agua debido a la disolución natural de las formaciones rocosas presentes en el suelo (Sierra Ramírez, 2011). Es una propiedad que disponen las aguas que necesitan una gran cantidad de jabón para producir espuma, así como de generar costras en tuberías de agua caliente, calentadores o en otras unidades que elevan la temperatura del agua (Romero Rojas, 2005).

Generalmente, las aguas superficiales son más blandas que las aguas profundas debido a la naturaleza geológica presente en el interior. En la Tabla 1 se puede clasificar al agua según su grado de dureza como:

Tabla 1: Clasificación del agua según su grado de dureza. Fuente (Sawyer et al., 1994).

| RANGO (mg/l) | GRADO DE DUREZA |
|---------------------|------------------------|
| 0 - 75 | Blandas |
| 75 - 150 | Moderadamente Blandas |
| 150 - 300 | Duras |
| 300 y más | Muy Blandas |

La dureza se determina mediante el cálculo en base de los iones bivalentes, de acuerdo a un análisis completo de cationes; esto cuando se dispone de un análisis completo. Se expresa en término de Carbonato de Calcio ($CaCO_3$) (Sawyer et al., 1994).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se define comúnmente como la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible a descomposición. Esta materia orgánica puede servir de alimento a las bacterias y/o que su oxidación produzca energía (Sawyer et al., 1994).

Su determinación consiste en llenar una muestra en un frasco hermético (Winkler) hasta rebosar, e incubarlo a temperatura estable durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el resultado de la DBO_5 es la diferencia entre OD inicial y el final ((APHA) et al., 2000).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es un parámetro analítico de polución; representa el contenido orgánico total de una muestra oxidable por bicromato en solución ácida (Sierra Ramírez, 2011). Ciertos compuestos orgánicos como la glucosa y la lignina son totalmente oxidables, por lo que los valores de la DQO son mayores que de la DBO, e incluso pueden ser mayores si existe una gran cantidad de materia orgánica biológicamente resistente. La principal limitación de esta prueba es que no distingue entre materia biológicamente oxidable y materia biológicamente inerte, mientras que su principal ventaja es la

rapidez de su evaluación, ya que se puede hacer en aproximadamente 3 horas (Sawyer et al., 1994).

Para su determinación se utiliza el bicromato de potasio, pues es un agente oxidante de gran potencia y actúa sobre una gran variedad de sustancias ((APHA) et al., 2000).

- Nitrógeno

Es un parámetro químico significativo debido a la importancia que tiene sobre la atmósfera y en los procesos vitales de las plantas y los animales. Está ligado en los procesos de transformación de la materia orgánica (Pérez Jorge, 1981).

Los principales compuestos nitrogenados presentes en la naturaleza, además del nitrógeno atmosférico son: nitrógeno orgánico, nitrato, nitrito y amoníaco (Marín Galvín, 2003). El nitrógeno amoniacal puede reducir los niveles de oxígeno disuelto en el agua; la presencia de nitritos, conjuntamente con aminas secundarias, produce las nitroso-aminas que son de carácter cancerígeno, y el nitrógeno como nitrato provoca daños en la salud, especialmente en niños (Sierra Ramírez, 2011).

La determinación de cada una de las formas de nitrógenos, en base al (APHA) et al., (2000) se lo puede realizar de la siguiente manera:

- Nitrógeno Amoníaco: existen dos factores principales que influyen en su detección: la concentración y las interferencias; que dependiendo de la precisión que se requiera, se realiza ensayos preliminares como el de la destilación.
- Nitrógeno Nitrito: se utiliza el método colorimétrico para concentraciones de 5 a 1000 µg. También su determinación se puede realizar mediante el método automatizado; o por cromatografía iónica.
- Nitrógeno Nitrato: su determinación es compleja debido a varias sustancias interferentes y a los rangos limitados de concentración. Los métodos van a depender según la naturaleza del agua.
- Nitrógeno Orgánico: se utiliza el método macro o semi-micro-kjeldhal, que determina el nitrógeno en estado trinegativo. El método macro-kjeldhal es aplicable para muestras que contengan concentraciones bajas o altas de nitrógeno orgánico; mientras que el semi-micro-kjeldhal para muestras con concentraciones elevadas de nitrógeno orgánico.

- Fósforo y Fosfatos

Se ha determinado luego de varias investigaciones que los diversos compuestos del fósforo han ocasionado varias afecciones medioambientales; los compuestos de interés son los fosfatos en sus formas moleculares deshidratadas denominados polifosfatos (Sawyer et al., 1994).

Es fundamental en el crecimiento de algas y de otros organismos microbiológicos. Raramente se presenta en concentraciones elevadas puesto que las plantas lo absorben rápidamente (Sierra Ramírez, 2011).

La determinación de todas las formas de fósforo se realiza por conversión de la especie que se busca en los ortofosfatos. Uno de los métodos descritos en el (APHA) et al., (2000) es del cloruro estagnoso, cuyo fundamento es la reacción de los ortofosfatos con el molibdato de amonio en condiciones ácidas, para formar un complejo de fosfomolibdato, el cual es reducido por el cloruro estagnoso produciendo un compuesto azul, susceptible de ser medido.

- Acidez

Se puede definir como la capacidad que tiene el agua para neutralizar bases, reaccionar con iones hidróxido o su capacidad de ceder protones (Romero Rojas, 2005).

En las corrientes de agua generalmente la acidez es inferior a 8.3; pero por la presencia de ácidos fuertes provenientes de las descargas industriales, fábricas y principalmente por el dióxido de carbono, que es un componente propio de los ríos, se produce una acidez mineral (Sierra Ramírez, 2011).

Los ácidos minerales se pueden determinar por titulación hasta un pH aproximado de 3.7, que es el punto final del naranja de metilo; mientras que la titulación de una muestra hasta el punto final de la fenolftaleína (pH = 8.3) da la medida de la acidez mineral más la acidez de los ácidos débiles (aquellos que no se disocian completamente con el agua), se denomina también acidez de fenolftaleína ((APHA) et al., 2000).

- Hierro y Manganeseo

Estos dos compuestos ocasionan serios problemas en el abastecimiento de agua. Se encuentran más en aguas subterráneas, aunque en ciertas épocas del año se pueden encontrar en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses. Ambos compuestos pueden encontrarse en los suelos; en el caso del manganeso como dióxido de manganeso, que es muy insoluble en agua que contiene dióxido de carbono; sin embargo, en el caso del hierro también puede encontrarse en minerales, principalmente como sulfuro de hierro (Pirita) y óxido férrico insoluble (Sawyer et al., 1994).

Para la determinación del hierro se utiliza el método de la Fenantrolina, el cual se basa en la reacción del compuesto 1,10 Fenantrolina con el Fe^{2+} (ion Ferroso) para formar un compuesto de color rojo naranja, el cual cumple con la ley de Beer y se mide por comparación visual o fotométrica. Se debe asegurar que el hierro esté en forma soluble para evitar cualquier oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} (ion Férrico), por lo que la

muestra se trata con ácido clorhídrico para disolver el hidróxido férrico. Para la obtención del manganeso se utiliza el método del per sulfato de amonio, siendo este el agente oxidante del manganeso reducido a la forma Mn^{7+} ; produciendo iones permanganato altamente coloreados. Este color es directamente proporcional a la concentración de manganeso, obedeciendo la ley de Beer y puede medirse de igual manera que el hierro ((APHA) et al., 2000).

- Cloruros

El ion cloruro es otro de los parámetros químicos de importancia en los recursos acuáticos. Normalmente su contenido se eleva al aumentar el contenido de los minerales. En algunos ríos y aguas subterráneas la presencia de este parámetro es considerable, mientras que en fuentes de tierras altas y de las montañas su concentración es baja (Sawyer et al., 1994).

Con relación al agua de consumo humano, la principal incidencia de los cloruros es relativa al sabor salobre que promueven, que en concentraciones de 200 a 300 mg/l son perceptibles y provocan el rechazo en los consumidores (Marín Galvín, 2003).

La determinación de los cloruros se lo puede realizar mediante el método argentométrico, que emplea el nitrato de plata como titulante y el cromato de potasio como indicador. Se precipita cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de plata rojo ((APHA) et al., 2000).

- Grasas y Aceites

Son sustancias que se separan de la fase acuosa y también aquellas cuya solubilidad en el agua es escasa. Las grasas y aceites han hecho que el tratamiento de residuos sea un inconveniente constante; así como en las alcantarillas, ya que reducen la capacidad de flujo (transporte) de los conductos. También se presenta dificultad en las aguas al ser atacadas biológicamente, generando la necesidad de un proceso de remoción en la planta de tratamiento (Sawyer et al., 1994).

Para su determinación se lo realiza por Freón-113 o Hexano, incluyendo todas las sustancias extraídas de las soluciones acuosas o de las que están en suspensión; la determinación por Hexano no se recomienda ya que existen riesgos de explosiones. El método requiere el secado de la muestra extraída a 103 °C. La muestra se acidifica con ácido clorhídrico, a un PH cercano a 1.0, para expulsar ácidos grasos libres presentes en los precipitados de Calcio y Magnesio (Romero Rojas, 2005).

2.1.1.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos, ya sean patógenos o no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedades a los seres vivos (Sierra Ramírez, 2011). Los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son: las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos. Entre las enfermedades más comunes que se transmiten por el agua están: el cólera, la gastroenteritis, la fiebre tifoidea, parasitismo, entre otras.

- Organismos Coliformes

Se utiliza como indicador de contaminación fecal del agua, ya que existe gran población de estos organismos en el tracto intestinal de los humanos. Cada persona expulsa alrededor de 100-400 billones de bacterias coliformes al día; es por eso que la presencia del grupo coliforme contenido en una muestra, es un indicador de que organismos patógenos relacionados con las heces fecales también pueden estar presentes. Mientras que la ausencia de la bacteria coliforme, representa que el agua está ausente de contraer enfermedades producto de estos organismos. El grupo total coliforme presenta cuatro géneros de la familia *Enterobacteriaceae*, que son: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Los organismos coliforme lo conforman los coliformes totales y coliformes fecales (Tchobanoglous, Metcalf & Eddy, Inc, & AECOM, 2014).

- Coliformes Totales

Son especies de Bacilos que fermentan lactosa con producción de gas (o colonias) a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Comúnmente se encuentran en el suelo o vegetación, en los intestinos y heces de humanos, así también en animales de sangre caliente. Generalmente la bacteria coliforme no causa daño. Cuando este grupo es encontrado en el agua potable, indica la posible existencia de patógenos causantes de enfermedades. Si esto ocurre se debe confirmar su presencia e identificar la fuente de contaminación (Tchobanoglous et al., 2014).

- Coliformes Fecales

Es un subgrupo del grupo de los coliformes totales; tienen la habilidad de producir gas o colonias a una elevada temperatura de incubación de $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ por $24 \pm 2\text{h}$. Se encuentran en grandes cantidades en los intestinos, heces de los seres humanos y en animales de sangre caliente. La presencia de este subgrupo en el agua potable genera un mayor riesgo que la presencia de los coliformes totales, ya que pueden existir los patógenos causantes de enfermedades. Si se comprueba su existencia se debe eliminar la fuente de contaminación. Un indicador de la presencia de este subgrupo es la existencia de la bacteria *Escherichia Coli* (*E. Coli*) (Tchobanoglous et al., 2014).

La determinación de los coliformes consiste en realizar ensayos presuntivos y confirmados. El ensayo presuntivo, se basa en la capacidad que tiene el grupo coliforme de fermentar el caldo de lactosa con desprendimiento de gas; mientras que el ensayo confirmado, radica en el desarrollo de cultivos de organismos coliformes sobre medios que eliminan el crecimiento de otros organismos. En cuanto al ensayo completo, se refiere a la capacidad de los cultivos desarrollados (en el ensayo confirmado) para fermentar el nuevo caldo de lactosa (Metcalf & Eddy, Inc., & Trillo Montsoriu, 1985).

El método más común para la obtención del grupo coliforme que se encuentra en un volumen de agua dado, es la técnica del número más probable (NMP). Esta técnica se basa en un análisis estadístico de resultados positivos y negativos, al realizar ensayos sobre fracciones de igual volumen y en fracciones que constituyen una serie geométrica para la presencia de bacterias coliformes (Metcalf & Eddy, Inc., & Trillo Montsoriu, 1985).

- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Conocidos también como agentes tensoactivos (detergentes) que son grandes moléculas orgánicas, muy poco solubles en el agua y que generan espuma en las plantas de tratamiento, así como en recursos hídricos donde se vierten fuentes residuales. Estos agentes tienden a acumularse en la interfase aire-agua (Metcalf & Eddy, Inc., & Trillo Montsoriu, 1985).

La determinación de las SAAM se lo realiza midiendo el cambio de color en una solución normalizada con azul de metileno (Metcalf & Eddy, Inc., & Trillo Montsoriu, 1985).

2.2. CONTAMINACIÓN EN LOS CUERPOS SUPERFICIALES

Generalmente la contaminación en cuerpos superficiales se da por la presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza, que se encuentran en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microorganismos, nutrientes, metales pesados, químicos orgánicos, aceites y sedimentos; así mismo, el calor puede ser un agente contaminante al elevar la temperatura del agua. Esto representa una contaminación antropogénica de forma directa o indirecta por medio de sustancias o energía, lo cual genera problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas y económicas como: riego, abastecimiento de agua para la industria, etc. Los procesos contaminantes pueden ser originados por fuentes puntuales o por fuentes no puntuales (contaminación difusa).

2.2.1. ORIGINADOS POR FUENTES PUNTUALES

Según la normativa ecuatoriana vigente TULSMA, son aquellas fuentes ya definidas que descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas, como se muestra en la Imagen 1.

Los principales contaminantes provienen de:

- Plantas de tratamiento de aguas negras.
- Efluentes de industrias.
- Minas.
- Pozos petroleros.
- Desechos domésticos de animales.



Imagen 1: Contaminación puntual en un cuerpo receptor. Fuente (Temas ambientales, 2017-2018).

2.2.2. ORIGINADOS POR FUENTES NO PUNTUALES (CONTAMINACIÓN DIFUSA)

De la misma manera, la norma vigente TULSMA establece que, una descarga no puntual o contaminación difusa, es aquella en la que no se puede conocer el punto exacto de la descarga en el río, cuenca, cauce o cuerpo de agua.

La contaminación difusa se produce por la sumatoria de pequeños aportes individuales desde diferentes sitios de la cuenca hidrográfica, cada uno con un aporte imperceptible y que se repiten por periodos largos de tiempo, generando efectos acumulativos. Se da mediante el proceso de filtración o derrame a través de los suelos; por lo que, está directamente vinculado con las actividades agrícolas y silvícolas, aunque estas ocurran en lugares muy lejanos de los cuerpos receptores que son afectados. El proceso de contaminación se muestra en la Figura 1 (Tapia & Villavicencio, 2007).

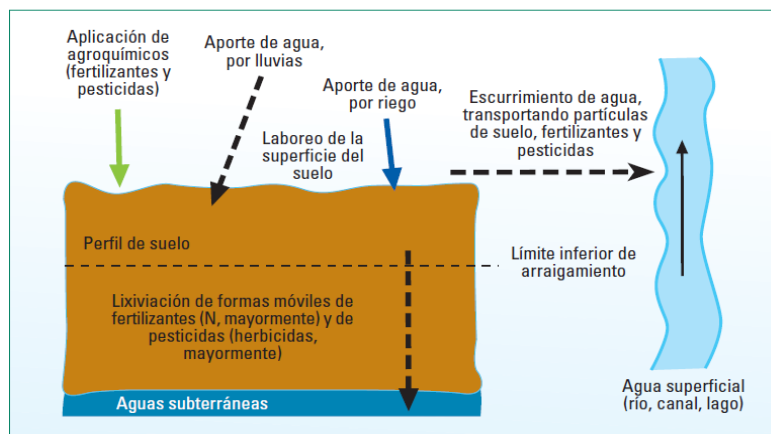


Figura 1: Esquema simplificado del proceso de contaminación difusa de aguas continentales. Fuente (Tapia & Villavicencio, 2007).

2.3. EUTROFIZACIÓN

La eutrofización hace referencia a la excesiva cantidad de nutrientes, que generalmente se da por las actividades antropogénicas y por la adición de fósforo y nitrógeno en un cuerpo de agua; esto produce el crecimiento de plantas, algas y fitoplancton. Es un proceso natural que se da por varias causas, por ejemplo: la erosión del suelo, la producción biológica, entre otras. En los lagos se produce por la acumulación de sedimentos a lo largo de varios años (Schnoor, 1996).

El proceso de eutrofización trae algunos efectos perjudiciales en la calidad del agua, como son:

- Excesivo crecimiento de plantas.
- Pérdida de varias especies acuáticas.
- Disgusto en las propiedades organolépticas.

2.4. CALIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL

Cuando los recursos acuáticos como los ríos, están expuestos a cambios meteorológicos, es necesario que su evaluación se efectúe en un periodo representativo para determinar las variaciones espaciales y temporales a los que están sujetos (Pauta Calle & Chang Gómez, 2014). Estas variaciones dependerán de las estaciones en donde se realicen los muestreos, de las descargas existentes y de los aportes de recursos como quebradas. Estos parámetros son importantes, ya que así es posible identificar y proporcionar un uso adecuado al recurso en las diferentes secciones del cuerpo de agua; esto se debe a los efectos del transporte y dilución de contaminantes, ya que representan un cambio en su calidad y dificultan su evaluación (Martínez, 2016).

2.5. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA)

Debido a la contaminación existente en aguas superficiales, es necesario realizar una evaluación y cuantificación de su calidad. En el monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua se incluyen un gran número de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, que por sí mismos no proporcionan un diagnóstico adecuado; por lo que el Índice de Calidad del Agua (ICA), como una forma de agrupación simplificada de algunos parámetros indicadores descritos en su metodología, es una manera de representar y evaluar la calidad de estos recursos (Horton, 1965; Liebman, 1969).

Estos índices resumen una gran cantidad de información, para así finalmente establecer un valor numérico que se ubica en una determinada categoría. Para llegar a este valor, los parámetros se rigen a ecuaciones y metodologías formuladas por organismos internacionales como la EPA (Agencia Internacional para la protección del medio Ambiente), la OMS (Organización Mundial de la Salud), entre otras (Pauta Calle & Chang Gómez, 2014).

2.6. NORMATIVAS DE REFERENCIA.

La normativa de referencia que rige en el Ecuador para la protección de los cuerpos superficiales, como los ríos, es la establecida en el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), en su última modificación, publicada en Quito el miércoles 4 de noviembre del 2015. De acuerdo al Anexo I – NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, esta norma técnica ambiental, revisada y actualizada, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional, estableciendo en ella:

- Principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua.
- Definiciones de términos importantes y competencias.
- Criterios de calidad de las aguas para diferentes usos.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistema de alcantarillado.
- Permisos de descarga.
- Parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua o sistema de alcantarillado de industrias.
- Métodos y procedimientos para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua.

En el apartado quinto del Anexo I, se menciona las *“Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y estuarios”*, teniendo en cuenta los siguientes usos del agua:

- Consumo humano y uso doméstico.
- Preservación de la vida acuática y silvestre.
- Uso agrícola o de riego.
- Uso pecuario.
- Uso recreativo.
- Uso estético.

Además, menciona que: *“en los casos en los que se concedan derechos de aprovechamiento de aguas con fines múltiples, los criterios de calidad para el uso de aguas, corresponderán a los valores más restrictivos para cada referencia”*.



Los criterios de calidad, parámetros y sus unidades, así como la manera de expresarlos, se observan en las tablas presentes del Anexo I, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 2: Criterios de calidad para los diferentes usos, presentes en el Anexo I de la reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

| TABLA N° | CRITERIOS DE CALIDAD |
|-----------------|--|
| 1 | De fuentes de agua para el consumo humano y doméstico. |
| 2 | Admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. |
| 2ª | Admisible del amoniaco total para la protección de la vida acuática (mg/l NH_3). |
| 3 | De aguas para uso agrícola en riego. |
| 4 | Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego. |
| 5 | De aguas de uso pecuario. |
| 6 | Para fines recreativos mediante contacto primario. |
| 7 | Para fines recreativos mediante contacto secundario. |

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en la microcuenca del río Déleg, de aproximadamente 86.37 km². Se encuentra al sur de la provincia del Cañar a 22 km, al suroeste del cantón Azogues, en el límite con el cantón Cuenca. El río Déleg nace de la confluencia de los ríos Chine y Llinqui, muy cerca de la población de Surampalti, situada aproximadamente a 8 km del Cantón Déleg. Recorre una distancia aproximada de 19.6 km hasta desembocar en el río Burgay, poco antes de que éste se una al río Cuenca; a lo largo de su recorrido el río recibe el aporte de pequeñas quebradas como la Yaunay, Sigsipamba, Chacahuaycu, Matara, Gulag y otras menores.

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA

El río Déleg tiene una altura máxima de 2875 m s.n.m. en su nacimiento y una altura mínima de 2323 m s.n.m. en el momento que se une al río Burgay, dando un desnivel de 552 m con una pendiente de 2.8% del cauce.

La temperatura promedio anual es de 13.45 °C, alcanzando temperaturas máximas de 14.06 °C en el mes de diciembre y temperaturas mínimas de 12.43 °C en el mes de agosto. En cuanto a la precipitación, tiene un promedio anual de 69.58 mm, con un máximo de 99 mm en el mes de abril y un mínimo de 38 mm en el mes de agosto (Chauca, 2003 - 2004).

Dentro de las actividades que se desarrollan en la microcuenca del río Déleg están: la industrial, la ganadera y fundamentalmente la agrícola, teniendo como principal producto el maíz; seguido de la siembra de papas, habas, porotos (frijoles), etc. (Chauca, 2003 - 2004). Aproximadamente a 3 km de finalizar su recorrido, se encuentra ubicada la industria cerámica de las empresas Italpisos y Cerámicas Rialto, la cual descarga sus efluentes sin un tratamiento adecuado hacia el río, como se puede observar en la Imagen 2.



Imagen 2: Descargas y desechos en todo el cauce del río en el sector de la industria cerámica.
Fuente (Autores).

3.1.3. GEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA

Mediante el uso del mapa geológico Cuenca – Azogues hoja 53 - 73, se traza el perfil geológico por el cual atraviesa el río Déleg (Figura 2). La composición geológica del perfil informa la presencia de depósitos, aglomerados y formaciones geológicas pertenecientes al periodo cuaternario y terciario; tales como: Depósito Aluvial (m), Tilita (gt), Volcánicos Llaqueo (Q_{LI}), Formación Mangan (MM), Formación Turi (P_{TU}), Formación Azogues (MAZ) y Loyola (ML); pertenecientes al Grupo Azogues. Las descripciones de las formaciones geológicas han sido tomadas del programa de investigación PRECUPA (Basabe, P., Neumann, A., Almeida, E., Herrera, B., García, E., & Ontaneda, P., 1998).

3.1.4. COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA

Según Chauca, (2003 - 2004) la cobertura vegetal y uso del suelo en el cantón Déleg, cuya superficie es el 88% de la microcuena del río Déleg, está conformado por: tierras cultivas, pastizales, bosques y tierras eriales; sin embargo, en las cabeceras de la microcuena (zonas altas) se presentan los páramos andinos (García, 2015). En la Figura 4 se observa los usos del suelo correspondientes a la microcuena, procesados en base a los datos tomados del SIGTIERRAS; sin embargo, a continuación, se describen los más relevantes.

- Tierras cultivadas. - se encuentran en gran porcentaje en la microcuena, especialmente en áreas cercanas al río Déleg; son zonas destinadas a la producción de alimentos, fármacos o industria; que se encuentran conformadas por huertos, cultivos, y plantaciones.
- Pastizales. - presentes en zonas dedicadas a la ganadería para su correspondiente alimentación, o con fines de protección; son áreas cubiertas predominantemente por especies herbáceas, naturales o cultivadas.
- Bosques y Vegetación Arbustiva. - estas zonas son el producto de un proceso biológico natural o debido a la acción del hombre. Están formadas de árboles (en su mayoría eucalipto), arbustos y demás especies vegetales, que son utilizados con fines de producción y protección. La actividad agrícola, ganadera y la deforestación han ido expandiéndose hacia las zonas frágiles de la microcuena como son los páramos.
- Tierras eriales. - zonas que no son aptas para usos agrícola o forestal, debido a que son suelos áridos que por lo general no presentan vegetación. Sin embargo, estas áreas pueden ofrecer otros usos como por ejemplo la construcción.
- Páramos. - son ecosistemas que se extienden entre los 2800 hasta los 3000 m s.n.m.; presentan una vegetación arbustiva tipo chaparro, matorral espinoso, ciprés, altamizo, y especies propias del páramo como la paja de cerro, musgos, hierbas de penacho (manejo) de los géneros Calamagrotis, Festuca y varias especies de Stipa. Cuentan con suelos húmicos (negros) abundantes en materia orgánica de alto potencial agrícola.

En la Tabla 3 se presenta el área de cobertura para cada uso del suelo dentro de la microcuena del río Déleg.

Tabla 3: Área de cobertura para cada uso del suelo.

| USO DEL SUELO | ÁREA (km 2) |
|---------------------------|-------------|
| Área Poblada | 2,0 |
| Bosque Nativo | 0,1 |
| Cuerpo de Agua | 0,1 |
| Tierras cultivadas | 7,5 |
| Tierras eriales | 0,6 |
| Infraestructura Antrópica | 0,1 |
| Páramo | 5,5 |
| Pastizal | 38,5 |
| Plantación Forestal | 12,8 |
| Vegetación Arbustiva | 9,5 |
| Vegetación Herbácea | 7,3 |

3.2. ESTACIONES DE MONITOREO

Se ubicaron 5 estaciones de monitoreo a lo largo del río Déleg para comprender como la calidad del recurso varía en el espacio (Figura 3), considerando: los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, corroborando con la información suministrada por el GAD del Cantón Déleg; los usos concesionados al recurso como doméstico, riego y abrevadero, establecidos por la SENAGUA; y la accesibilidad a dichas estaciones; cumpliendo de la mejor manera las condiciones que deben tener las secciones para poder realizar los aforos de caudales, como se indicará más adelante en la sección 3.6.

Tabla 4: Ubicación estaciones de monitoreo en el río Déleg.

| ESTACIÓN | COORDENADAS | | | OBSERVACIÓN |
|----------|-------------|------------|--------------------|-------------------------------------|
| | Este (m) | Sur (m) | Altitud (m s.n.m.) | |
| 1 | 727644.00 | 9695507.00 | 2875 | Unión de los ríos Chine y Llinqui |
| 2 | 730436.72 | 9693672.42 | 2643 | Descarga de la Quebrada Yaunay |
| 3 | 731365.49 | 9690631.08 | 2548 | Descarga de la Quebrada Sigsipamba |
| 4 | 731785.53 | 9688436.16 | 2435 | Descarga de la Quebrada Chacahuaycu |
| 5 | 735225.50 | 9687233.06 | 2328 | Antes de la unión con el río Burgay |

3.2.1. GEOLOGÍA DE CADA ESTACIÓN

A lo largo de cada estación, las propiedades físicas, químicas o microbiológicas del agua pueden cambiar debido a la composición geológica del sector y/o debido a la cobertura vegetal.

- ESTACIÓN 1

Está compuesta por la *formación Tarqui*, correspondiente al Pleistoceno. En el área, alrededor de Gullanzhapa, parece existir una transición de la formación Turi a la formación Tarqui. Las rocas constituyentes son piro-clásticas ácidas, pero ocasionalmente se observan lavas. En ciertos lugares debido a la alteración hidrotermal se ha alterado completamente la roca original a caolín. Además, en esta estación, está presente la *formación célica*, perteneciente a la época Cretácica; contiene andesitas de color verde-gris característico, con láminas masivas homogéneas de varios metros de espesor. Se suele encontrar tobas interestratificadas y se puede diferenciar los volcánicos de la Formación Célica de los de la Formación Macuchi, por la ausencia de sedimentos presentes en las rocas de origen continental de la Formación Célica. A la llegada de la estación 1 se encuentra presente la *Tilita*, perteneciente al Pleistoceno; es de origen propiamente glaciario. Según el mapa geológico Cuenca – Azogues hoja 53 - 73 se encuentran tilitas de dos edades: los depósitos más jóvenes se encuentran principalmente en el área al Oeste de Nazón y a lo largo del valle del Río Maluay, al Sur de El Valle a 2.600 m. Los depósitos más antiguos de Tilita se encuentran al Oeste de Cuenca (Peñafoel Romero, 2014).

- ESTACIÓN 2

Al igual que en la estación 1 existe la presencia de *Tilitas*, aunque la formación predominante al llegar a la estación 2 es la *formación Mangán*, perteneciente al inicio del Mioceno-Tardío; cuenta con una litología formada de “*lutitas, secuencia de limolitas y areniscas finogranulares en su parte inferior, todas de color claro; en su parte media se encuentran lutitas asociadas con vetas de carbón; en la parte superior aflora una arenisca tobácea gruesa café, que se hace conglomerática hacia arriba (Bristow, 1973).*” En cuanto a las condiciones hidrogeológicas, el material es poroso, pero de baja permeabilidad por su limitación en la transmisibilidad. Niveles freáticos poco profundos generan flujos paralelos sobre contactos duros y concrecionados, como el caso de areniscas calcáreas.

- ESTACIÓN 3

De igual manera que en la estación 2, la formación predominante al llegar a la estación 3 es la *formación Mangán*; sin embargo, el cauce del río atraviesa una distancia considerable en la que se encuentra formado por *depósitos coluviales*, estos depósitos son de ladera y pie de talud con materiales heterogéneos (dependiendo de la zona) que han presentado poco desplazamiento. Compuesto generalmente de mezclas heterogéneas de bloques y fracciones angulares y subangulares con matriz limo-arcillosa (Vélez Dávila, 2012). Además, antes de llegar a la estación 3 el cauce cruza la falla de Déleg como se puede observar en la Figura 2.

- ESTACIÓN 4

Atraviesa por una zona en donde existe escasa presencia de *depósitos coluviales*, mientras que la formación predominante a lo largo del recorrido entre las estaciones 3 y 4 es la *Mangán*, descrita ya anteriormente. Existe además la presencia de *derrumbes* poco antes de llegar a la estación 4; estos tienen la apariencia característica de ser terrenos ondulados y agrietados. La formación de lagos temporales permite que sean identificados fácilmente.

- ESTACIÓN 5

Existe poca presencia de la formación Mangán entre la estación 4 y 5, sin embargo, aparece la formación Azogues, perteneciente al Mioceno Medio-Tardío. Cuenta con una litología formada de una *“secuencia sedimentaria típicamente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso, café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. Se encuentra fauna de moluscos y restos de plantas.”* Mientras que en cuanto a las condiciones hidrogeológicas la permeabilidad es de media a alta por fracturación. Macizos poco húmedos a secos (Steinmann M., Seward D. & Hungerbühler D, 1996). Aparece también la formación *Loyola*, perteneciente al Mioceno Medio. *Su litología se caracteriza por ser una formación sedimentaria clástica finogranular, que consiste en una alternancia de lutitas gris oscuro muy visibles, limolitas que meteorizan a arcillas de color blanco y habano; localmente lentes de areniscas limosas habanas, finamente estratificadas con cemento calcáreo, calizas, y mega brechas. En el lado oriental de la cuenca, en la base de la formación, ocurren areniscas y conglomerados (basales) en discordancia sobre la formación Yunguilla. Abunda yeso, especialmente en las superficies alteradas.* En cuanto las condiciones hidrogeológicas presentan una permeabilidad baja (por fracturación). Permite la infiltración de aguas freáticas, pero no la transmisibilidad. Desarrollo importante de la presión de poros en zonas mal drenadas y en el pie de colinas cerca o bajo los niveles freáticos. Finalmente, se encuentran los *depósitos aluviales*, pertenecientes al Holoceno. Son depósitos recientes post-glaciares hasta nuestros días, este material ha sido transportado y depositado por los ríos, el cual forma parte de las llanuras de inundación. Está compuesto en diferentes porcentajes y composición de bloques, gravas y arenas limosas, cuyas formas varían de redondas a angulares dependiendo del curso fluvial. En sus condiciones hidrogeológicas presentan niveles freáticos poco profundos, con una permeabilidad alta. Los depósitos suelen estar afectados por flujos internos.

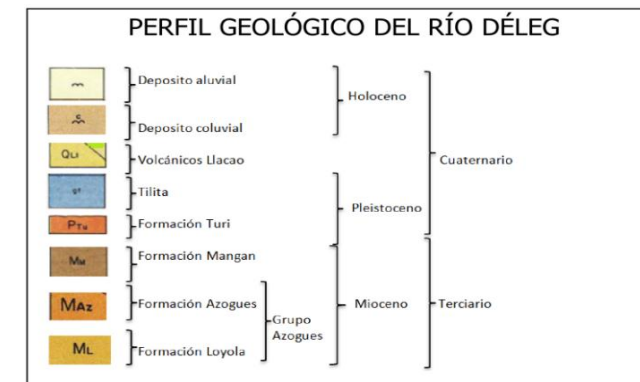
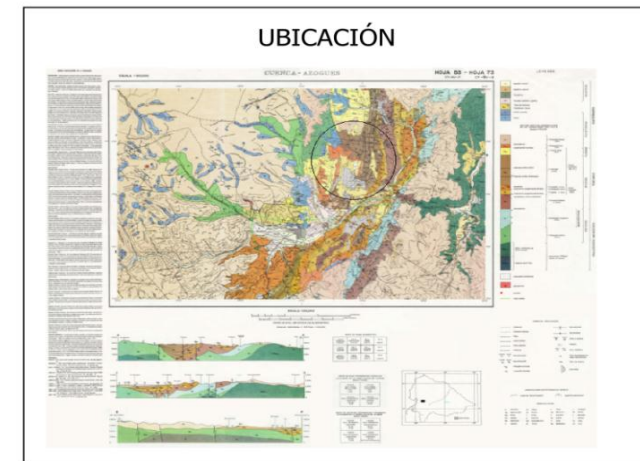
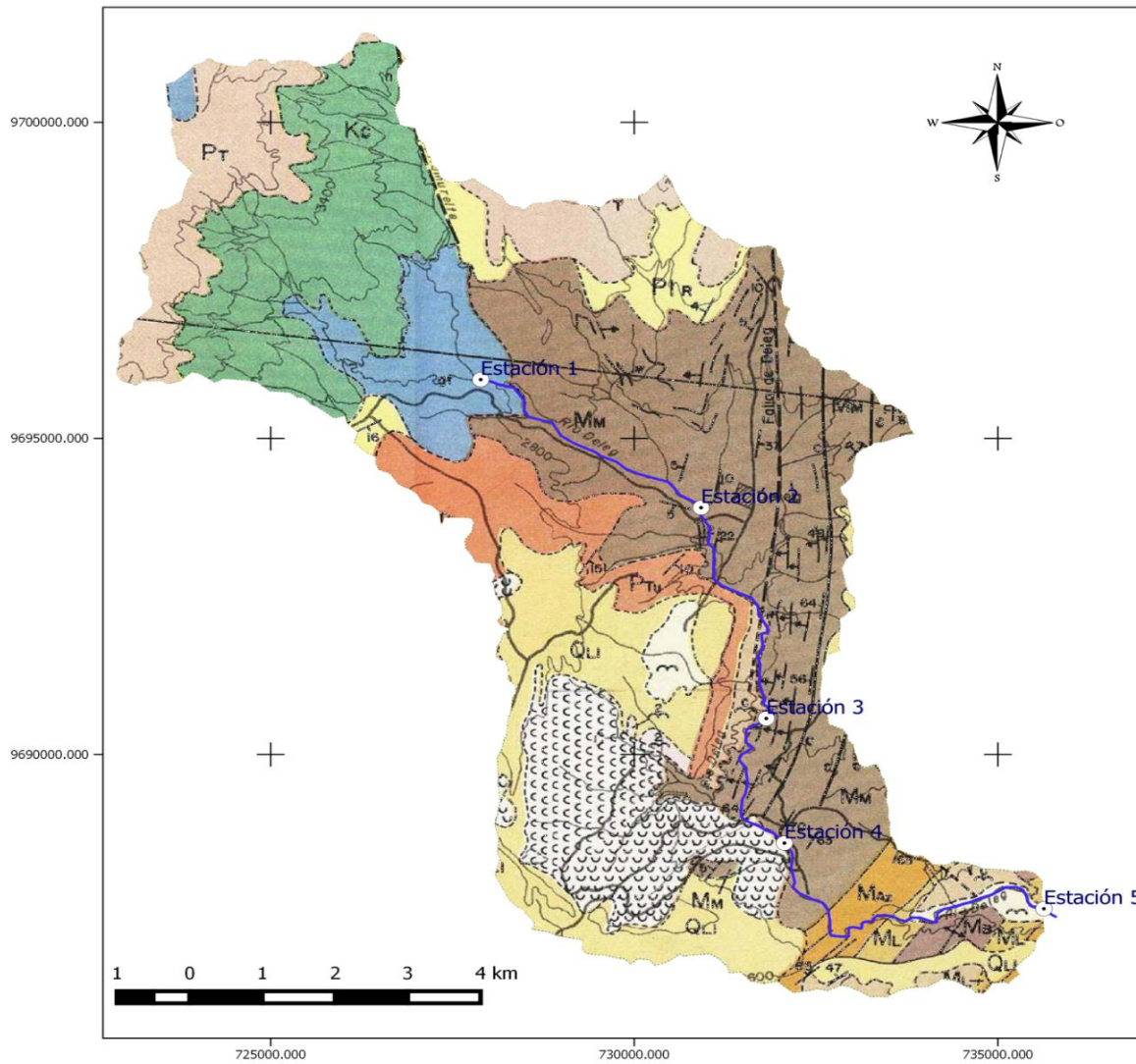


Figura 2: Geología de la microcuenca del río Déleg.

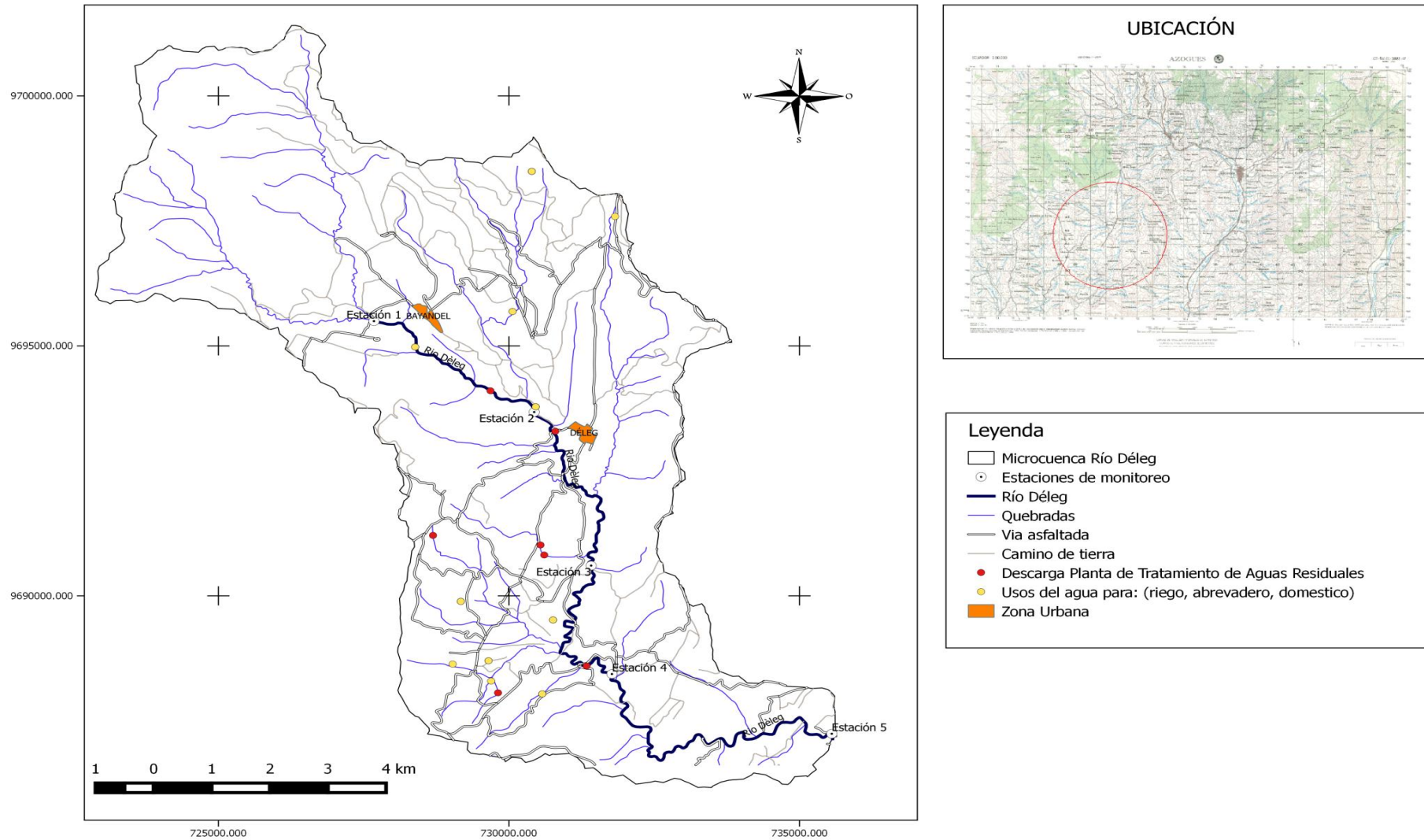


Figura 3: Ubicación de las estaciones de monitoreo en el río Déleg.

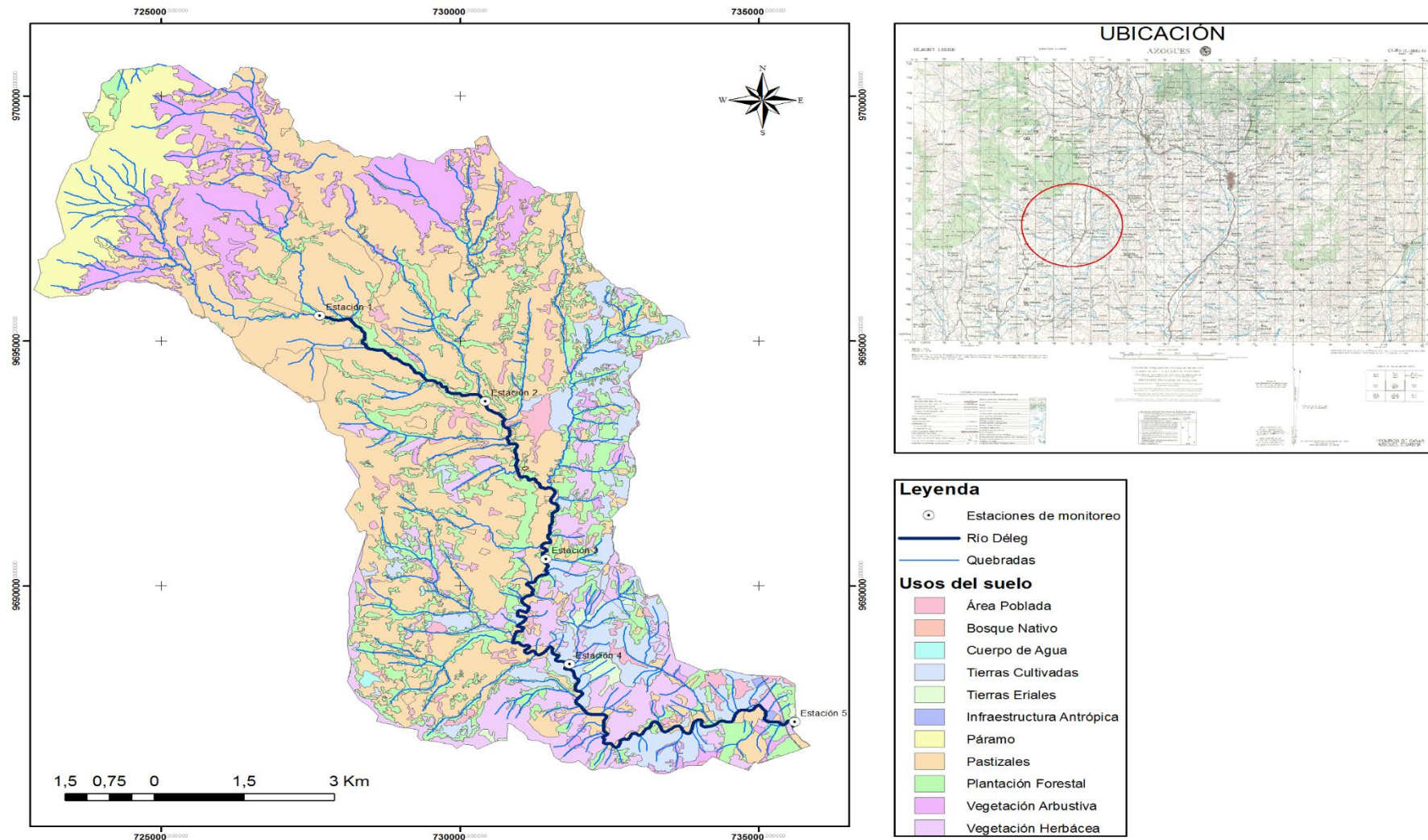


Figura 4: Usos del suelo en la microcuenca del río Déleg.

3.2.1.1. CALIDAD DEL AGUA DEBIDO A LA GEOLOGÍA DE LA ZONA

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en términos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. Esta alteración ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. (Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A., & White, N. C., (1996)).

Desde el punto de vista químico el agua del río Déleg posee una alta conductividad, debido a la presencia de una alteración hidrotermal existente; tiene un alto valor de alcalinidad que le confiere una buena capacidad de amortiguación; es relativamente dura; la presencia de cloruros se debe a la descomposición del mineral *halita* durante la modificación hidrotermal; aunque no se ha realizado las mediciones de sodio y potasio, también estos elementos deberán ser significativos, así como el contenido de sílice.

3.2.1.2. CALIDAD DEL AGUA DEBIDO A LOS USOS DEL SUELO DE LA ZONA

Los páramos debido a que son medios tropicales de altura, propios de los bosques andinos y por la importante retención de agua en sus suelos, actúan como reguladores de los flujos hídricos, es decir, se almacena en periodos húmedos y se libera de manera progresiva en periodos secos; además, controla la intensidad de crecidas por su alta infiltración (Podwojewski, 1999).

Aparte del contenido de la materia orgánica antropogénica, el río Déleg cuenta con el aporte de una contaminación difusa de materia orgánica proveniente de los páramos; debido a que estos tienen un origen volcánico reciente y un clima frío propio de estos ecosistemas. Esto evita que la materia orgánica se descomponga rápidamente, llegando a contener hasta un 50% de esta, reteniendo además un alto contenido de carbono (Podwojewski & Poulénard, 2000a, 2000b).

En cuanto a la demás cobertura vegetal como son los cultivos, bosques y pastizales, influyen debido al arrastre de los diversos agentes químicos, la quema y el sobrepastoreo que son necesarios para el desarrollo de la fuente de producción de la zona.

3.3. CAMPAÑAS DE MONITOREO

En los meses de septiembre a diciembre del 2017 se realizaron 8 campañas de monitoreo en el río Déleg (Tabla 5); con un promedio de dos campañas por mes; a fin de evaluar la variabilidad temporal y espacial que podría experimentar la calidad del agua.

Tabla 5: Fechas de los monitoreos.

| MONITOREO | FECHA |
|-----------|------------|
| M1 | 14/09/2017 |
| M2 | 27/09/2017 |
| M3 | 12/10/2017 |
| M4 | 25/10/2017 |
| M5 | 08/11/2017 |
| M6 | 22/11/2017 |
| M7 | 06/12/2017 |
| M8 | 13/12/2017 |

3.4. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MONITOREO

En cada estación y durante todas las campañas, se realizaron las siguientes mediciones *in situ*: caudal, oxígeno disuelto (OD), temperatura y se captaron las muestras de agua que fueron llevadas al Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca; las mediciones *in situ*, se realizaron utilizando los siguientes equipos:

- FlowTracker

Permite medir la velocidad del flujo del agua a diferentes profundidades del cauce mediante el principio del efecto Doppler. Esencial para determinar el caudal mediante el método de aforo velocidad–sección.

- Flotador

Elemento que mide la velocidad superficial del agua, pudiendo ser: un pequeño pedazo de madera, corcho o una pequeña botella lastrada. Se emplea de igual manera para determinar el caudal mediante el método de aforo velocidad–sección.

- Oxímetro

Equipo utilizado para medir la concentración de oxígeno disuelto (OD), así como la temperatura en los ríos. Normalmente el equipo registra dos medidas: el valor del oxígeno en el agua, en partes por millón (ppm); y el porcentaje de saturación (%). Para la medición del (OD) y la temperatura se introduce la sonda del instrumento en el cuerpo de agua y el equipo registra los valores.

- Frasco Winkler

Recipiente de vidrio con cierre hermético de una capacidad de 300 ml, en el cual se coloca la muestra de agua para realizar el ensayo de la DBO_5 .

- Recipientes

Un recipiente con capacidad de 250 ml para la toma de muestra de agua correspondiente al ensayo bacteriológico, y otro con una capacidad de 3.5 litros para

la toma de agua para una muestra compuesta, que será utilizada para los ensayos restantes.



Imagen 3: Equipo empleado para el aforo de caudal. Fuente (Autores).



Imagen 4: Equipo empleado para la toma de muestras de agua. Fuente (Autores).

3.5. TIPOS DE MUESTRA

El tipo de muestra de agua que se utilizó para el estudio fue una *muestra compuesta*, la cual consiste en una mezcla de varias muestras puntuales de agua tomadas en diferentes sitios a lo ancho del río, garantizando una muestra representativa para cada una de las estaciones. El muestreo se lo realizó siguiendo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 176, (1998), dividiendo al río en tres partes iguales a lo ancho, tomando una muestra de 1,5 litros en el centro de cada una de ellas.

Se recomienda que el muestreo no se lo realice en lugares donde el agua se encuentre estancada; además, se deberá tomar la muestra de agua desde el fondo hacia la superficie y no en un punto específico con respecto al calado del río.

3.6. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL

Dentro del campo de la hidrometría, que tiene como objetivo principal medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería por unidad de tiempo (INRENA, 2005), se presentan diferentes métodos para aforar corrientes naturales, de los cuales el método de aforo velocidad - sección es el utilizado en este estudio para la medición de caudales en las 5 estaciones.

3.6.1. MÉTODO DE AFORO VELOCIDAD – SECCIÓN

El método consiste en medir la velocidad y el área en la sección transversal del flujo de agua; determinando luego el caudal que será igual al producto de estos dos parámetros. La velocidad en la sección podrá ser medida mediante un flotador, molinete (correntómetro) o ADV (Acoustic Doppler Velocimeter). Pevio a discutir la metodología con la que se realizó la medición de caudal para los métodos de flotador y acústico (FlowTracker), se establecerá la distribución de velocidades en una vertical, así como de las condiciones que deberá cumplir la sección de medición donde se realizará el aforo.

a) Perfil de distribución de velocidades

La distribución de velocidades en un cauce natural que más se ajusta a la realidad se presenta en la Figura 5, en donde se toma en cuenta: la fricción que existe entre el agua y el aire; se considera como un flujo estacionario; la configuración del fondo de la sección transversal, y los obstáculos que afectan a la distribución de velocidades (Tapia Rodríguez, Molina Aguilar, Pérez Morales, & Torres Acosta, 2012).

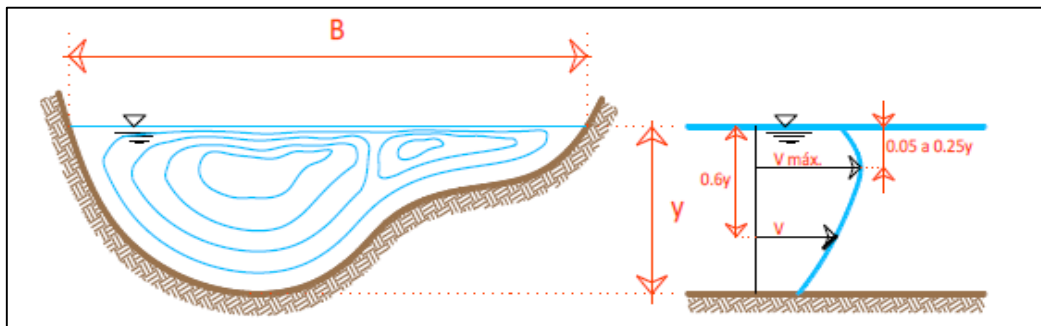


Figura 5: Distribución típica de velocidades en un cauce natural que más se aproxima a la realidad. Fuente (Tapia Rodríguez et al., 2012).

En base a mediciones experimentales sobre la distribución del perfil de velocidades, King, (1981) concluye las siguientes reglas:

- La curva del perfil de distribución de velocidades se aproxima a una parábola de eje vertical, es decir, aumenta desde la superficie del agua hacia abajo hasta llegar al punto de velocidad máxima, y a partir de este comienza a disminuir.
- La velocidad máxima se presenta entre el 5% y 25% de la profundidad del agua y el porcentaje aumenta con incrementos en la profundidad del canal. En corrientes poco profundas con lecho rugoso la velocidad máxima se presenta muy cerca de la superficie.
- La velocidad media se presenta al 60% de la profundidad. Esto se cumple con un error medio de 1% y un error máximo de 3%.
- La velocidad media es el promedio aritmético de las velocidades al 20% y 80% de profundidad. Esto se cumple con un error medio nulo y un error máximo del 1%.

b) Sección de medición

La sección donde se realizará el aforo del caudal mediante la medición de la velocidad, así como de la sección transversal del flujo de agua; deberá de cumplir con las siguientes condiciones (Quiñones-Márquez & Guzmán Ríos, 1986):

- El tramo donde se localiza la sección trasversal debe ser recto, ya que al presentar curvaturas afectará a la distribución de las velocidades. Tanto aguas arriba como aguas abajo se deberá tener un tramo recto de aproximadamente 10 metros.
- El flujo deberá ser lo más uniforme posible, es decir evitar tramos en los que el flujo sea turbulento o puntos muertos donde sea nulo.
- El fondo del cauce deberá ser uniforme, sin presencia de abundante material granular. Tener en cuenta que las secciones suelen ser modificadas por la erosión o sedimentación de las mismas, por crecidas que pueden ser registradas en el cambio de la época de estiaje a la época de avenida.
- No deberá presentarse abundante vegetación en el lecho del río.
- El lugar donde se coloque el punto de medición deberá de ser de fácil acceso, para poder transportar los equipos sin mayores inconvenientes.

3.6.1.1. MÉTODO DEL FLOTADOR

Este método es utilizado cuando no se dispone de los equipos de medición de velocidad, o cuando el cauce del río presenta velocidades altas que pueden poner en peligro a las personas y equipos.

El método supone que los objetos utilizados como flotadores tales como: un pequeño pedazo de madera, corcho o una pequeña botella lastrada; se muevan a la misma velocidad superficial que el tirante de agua en donde son colocados (INRENA, 2005). Este método no se podrá emplear con la presencia de fuertes vientos, puesto que afecta a la medición de la velocidad del flotador (Chamorro de Rodríguez & Velásquez, 2011).

A continuación, se describe los diferentes parámetros que intervienen en el método de aforo mediante el uso del flotador.

a) Velocidad superficial

La velocidad superficial se determina mediante la medición del tiempo que el flotador tarda en recorrer una determinada distancia (*Ec. (1)*), que por conveniencia deberá ser un número cerrado 5, 10, 15 o 20 metros (INRENA, 2005).

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

v : Velocidad superficial.

d : Distancia recorrida por el flotador.

t : Tiempo recorrido por el flotador.

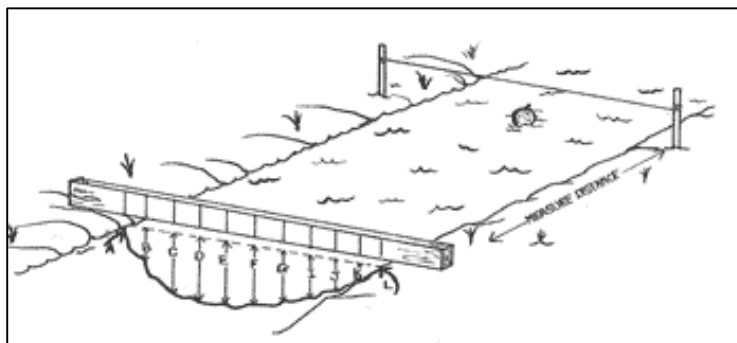


Figura 6: Sección de aforo para el método de medición de caudal. Fuente (Canyon Industries, Inc., 2004 - 2014).

El cálculo del caudal mediante este método es aproximado, por lo cual la velocidad superficial obtenida con el flotador deberá ser corregida mediante factores empíricos (Tabla 6). Estos factores dependen de las condiciones del recurso que se evalúa; de esta forma se aproxima esta velocidad obtenida a la velocidad media del perfil de distribución de velocidades.

Tabla 6: Factores de corrección de velocidad. Fuente (INRENA, 2005).

| TIPO DE ARROYO | FACTOR DE CORRECCIÓN DE VELOCIDAD (C) | PRECISIÓN |
|--|---|-----------|
| Canal rectangular, con lados y lechos lisos. | 0.85 | Buena |
| Río profundo y lento. | 0.75 | Razonable |
| Arroyo pequeño de lecho parejo y liso. | 0.65 | Mala |
| Arroyo rápido y turbulento. | 0.45 | Muy mala |
| Arroyo muy poco profundo de lecho rocoso. | 0.25 | Muy mala |

Para las estaciones 1, 3 y 4, se realizaron ponderaciones entre los coeficientes 0.45 y 0.65, ya que las características que presentan estas estaciones son combinaciones de ciertas condiciones de los tipos de arroyos descritos en la Tabla 6, teniendo la siguiente configuración:

Estación 1: 25% coeficiente 0.65 y 75% coeficiente 0.45; dando un coeficiente C de 0.5.

Estación 3: 25% coeficiente 0.65 y 75% coeficiente 0.45; dando un coeficiente C de 0.5.

Estación 4: 75% coeficiente 0.65 y 25% coeficiente 0.45; dando un coeficiente C de 0.6.

A continuación, en la Tabla 7 se presentan los factores de corrección de velocidad adoptados en cada una de las estaciones.

Tabla 7: Factores de corrección para cada estación.

| | ESTACIÓN | FACTOR DE CORRECCIÓN (C) |
|---|--|--|
| 1 |  <p data-bbox="411 566 810 593">Imagen 5: Estación 1. Fuente (Autores).</p> | <p data-bbox="1061 338 1445 477">Por la presencia de rocas, tratarse de un arroyo pequeño y tener un flujo turbulento en ciertas zonas de la sección.</p> <p data-bbox="1209 517 1294 544">C = 0.5</p> |
| 2 |  <p data-bbox="411 880 810 907">Imagen 6: Estación 2. Fuente (Autores).</p> | <p data-bbox="1061 685 1445 748">Por la presencia de flujo lento en una sección profunda.</p> <p data-bbox="1209 790 1294 817">C = 0.75</p> |
| 3 |  <p data-bbox="411 1180 810 1207">Imagen 7: Estación 3. Fuente (Autores).</p> | <p data-bbox="1061 976 1445 1077">Por presentar flujo turbulento y tratarse de un arroyo pequeño y liso.</p> <p data-bbox="1209 1120 1294 1146">C = 0.5</p> |
| 4 |  <p data-bbox="411 1538 810 1568">Imagen 8: Estación 4. Fuente (Autores).</p> | <p data-bbox="1061 1328 1445 1391">Por conservar un lecho parejo y existir presencia de rocas.</p> <p data-bbox="1209 1433 1294 1460">C = 0.6</p> |
| 5 |  <p data-bbox="411 1870 810 1897">Imagen 9: Estación 5. Fuente (Autores).</p> | <p data-bbox="1061 1704 1445 1767">Por ser una sección profunda con un flujo lento.</p> <p data-bbox="1209 1809 1294 1836">C = 0.75</p> |

b) Área de la sección transversal

Para el cálculo de la sección transversal, se multiplicará el ancho del cauce por la profundidad media del río (Ec. (2)). Esta profundidad será igual al promedio de las diferentes profundidades medidas al dividir el río por lo menos en tres partes iguales, como se muestra en la Ec. (3) (Chamorro de Rodríguez & Velásquez, 2011).

$$A = b * h_p \quad \text{Ec. (2)}$$

$$h_p = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

A : Área de la sección transversal.

b : Ancho del río.

h_p : Profundidad promedio.

h_i : Profundidad de cada una de las divisiones.

n : Número total de profundidades tomadas en la sección.

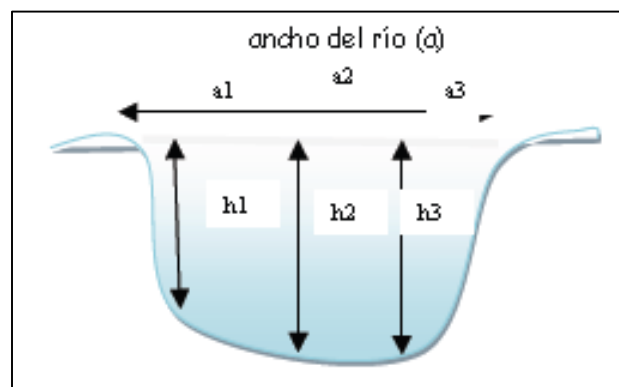


Figura 7: Medición de las profundidades para el cálculo de la profundidad media.
Fuente (Chamorro de Rodríguez & Velásquez, 2011).

c) Caudal

El caudal calculado mediante el método del flotador será igual al producto del área transversal por la velocidad superficial y por un coeficiente de corrección dado en la Tabla 6, como se observa en la Ec. (4).

$$Q = A * v * C \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

Q : Caudal.

A : Área de la sección transversal.

v : Velocidad superficial.

C : Factor de corrección.

3.6.1.2. MÉTODO ACÚSTICO - FLOWTRACKER

La metodología utilizada para realizar el aforo con el equipo FlowTracker (método acústico) es similar a la utilizada con un molinete o correntómetro (Figura 8); el cual mide la velocidad del flujo de agua a partir del número de revoluciones que la canastilla del molinete realiza alrededor de su propio eje; que posteriormente, mediante la ecuación de calibración del molinete, transformar el número de revoluciones a velocidad (Marbello Pérez, 2005).

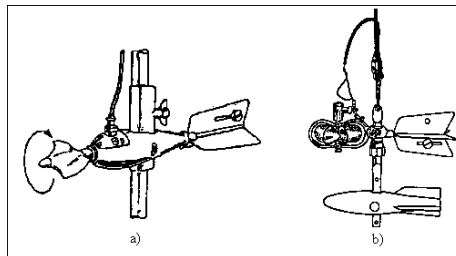


Figura 8: Molinete o correntómetro. Fuente (Hudson, 1997).

El método acústico consiste en dividir la sección transversal del río en subsecciones, franjas o dovelas; en las cuales se procederá a medir la velocidad con el equipo FlowTracker a 20%, 60% u 80% de la profundidad del río, según sea el caso. El número de dovelas dependerá del caudal estimado que pasará por la sección, por lo que, en cada subsección no deberá pasar más del 10% del caudal esperado (Kennedy Pérez, Fragoza Díaz, Peña Peña, & Moreno Bañuelos, 1992).

El equipo FlowTracker utiliza el principio de la tecnología ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), en donde la velocidad se determina mediante la variación de la intensidad de sonido (efecto Doppler).

El equipo consta de un transmisor y dos receptores acústicos que se encuentran ubicados en la parte inferior del equipo; el transmisor emite señales de sonido, velocidad y frecuencia conocida, que son captadas por los receptores acústicos luego de que estas señales sean reflejadas por los objetos en movimiento; por lo tanto, el equipo no mide la velocidad de la partícula de agua, sino la de los sólidos que se mueven con ella, en donde se produce el rebote de las señales (Palman, Montagnini, Pez, & Trento, 2005).

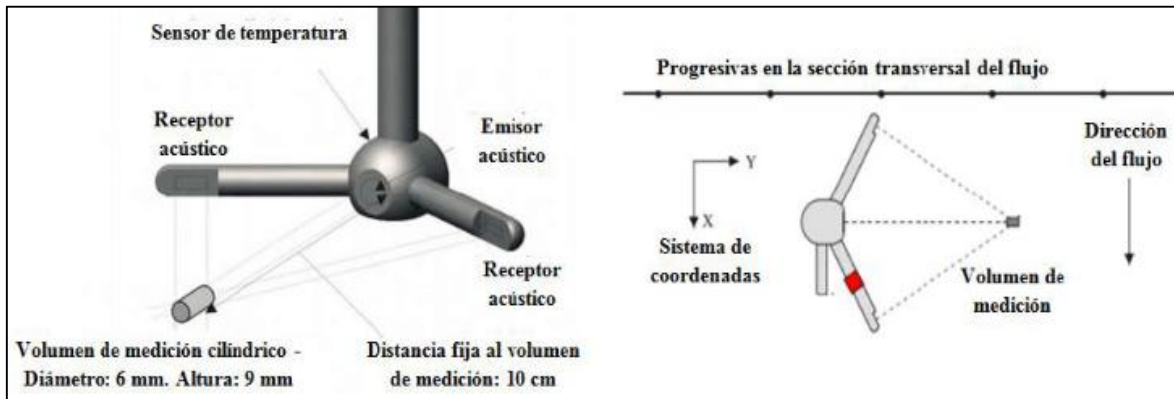


Figura 9: Detalle de la sonda. Orientación del FlowTracker en el curso de agua. Definición de sistema de coordenadas. Fuente (SonTek, 2007).

A continuación, se describe los diferentes parámetros que intervienen en el método de aforo mediante el uso del FlowTracker.

a) Velocidad

Ya establecida las subsecciones se realizará la medición de velocidad en el punto medio de cada una de las franjas, cuyo valor de velocidad media será obtenido según los siguientes casos:

- Cuando la profundidad de la franja sea menor o igual a 76 cm se medirá la velocidad al 60% de la profundidad que, según el perfil de la distribución de velocidades, es la velocidad aproximada a la velocidad media del río (Kennedy Pérez et al., 1992).

$$v_m = v_{60\%} \quad \text{Ec. (5)}$$

- Cuando la profundidad de la franja sea mayor a 76 cm y menor a 3 m, además de medir la velocidad al 60%, se deberá medir la velocidad al 20% y 80% de la profundidad del río (Quiñones-Márquez & Guzmán Ríos, 1986); y la velocidad media será igual al promedio de la velocidad al 60% y el promedio de las velocidades al 20% y 80%, como se muestran en las Ec. (6) y Ec. (7).

$$v_a = \frac{v_{20\%} + v_{80\%}}{2} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$v_m = \frac{v_a + v_{60\%}}{2} \quad \text{Ec. (7)}$$

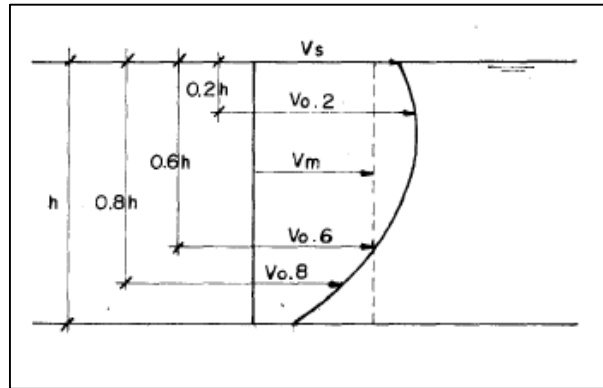


Figura 10: Medición de la velocidad a 20%; 60% y 80% de profundidad.

Fuente (Chereque Morán, 1989).

La medición de la velocidad, así como de las profundidades de cada una de las franjas se las deberá realizar ingresando o vadeando al río, teniendo en cuenta que el cauce no sea demasiado profundo o que las velocidades no sean excesivamente fuertes; lo cual podría poner en peligro al aforador y al equipo.

b) Área de las franjas

El área correspondiente a cada una de las franjas o dovelas será igual a la multiplicación del ancho por la profundidad media de la franja (Kennedy Pérez et al., 1992), como se muestran en las Ec. (8) y Ec. (9).

$$A = y * b \quad \text{Ec. (8)}$$

$$y = \frac{p_i + 2p_m + p_s}{4} \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

A : Área de la franja.

y : Profundidad media de la franja.

b : Ancho de la franja.

p_i : Profundidad límite inferior.

p_m : Profundidad de la vertical donde se realiza el aforo.

p_s : Profundidad límite superior.

c) Caudal

Por último, el caudal que pasa a través de la sección transversal de aforo será igual a la suma de los caudales que pasan por cada una de las franjas o dovelas, que es igual a la multiplicación del área por la velocidad media, como se muestra en la Ec. (10).

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i * v_i \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

n : Número de dovelas.

A_i : Área de cada dovela.

v_i : Velocidad media que circula por cada dovela.

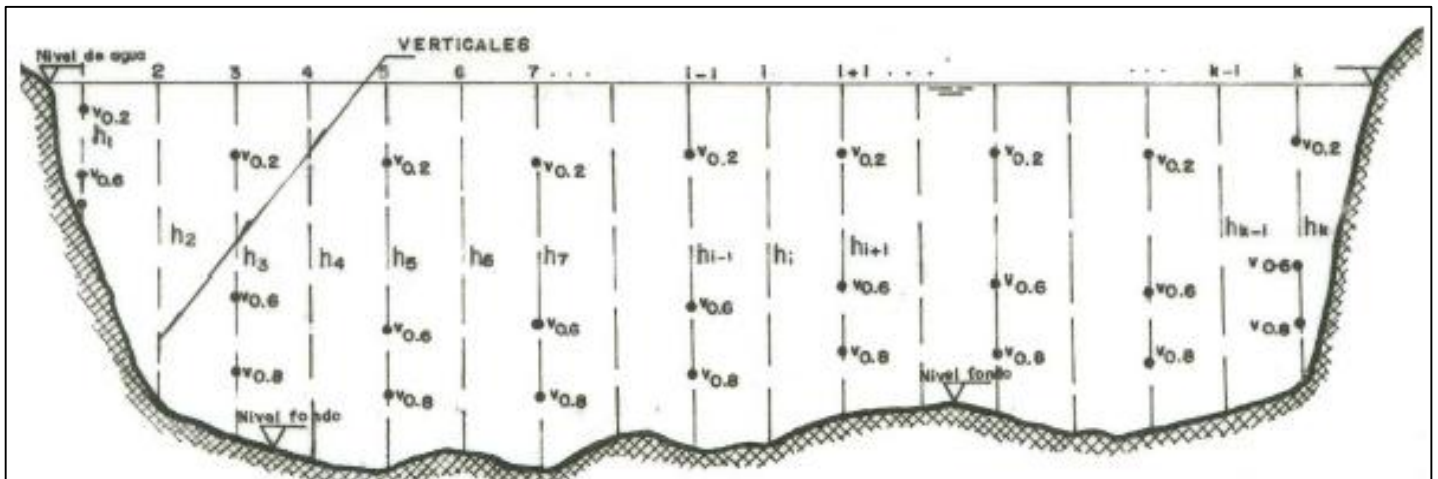


Figura 11: Metodología para el aforo de caudal con el equipo FlowTracker. Fuente (Marbello Pérez, 2005).

3.7. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD (ICA)

El índice ICA propuesto por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua indica el grado de contaminación a la que se encuentra sometido el cuerpo de agua. Se expresa como un porcentaje de agua pura, por lo tanto, para un ICA de 0%, el cuerpo de agua estará sometido a un grado de alta de contaminación y para un ICA de 100% el cuerpo de agua estará en perfectas condiciones (Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable, 2007).

El valor del índice ICA se calcula mediante la Ec. (11).

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

ICA: Índice de Calidad del Agua global .

I_i : Índice de Calidad para el parámetro (i).

W_i : Coeficientes de ponderación del parámetro (i).

n : Número total de parámetros.

3.7.1. PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ICA GLOBAL

El número de parámetros que se considera para el cálculo del Índice de Calidad del Agua Global (ICA) son 18:

1. Potencial de Hidrógeno (PH).
2. Color.
3. Turbiedad.
4. Grasas y Aceites.
5. Sólidos Suspendidos.
6. Sólidos Disueltos.
7. Conductividad Eléctrica.
8. Alcalinidad.
9. Dureza Total.
10. Nitrógeno de nitratos.
11. Nitrógeno amoniacal.
12. Fosfatos totales.
13. Cloruro.
14. Oxígeno Disuelto (OD).
15. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5):
16. Coliformes Totales.
17. Coliformes Fecales.
18. Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

Los coeficientes de ponderación, que dan el grado de importancia para determinar el ICA se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Coeficientes de ponderación para cada parámetro.
Fuente (Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable, 2007).

| PARÁMETRO | IMPORTANCIA | PARÁMETRO | IMPORTANCIA |
|-------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| pH | 1.0 | Nitrógenos de Nitratos | 2.0 |
| Color | 1.0 | Nitrógeno amoniacal | 2.0 |
| Turbiedad | 0.5 | Fosfatos Totales | 2.0 |
| Grasas y Aceites | 2.0 | Cloruros | 0.5 |
| Sólidos Suspendidos | 1.0 | Oxígeno Disuelto | 5.0 |
| Sólidos Disueltos | 0.5 | DBO_5 | 5.0 |
| Conductividad Eléctrica | 2.0 | Coliformes Totales | 3.0 |
| Alcalinidad | 1.0 | Coliformes Fecales | 4.0 |
| Dureza Total | 1.0 | SAAM | 3.0 |

3.7.2. ÍNDICES DE CALIDAD DE CADA PARÁMETRO

Para calcular el ICA global se debe primero determinar los índices de calidad para cada parámetro (ICA's particulares), que están clasificados en las siguientes categorías (Vizcaíno León, 1992):

- Materia orgánica.
- Bacteriológico.
- Material iónico.
- Material en suspensión.
- Nutrientes.

En la Tabla 9 se muestra la agrupación de los 18 parámetros para el cálculo de los ICA's particulares, los cuales se obtienen utilizando la misma fórmula que la del ICA global; con esta clasificación se puede establecer los componentes que deterioran el recurso.

Tabla 9: Agrupación para ICA's particulares.

Fuente (Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable, 2007).

| PARÁMETRO | CLASIFICACIÓN | PARÁMETRO | CLASIFICACIÓN |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| Ph | Material iónico | Nitrógeno de Nitratos | Nutrientes |
| Color | Material Suspendido | Nitrógeno amoniacal | Nutrientes |
| Turbiedad | Material Suspendido | Fosfatos Totales | Nutrientes |
| Grasas y Aceites | Material Suspendido | Cloruros | Material iónico |
| Sólidos Suspendidos | Material Suspendido | Oxígeno Disuelto | Materia orgánica |
| Sólidos Disueltos | Material iónico | DBO ₅ | Materia orgánica |
| Conductividad Eléctrica | Material iónico | Coliformes Totales | Bacteriológico |
| Alcalinidad | Material iónico | Coliformes Fecales | Bacteriológico |
| Dureza Total | Material iónico | SAAM | Nutrientes |

3.7.3. EVALUACIÓN DEL ICA

Como se mencionó anteriormente, el valor del ICA, muestra el grado de contaminación del agua expresado en porcentaje de agua pura, que puede variar desde 0% a 100%. En la Tabla 10 se muestra la clasificación y los colores asignados a cada rango de valores del ICA.

Tabla 10: Rango de clasificación del ICA según el criterio general.

Fuente (Fernández, Ramírez, & Solano, 2003).

| ICA | CRITERIO GENERAL |
|----------|-----------------------|
| 85 – 100 | No Contaminado |
| 70 - 84 | Aceptable |
| 50 – 69 | Poco Contaminado |
| 30 – 49 | Contaminado |
| 0 – 29 | Altamente Contaminado |

En la Tabla 11 se muestra la clasificación de este índice en base a los usos que se le pueden dar al recurso.

Tabla 11: Escala de clasificación del ICA en base a los usos que se le puede dar al recurso. Fuente (Dinius, 1987).

| ICA | CRITERIO GENERAL | ABASTECIMIENTO PÚBLICO | RECREACIÓN | PESCA Y VIDA ACUÁTICA | INDUSTRIA | RIEGO AGRÍCOLA |
|-----|-----------------------|--------------------------------|---|-------------------------------------|---|--|
| 100 | No contaminada | No requiere purificación | Aceptable para cualquier deporte acuático | Aceptable para todos los organismos | No requiere purificación | No requiere tratamiento |
| 90 | | Ligera purificación | | | Ligera purificación para algunos procesos | Tratamiento menor para cultivos de alta calidad de agua para riego |
| 80 | Aceptable | Mayor necesidad de tratamiento | | | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles |
| 70 | Poco contaminada | | Dudoso para especies sensibles | | | |
| 60 | Contaminada | Dudoso | Dudoso para contacto directo | Solo organismos muy resistentes | Tratamiento en la mayor parte de la industria | Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos |
| 50 | | | Sin contacto con el agua | | | |
| 40 | Altamente contaminada | No aceptable | Señal de contaminación | No aceptable | Uso muy restringido | Solo para cultivos muy resistentes (forrajes) |
| 30 | | | No aceptable | | No aceptable | Inaceptable para riego |
| 20 | | | | | | |

4. RESULTADOS

4.1. VARIACIÓN DEL CAUDAL

Los valores de caudales aforados por el método del flotador, en las campañas de monitoreo para las 5 estaciones establecidas se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Caudales (l/s) aforados (método flotador) en el periodo de monitoreo.

| ESTACIÓN | 14/09/17 | 27/09/17 | 12/10/17 | 25/10/17 | 08/11/17 | 22/11/17 | 06/12/17 | 13/12/17 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| 1 | 24 | 20 | 133 | 115 | 110 | 46 | 32 | 26 |
| 2 | 61 | 39 | 213 | 198 | 196 | 61 | 47 | 40 |
| 3 | 103 | 90 | 289 | 286 | 248 | 104 | 91 | 74 |
| 4 | 109 | 96 | 249 | 199 | 189 | 108 | 107 | 115 |
| 5 | 68 | 59 | 151 | 133 | 117 | 78 | 71 | 65 |

4.2. CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE AFORO

Se realizaron 6 aforos de caudal con los dos métodos descritos en la sección 3.6. (flotador y acústico-FlowTracker), como se observa en el Anexo 4; obteniendo una buena correlación entre estos métodos (Figura 12), corrigiendo así los datos obtenidos en un principio con el flotador; estos resultados se presentan en la Tabla 13.

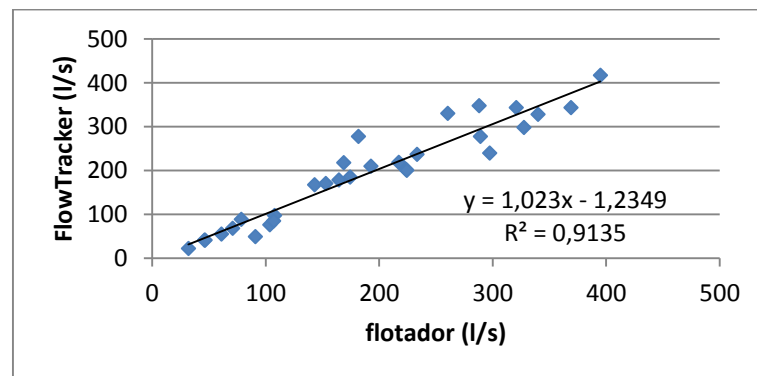


Figura 12: Correlación entre métodos de aforo.

Tabla 13: Caudales (l/s) corregidos mediante la ecuación obtenida en la correlación de métodos.

| ESTACIÓN | 14/09/17 | 27/09/17 | 12/10/17 | 25/10/17 | 08/11/17 | 22/11/17 | 06/12/17 | 13/12/17 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| 1 | 23 | 19 | 134 | 117 | 111 | 46 | 31 | 26 |
| 2 | 62 | 39 | 217 | 201 | 200 | 61 | 46 | 40 |
| 3 | 104 | 91 | 294 | 292 | 253 | 105 | 92 | 74 |
| 4 | 111 | 97 | 253 | 202 | 192 | 109 | 108 | 117 |
| 5 | 69 | 59 | 153 | 135 | 119 | 79 | 71 | 66 |

En adelante los valores referidos a caudales serán los descritos en la Tabla 13.

En la Tabla 13 se observa que el máximo caudal registrado es de 294 l/s para la estación 3 en el monitoreo M3 y el mínimo caudal se presenta en la estación 1 monitoreo M2, con un valor de 19 l/s.

En la Figura 13 se observa la variación espacial y temporal de los caudales mediante el método del flotador a lo largo de todo el estudio.

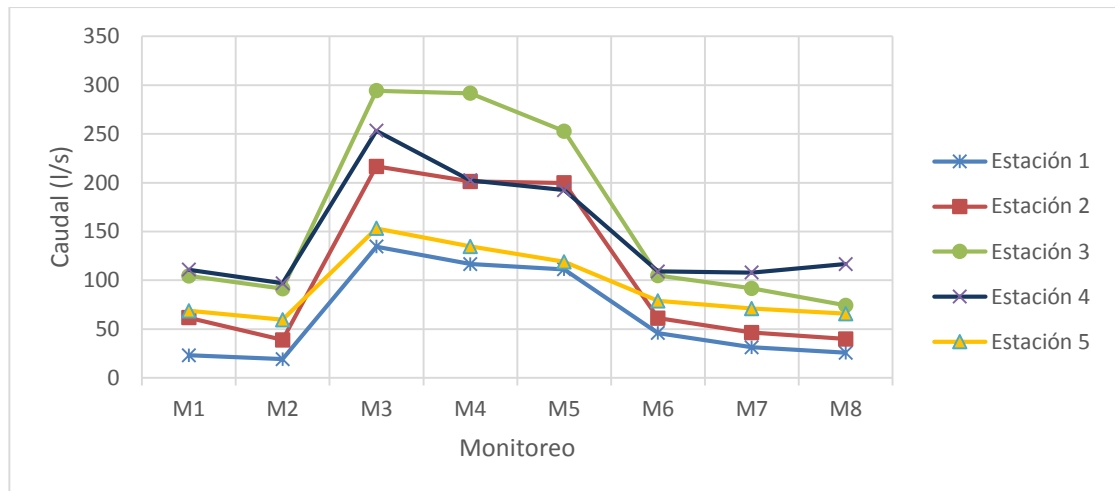


Figura 13: Variación espacial y temporal de los caudales.

4.3. CLASIFICACIÓN DE CAUDALES

Mediante el análisis estadístico de cuartiles, se clasificaron los caudales medidos en las 8 campañas de monitoreo y en cada estación; este análisis permite obtener caudales altos los mayores al cuartil 75, caudales medios entre los cuartiles 25 y 75 y caudales bajos aquellos menores al cuartil 25. Según la probabilidad de ocurrencia de caudales; ya sean altos, medios o bajos en cada estación, puede clasificarse al monitoreo como de caudal alto, medio o bajo (Pauta Calle & Chang Gómez, 2014), como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Clasificación de los caudales (l/s).

| ESTACIÓN | 14/09/17 | 27/09/17 | 12/10/17 | 25/10/17 | 08/11/17 | 22/11/17 | 06/12/17 | 13/12/17 |
|----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| 1 | ● 23 | ● 19 | ● 134 | ● 117 | ● 111 | ● 46 | ● 31 | ● 26 |
| 2 | ● 62 | ● 39 | ● 217 | ● 201 | ● 200 | ● 61 | ● 46 | ● 40 |
| 3 | ● 104 | ● 91 | ● 294 | ● 292 | ● 253 | ● 105 | ● 92 | ● 74 |
| 4 | ● 111 | ● 97 | ● 253 | ● 202 | ● 192 | ● 109 | ● 108 | ● 117 |
| 5 | ● 69 | ● 59 | ● 153 | ● 135 | ● 119 | ● 79 | ● 71 | ● 66 |
| CLASIFICACIÓN | Medio | Bajo | Alto | Alto | Medio | Medio | Medio | Bajo |

| CAUDAL | SIMBOLOGÍA |
|--------|------------|
| Alto | ● |
| Medio | ● |
| Bajo | ● |

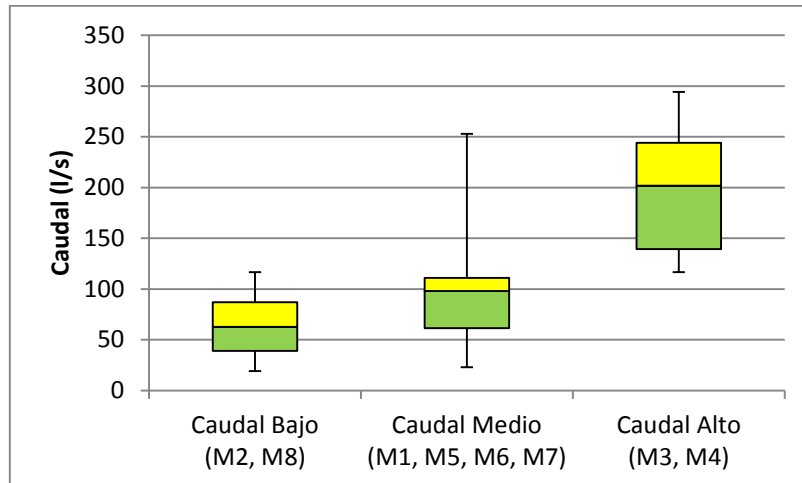


Figura 14: Diagrama de caja en base a la clasificación de caudales.

En la Figura 14 se observa que los caudales altos se presentan en el mes de octubre (típico del invierno) en el que se realizaron los monitoreos M3 y M4. Los caudales medios se presentan en las campañas M1, M5, M6 y M7; mientras que los caudales bajos se registran en los monitoreos M2 y M8, realizados en los meses de septiembre y diciembre respectivamente (veranillo del niño), típicos de estiaje.

4.4. ÍNDICE DE CALIDAD (ICA)

A partir de los resultados entregados por el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca, se calculó el ICA mediante la obtención de los índices de calidad para los 18 parámetros a excepción de las grasas-aceites y de las Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) para todo el periodo de estudio como se muestra en la Tabla 15; además, en la Tabla 16 se presenta el ICA para cada una de las 5 estaciones y en las 8 campañas de monitoreo.

Tabla 15: ICA's máximos y mínimos para cada parámetro.

| PARÁMETRO | VALOR ICA | |
|-------------------------------|-----------|--------|
| | MÁXIMO | MÍNIMO |
| OXÍGENO DISUELTO | 100 | 94,40 |
| TURBIEDAD | 100 | 46,34 |
| COLOR REAL | 69,30 | 30,60 |
| CONDUCTIVIDAD | 75,20 | 44,80 |
| pH | 100 | 33,50 |
| ALCALINIDAD TOTAL | 49,10 | 38,30 |
| DUREZA TOTAL | 77,40 | 43,00 |
| CLORUROS | 71,60 | 45,40 |
| AMONIO | 100 | 69,60 |
| NITRATOS | 100 | 100 |
| P.ORTOFOSFATOS TOTALES | 100 | 17,40 |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | 100 | 39,30 |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES | 100 | 100 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | 100 | 48,70 |
| COLIFORMES TOTALES | 25,70 | 2,06 |
| COLIFORMES FECALES (E. COLI) | 20,00 | 2,14 |

Tabla 16: Índice de calidad general ICA.

| ESTACIÓN | 14/09/17 | 27/09/17 | 12/10/17 | 25/10/17 | 08/11/17 | 22/11/17 | 06/12/17 | 13/12/17 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| 1 | 69,18 | 67,73 | 67,92 | 69,03 | 67,71 | 68,35 | 66,95 | 69,95 |
| 2 | 72,06 | 66,91 | 71,99 | 66,82 | 65,24 | 65,39 | 68,51 | 68,65 |
| 3 | 65,23 | 61,00 | 65,22 | 65,38 | 65,66 | 65,92 | 65,54 | 66,84 |
| 4 | 67,24 | 66,29 | 66,03 | 65,04 | 64,28 | 64,36 | 64,53 | 62,51 |
| 5 | 68,26 | 62,26 | 63,92 | 61,43 | 59,52 | 61,27 | 61,17 | 56,02 |

Se evidencia que el máximo ICA registrado es de 72,06 para la estación 2 en el monitoreo M1 (caudal alto); de la misma manera el mínimo valor de ICA se presenta en la estación 5, monitoreo M8 con un valor de 56,02 (caudal bajo).

En la Tabla 17 se presenta el grado o estado de contaminación de las diferentes estaciones de monitoreo, con sus respectivos colores, asignados de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 17: Grado de contaminación de las diferentes estaciones de monitoreo.

| ESTACIÓN | 14/09/17 | 27/09/17 | 12/10/17 | 25/10/17 | 08/11/17 | 22/11/17 | 06/12/17 | 13/12/17 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| 1 | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC |
| 2 | AC | PC | AC | PC | PC | PC | PC | PC |
| 3 | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC |
| 4 | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC |
| 5 | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC | PC |

| RANGO | COLOR | DESCRIPCIÓN |
|---------|-------|------------------|
| 70 - 84 | AC | Aceptable |
| 50 - 69 | PC | Poco Contaminado |

En el periodo de monitoreo realizado desde septiembre a diciembre del 2017 se observa que el estado en el que se encuentran las estaciones según la metodología ICA es *Poco Contaminado*, excepto en la estación 2 para los monitoreos M1 y M3, donde el río se cataloga como *Aceptable*.

4.5. VARIACIÓN DEL ÍNDICE ICA

En la Figura 15 se presenta el comportamiento del ICA que describe el cuerpo de agua, en cada una de las estaciones y en los 8 monitoreos realizados.

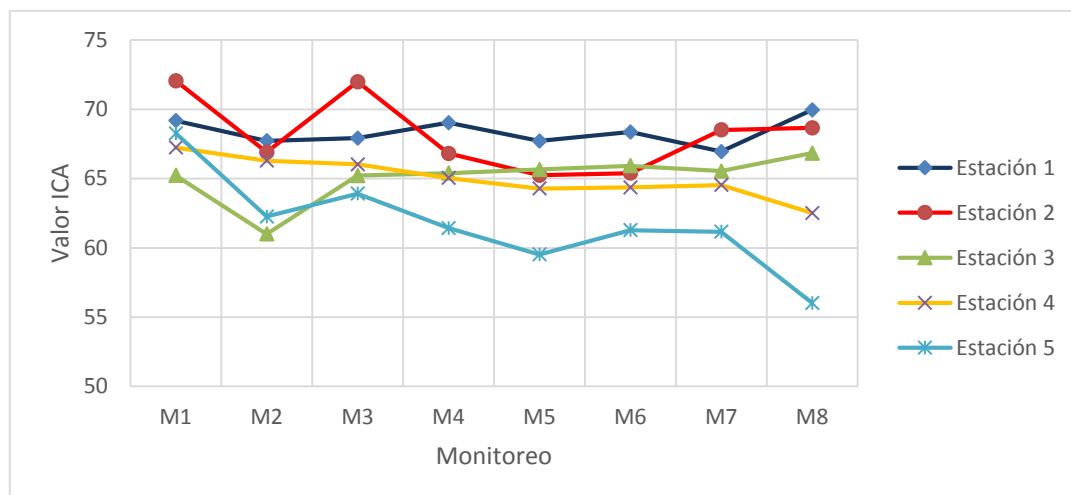


Figura 15: Variación espacial y temporal del ICA.

En la Figura 15 también se puede observar la variación espacial a la que está sujeta el ICA, reflejando una tendencia decreciente de la calidad en la mayoría de los monitoreos conforme el río recorre las estaciones, hasta que finalmente deposite sus aguas en el río Burgay.

4.6. USOS DEL RECURSO SEGÚN EL ICA GENERAL

Con el valor promedio del ICA calculado para cada estación se asignaron los usos que puede tener el río Déleg para los caudales altos, medios y bajos, como lo muestran las Tablas Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20.

Tabla 18: Usos de agua asignados para caudales altos.

| ESTACIÓN | VALOR PROMEDIO | ABASTECIMIENTO PÚBLICO | RECREACIÓN | PESCA Y VIDA ACUÁTICA | INDUSTRIA Y AGRÍCOLA |
|----------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | 68,48 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 2 | 69,40 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 3 | 65,30 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 4 | 65,54 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 5 | 62,67 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |

Tabla 19: Usos de agua asignados para caudales medios.

| ESTACIÓN | VALOR PROMEDIO | ABASTECIMIENTO PÚBLICO | RECREACIÓN | PESCA Y VIDA ACUÁTICA | INDUSTRIA Y AGRÍCOLA |
|----------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | 68,05 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 2 | 67,80 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 3 | 65,59 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 4 | 65,10 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 5 | 62,55 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |

Tabla 20: Usos de agua asignados para caudales bajos.

| ESTACIÓN | VALOR PROMEDIO | ABASTECIMIENTO PÚBLICO | RECREACIÓN | PESCA Y VIDA ACUÁTICA | INDUSTRIA Y AGRÍCOLA |
|----------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | 68,84 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 2 | 67,78 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 3 | 63,92 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 4 | 64,40 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Aceptable excepto especies muy sensibles | Sin tratamiento para industria normal |
| 5 | 59,14 | Mayor necesidad de tratamiento | Aceptable no recomendable | Dudoso para especies sensibles | Sin tratamiento para industria normal |

Se puede observar que para todos los caudales: alto, bajo y medio, los usos son prácticamente los mismos; no obstante, la *mayor necesidad de tratamiento* para el abastecimiento público, debe tenerse muy en cuenta, el momento de realizar las adjudicaciones; no todas las comunidades tienen la capacidad económica y tecnológica para efectuar tratamientos complicados.

4.7. RELACIÓN DEL CAUDAL Y EL ICA

Para poder relacionar los valores obtenidos del ICA con los caudales registrados, se realiza una correlación lineal como se muestra en las Figuras Figura 16, Figura 17 y Figura 18; donde se observa el comportamiento que presenta este índice con respecto a la clasificación de caudales.

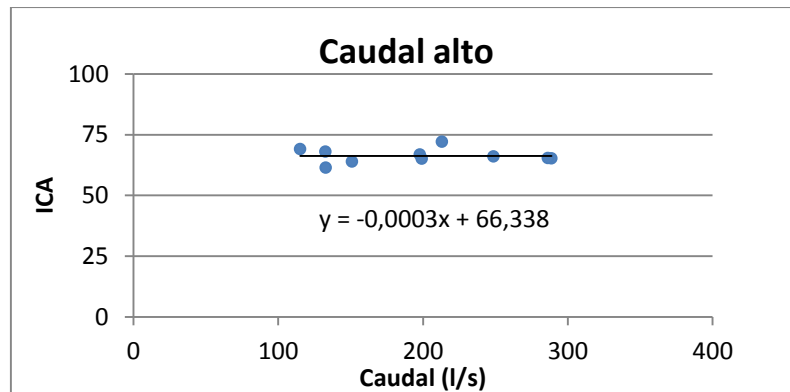


Figura 16: Relación del índice ICA para caudales altos.

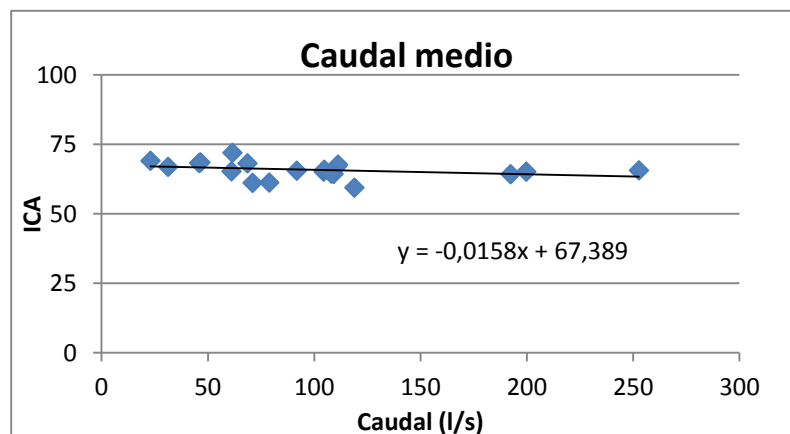


Figura 17: Relación del índice ICA para caudales medios.

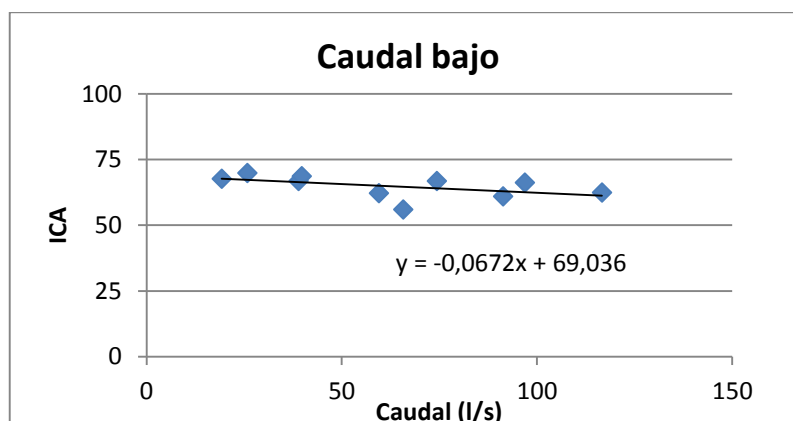


Figura 18: Relación del índice ICA para caudales bajos.

5. DISCUSIONES

5.1. CAUDALES

En la Tabla 13 se observa que no existe una clara relación espacial de caudales; en donde, el caudal no sigue un comportamiento similar al recorrer por cada estación en los diferentes monitoreos, esto se debe a diferentes razones como: la extracción o captación de agua ubicadas en los tramos entre estaciones y a los afluentes que alimentan al río Déleg.

El número de aforos adicionales realizados fueron los necesarios para llegar a una satisfactoria correlación de datos entre estos dos métodos (Figura 12), lo cual se corrobora con el coeficiente de determinación R^2 siendo su valor de 0,91; ajustando de esta manera los datos obtenidos en un principio con el método del flotador, mediante el uso de la ecuación de regresión lineal $y = 1,023x - 1,2349$, en donde y es el caudal corregido y x representa el caudal del flotador.

Dentro del periodo analizado en el presente estudio se observa una variación significativa en el caudal, que ha permitido clasificar a los monitoreos como altos, medios o bajos; no obstante, si se tuvieran datos de por lo menos un año, probablemente estos caudales corresponderían solamente a caudales medios o bajos.

Se puede observar que el caudal incrementa a medida que avanza su recorrido, excepto entre las estaciones 4 y 5, en donde para todos los monitoreos el caudal disminuye debido principalmente a la presencia de la industria cerámica; que llega a extraer desde un 27,7% hasta un 43,7% del caudal que circula en la estación 4. Esta extracción se produce en mayor porcentaje (43,7%) en el monitoreo de caudal bajo (M8), ocasionando una afección grave al ecosistema.

En 3 de los 8 monitoreos para la estación 4 se manifiesta una disminución del caudal, producto de la variedad de motobombas localizadas entre las estaciones 3 y 4; esto se presenta solo para caudales altos y medios (extracción del 14% a 30.6%). No hay extracción en caudales bajos (estiaje), que produciría afección ecológica al río.

Todas las estaciones presentan un comportamiento similar en función del tiempo; comenzando con caudales bajos en los monitoreos M1 y M2; se produce un incremento en los monitoreos M3, M4 y M5 y luego hay un descenso en los monitoreos M6, M7 y M8.

5.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

5.2.1. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA CALIDAD

En la estación 1 la variación de la calidad es pequeña con respecto al tiempo, teniendo una variación del ICA desde 66,95 hasta 69,95; catalogando esta estación como *poco contaminado* (3 puntos de diferencia). Se observa que la mayor calidad se presenta en caudal bajo, debido a varias razones: en estiaje para zonas protegidas como suelen ser las cabeceras del río (cuenca alta) el OD no disminuye a pesar del incremento de temperatura; es una zona de abundante vegetación, por lo tanto no hay arrastre significativo de sólidos, es decir la

turbiedad es baja, igual el color; hay poca materia orgánica que induce a valores reducidos de DBO₅; no hay arrastre de nutrientes y la conductividad suele ser la más baja de todo el recorrido.

En la estación 2 la variación temporal es más significativa con un ICA máximo de 72,06 y mínimo de 65,24; catalogando a la estación como *aceptable* y *poco contaminado* respectivamente dentro del periodo de estudio; presentándose el mayor y menor ICA en caudal medio (6,82 puntos de diferencia).

En la estación 3 la variabilidad temporal del ICA se encuentra en un rango de 61 a 66,84; catalogando esta estación como *poco contaminado*; encontrándose el menor y mayor ICA para caudal bajo. (5,84 puntos de diferencia).

En la estación 4 la variabilidad temporal no es tan significativa, pues varía desde un ICA de 62,51 uno de 67,24; catalogando esta estación como *poco contaminado*; observándose el menor ICA para caudal bajo y el mayor ICA para caudal medio. (4,73 puntos de diferencia).

En la estación 5 se presenta una gran variabilidad con respecto al tiempo, con un ICA máximo de 68,26; catalogando esta estación como *poco contaminado*; para caudal medio y un ICA mínimo de 56,02 para caudal bajo. (12,24 puntos de diferencia).

Las estaciones 1 y 4 presentan una menor variabilidad temporal y las estaciones de mayor variabilidad son la 2, 3 y 5; sin embargo, no llega a ser muy significativa dentro del periodo de estudio.

El análisis de la variabilidad temporal es de vital importancia para definir los usos que puedan asignarse al agua en cada estación; por ejemplo, si el uso fuera abastecimiento público y se tuviera una calidad baja se debería tener precauciones en el tratamiento del agua, esto significa que deben extremarse las medidas de seguridad; como dosis de coagulantes, de desinfectantes, etc.

5.2.2. VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CALIDAD

Cuando el agua recorre de una estación a otra, hay una modificación en la calidad; esto se denomina variación espacial. Se observa en la mayoría de los monitoreos que el índice ICA disminuye a medida que el caudal aumenta (Tabla 16), esto se debe a la presencia de contaminación difusa en toda el área de la microcuenca y al aporte de quebradas que adicionan carga contaminante (contaminación puntual), producto de los efluentes propios de las PTAR's y la industria cerámica.

Tabla 21: Contaminación puntual y difusa.

| ESTACIÓN | CONTAMINACIÓN PUNTUAL | CONTAMINACIÓN DIFUSA (km ²) | PORCENTAJE (%) |
|----------|-----------------------|---|----------------|
| 1 | 0 | 34,60 | 40 |
| 2 | 1 | 19,27 | 22.3 |
| 3 | 3 | 11,33 | 13.1 |
| 4 | 3 | 17,96 | 20.8 |
| 5 | Industria Cerámica | 3,21 | 3.8 |

En la Tabla 21 se observa el número de descargas puntuales producto de las PTAR's y de la industria cerámica que llega a cada una de las estaciones, así como la contaminación difusa en función al área que aporta para cada estación, debido al transporte de partículas vinculado con las actividades agrícolas y silvícolas. Estas áreas de aporte se obtienen mediante la elaboración de polígonos de Thiessen.

Las descargas puntuales son acumulativas en cada estación, pero su aporte de carga contaminante no llega a ser tan significativa, debido a que 5 de las 7 PTAR's se encuentran distantes al río Déleg; esto produce una mayor dilución al momento de llegar hacia este.

En la Tabla 3 y Figura 4, se muestra que los pastizales, seguido de los bosques y tierras cultivadas ocupan la mayor área de cobertura en cuanto a los usos del suelo; siendo estas una fuente de contaminación difusa, debido a la presencia de ganadería y al uso de agroquímicos.

La calidad del agua depende de la variabilidad temporal y espacial, ya que como se muestra en las Figuras 16, 17 y 18, la variabilidad espacial es mayor en caudal bajo, la ecuación presenta la mayor pendiente (0,0672); mientras que en caudal alto esta variabilidad se homogeniza, es como si todo el río adquiriera una misma calidad, la ecuación presenta la menor pendiente (0,0003).

Estos resultados son importantes para conocer los períodos climatológicos en donde la variabilidad espacial de la calidad no permite algunos usos al recurso.

5.2.3. PARÁMETROS QUE MODIFICAN LA CALIDAD

Los ICA's particulares de los parámetros que más afectan la calidad son: los coliformes totales (2,06), coliformes fecales (2,14), la presencia de fósforo (17,40), la conductividad (44,80), y los sólidos disueltos especialmente los cloruros (45,40); todos estos se muestran en la Tabla 15.

De estos parámetros, los coliformes están presentes en todos los períodos climatológicos, esto significa que son descargas permanentes; en cambio los compuestos de fósforo predominan en caudal medio y alto, es decir a medida que incrementa el caudal, se produce un arrastre de nutrientes de fósforo, y seguramente de procedencia agrícola, sobre todo en las primeras estaciones disminuyendo la calidad.

El valor de la conductividad para este río, es alto comparado con otros procedentes de la misma cuenca (río Paute); el grado de disociación que experimentan los minerales de sus formaciones geológicas es la causa del alto grado de mineralización del agua, sobre todo la presencia de cloruros.

El oxígeno disuelto en la mayoría de los monitoreos, presenta niveles superiores a la saturación normal; esto debido a la presencia de algas y otros organismos fotosintéticos, cuyo crecimiento se ve favorecido por los aportes de fósforo que experimenta la corriente.

La presencia de algas a lo largo de la corriente, modifica la química del agua, elevando el pH por encima de 8,3 (alcalino), por lo que los componentes de la alcalinidad también se modifican (Aparecen Carbonatos).

5.2.4. OTROS ASPECTOS RELATIVOS A LA CALIDAD

El aporte de la quebrada Yaunay en cuanto al caudal, es significativo; en algunos monitoreos sobre todo en estiaje, diluye la solución y por eso disminuye la conductividad en la estación 2, constituyendo un alivio en cuanto a la mineralización del río; fundamentalmente disminuyen los cloruros.

Existe una clara relación entre cloruros y conductividad entre las estaciones 1 y 2, excepto en el monitoreo 6 en donde la conductividad aumenta mientras los cloruros descienden.

El incremento de la calidad del agua para la estación 2 en los monitoreos M1 y M3, que la valoran con un ICA "Aceptable", es debido al descenso de los coliformes, incremento del oxígeno disuelto (OD) y el descenso del fósforo.

A partir de la estación 2 el cuerpo de agua experimenta contaminación, sin embargo, no es significativa, debido tanto a la población fluctuante de los asentamientos en su rívera, pues la mayoría de ellas habita solo los fines de semana; así como del tratamiento previo que se da a las aguas residuales provenientes de las parroquias: la Colina, Chaguarpamba, Hornapala, Sigsipamba Grande y Pequeño, entre otras.

En el monitoreo 3 se evidencia que por la presencia lluvias, la calidad del agua aumenta en todas las estaciones, ya que se diluyen ciertos parámetros (conductividad, fosfatos, sólidos disueltos y suspendidos, entre otros).

En la estación 5, en donde la disminución de caudal es significativa con respecto a la estación 4, se presenta un deterioro en la calidad. Por lo tanto, constituye la estación más crítica del río Déleg, siendo un punto de suma importancia al momento que hace el vertido al río Burgay, corroborando con los estudios realizados por Pauta Calle & Chang Gómez, (2014) en la investigación: Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del Río Burgay; en donde el río Déleg deteriora la calidad del agua del Burgay, aunque en ciertos periodos climatológicos sucede lo contrario.

La alta conductividad del río, según el ANEXO I descrito en la norma ecuatoriana vigente TULSMA, no afecta si el recurso es utilizado para riego agrícola.

Los parámetros que ocasionan el descenso del ICA para cada estación son los Coliformes Totales, E. Coli y Fosfatos Totales. Mientras que los que favorecen al ICA son el oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).



Los valores del ICA aumentan con las primeras precipitaciones en la microcuenca (monitoreo M3); pero eventualmente tienden a disminuir (monitoreo M4) por el arrastre de contaminantes de origen geológico, arrastre de sedimentos, materia inorgánica, fertilizantes, y contaminación por materia orgánica de animales, transportados por la escorrentía a través de los suelos.

Dentro del periodo de monitoreo se presenta la peor calidad en caudal bajo y la mejor calidad en caudal alto, como se muestra en la Tabla 22, debido a la dilución existente en el transcurso del río.

Tabla 22: Valores ICA mínimos y máximos según clasificación de caudales.

| ICA | CAUDAL | | |
|--------|--------|-------|-------|
| | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Mínimo | 59,14 | 62,55 | 62,67 |
| Máximo | 68,84 | 68,05 | 69,40 |

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Según este estudio, el río Déleg está catalogado como *poco contaminado*, con valores de ICA entre 56,02 a 72,06; esto significa que no existe una variación significativa de la calidad a lo largo de su recorrido como suele suceder en la mayoría de los ríos; la contaminación puntual y difusa, tanto natural como antropogénica que recibe, no aporta carga contaminante significativa.
- El deterioro de la calidad es más notable en período de estiaje; esto es importante, para tomar precauciones al momento de usar el agua; el mayor cuidado precisa cuando el uso sea el abastecimiento público, para lo cual habrá que extremar medidas de seguridad, como: dosis de desinfectantes, dosis de coagulantes, etc.
- El mayor descenso de la calidad se observa entre las estaciones 4 y 5, debido a la descarga procedente de la industria cerámica, que afecta no sólo la calidad, sino también la cantidad del recurso; la extracción corresponde a 43,7% del caudal que circula en la estación 4. El impacto ambiental que esta descarga produce en el cuerpo receptor, tiene una alta incidencia, así: es *acumulativo*, es decir que afecta no sólo al agua, sino también a otros factores ambientales como la vegetación y la fauna existentes; por el momento en que aparecen los efectos, es un impacto de *corto plazo*; por su ocurrencia, es *permanente*, dos o tres veces a la semana, todas las semanas del año; etc.
- Esta calidad, según la tabla establecida en la metodología del ICA, le permite al río los siguientes usos: para abastecimiento público: requiere *mayor necesidad de tratamiento*; para fines recreativos: es *aceptable pero no recomendable*; para la pesca y vida acuática es: *aceptable, excepto para especies sensibles*; y para la industria y agricultura: *sin tratamiento para la industria normal y utilizable en la mayoría de los cultivos*.
- De acuerdo a la normativa vigente TULSMA el río es apto para todos los usos; sin embargo, no hay referencias específicas para todos los parámetros medidos en el presente estudio; pero el factor que más restringe los usos en un cuerpo acuático, es el contenido de bacterias coliformes fecales, ya que éste representa la posibilidad de convertir al río en un medio de transmisión de enfermedades, y por eso se fija como valor de referencia, hasta de 1000 bacterias coliformes expresadas como NMP/100 ml; el río Déleg cumple esta referencia en la mayoría de los monitoreos.
- Los usos concesionados por la SENAGUA hasta el año 2013 para el río Déleg y para los afluentes presentes en la microcuenca son: abrevadero, riego y uso doméstico en general. Estos usos deberán ser actualizados ya que los resultados obtenidos según la metodología ICA reflejan una aceptabilidad para los usos de riego agrícola e industrial solamente. Así mismo, en base a este estudio, el órgano competente deberá tener en cuenta el deterioro del recurso debido a la industria cerámica, influyendo a su vez en la calidad del río Burgay.

- Hay un marcado desarrollo de actividad fotosintética a lo largo de todo el río, debido a la presencia de fósforo con valores de 0,09 a 4,34 mg/l; que, junto a otros factores favorece la presencia de algas. Esto modifica la calidad química del agua: se incrementa el oxígeno, sube el pH y cambia la composición química de la alcalinidad, incidiendo en los usos posteriores del recurso, sobre todo para el abastecimiento; las algas producen efectos indeseables en el agua, afectando las características organolépticas como, color, olor, sabor, etc. Si no se vigila el uso de fertilizantes de nitrógeno y fósforo desde la zona alta, por la presencia de invernaderos, y para fortalecer la productividad agrícola en la zona, el río tiende a eutrofizarse, con lo que pierde su valor paisajístico y para otros usos; este efecto en la mayoría de los casos es irreversible.
- La composición química del agua, deriva de la composición química de las rocas; debido a la alteración hidrotermal que existe en la estación 1, donde nace el río Déleg, el agua adquiere ya una alta conductividad, hasta de 437 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$; este valor es alto para un cuerpo superficial comparado con otros ríos de la misma cuenca; no obstante, el alto grado de mineralización que presenta el río, es de origen geológico.
- De los ríos que se han estudiados dentro de la cuenca del río Paute, el río Déleg es el único que, en ninguna estación ni condición climatológica, presentó la calidad de “contaminado”, condición común en los ríos Burgay y Tomebamba en sus últimas estaciones de control (ver referencias).
- El período de estudio es representativo para interpretar la calidad; de los 8 monitoreos realizados, 4 están identificados como de caudal medio, 2 de caudal bajo y 2 de caudal alto; así es la variación que se presenta en un año hidrológico.
- La comparación entre dos métodos de aforo es algo innovador y en este estudio se ha logrado obtener una satisfactoria correlación como se observa en la Figura 12. Lo que sirve como punto de partida para el desarrollo de nuevas investigaciones acerca de este tema. Los valores obtenidos de la corrección de caudales no varían de manera significativa con respecto a los datos medidos con el flotador en un principio (1-5 l/s); sin embargo, hay que tener en cuenta que estos resultados son propios para las condiciones del río Déleg.

6.2. RECOMENDACIONES

6.2.1. EN CUANTO A LAS MEDICIONES DEL CAUDAL

- Para un mejor resultado en el cálculo de caudal por el método del flotador, se deberá establecer un coeficiente de corrección de velocidad (C) representativo a las condiciones donde se realice el aforo; ponderando estos coeficientes en caso de que se presenten diversas condiciones.
- Se deberá investigar acerca de la obtención de coeficientes de corrección de velocidad (C) más representativos a las condiciones donde se realice el aforo; relacionando el caudal aforado mediante el uso de FlowTracker o molinete y el caudal calculado mediante el método del flotador (obtenido sin multiplicar por el coeficiente de corrección).
- Realizar estudios de correlación de estos métodos en ríos en general, ya que al realizar investigaciones y no disponer de equipos de medición precisos se pueda utilizar estas ecuaciones de corrección de caudales.

6.2.2. EN CUANTO A LA CALIDAD DEL RÍO

- La SENAGUA debe revisar los caudales concesionados, sobre todo a la industria cerámica, pues el caudal debe ser proporcional a la estación climatológica y en condiciones de estiaje deberá respetarse el caudal ecológico.
- El Ministerio del Medio Ambiente en la Provincia del Cañar, deberá vigilar los efluentes de la industria cerámica; el permiso para la concesión de la Licencia Ambiental, pasa por una Auditoría Ambiental; existe legislación para la protección de los cuerpos acuáticos. “Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistema de alcantarillado”; TULSMA LIBRO VI, ANEXO I.
- Debido a la mineralización natural que presenta el río, es necesario evitar descargas que incrementen esta característica aún más.
- Realizar un análisis de la calidad del agua a los afluentes, si es que se presenta luego de estos un alivio o deterioro significativo en el recurso que se encuentra sujeto a evaluación.
- Se deberá realizar un estudio durante todo un año, pues los caudales registrados en el presente trabajo de titulación son inferiores a $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y en las inspecciones de campo realizadas en los meses de marzo a mayo del 2017 se visualizó caudales superiores a $3 \text{ m}^3/\text{s}$ para la estación 3 y 4 (ANEXO 7). Todo esto debido a que los parámetros del agua podrían variar de forma significativa al presentarse estos caudales; pudiendo ser esto un alivio para ciertos parámetros o presentar afección para otros.
- Generar concientizaciones a la población para que el río Déleg se pueda considerar como un cuerpo de agua *aceptable* o en el mejor de los casos *no contaminado*, beneficiando de esta manera a la producción del sector y a la calidad de vida de la población.

7. REFERENCIAS

(APHA), A. P. H. A., (AWWA), A. W. W. A., & (WPCF), W. P. C. F. (2000). *Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado a partir de <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3176700>

Atkins, P. W., & Jones, L. L. (2013). *Principios de química: los caminos del descubrimiento*. Buenos Aires; Bogotá; Caracas: Editorial Médica Panamericana.

Basabe, P., Neumann, A., Almeida, E., Herrera, B., García, E., & Ontaneda, P. (1998). *Prevención de desastres naturales en la Cuenca del Paute—Informe final: Proyecto Precupa. Swiss Disaster Relief Unit (SDR/CSS), Cuenca, Ecuador.*

Bristow, C. R. (1973). *Guide to the geology of the Cuenca Basin, southern Ecuador*. Ecuadorian Geological and Geophysical Society.

Chamorro de Rodríguez, G., & Velásquez, J. (2011). Estimación del caudal por el método de flotadores. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 1*, 5-14.

Chauca, S. (2003 – 2004). *Información sobre el Cantón Déleg*. Recuperado a partir de <http://www.deleg.com/04info.html>

Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil* (2.^a ed.). Lima, Perú.

Comisión Nacional del Agua (México), & Subdirección General de Agua Potable, D. y S. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento MAPAS*. CONAGUA SEMARNAT.

DINIUS, S.H., (1987). "Design of a Water Quality Index", W.R. Bulletin, V23, #5, pp. 833-43.

Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2003). Índices fisicoquímicos de Calidad del Agua. Un estudio comparativo. *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible*, 1-8.

García, R. M. (2015). *TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN PLANIFICACIÓN TURÍSTICA* (Master's Thesis). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.

HORTON, R.K., (1965). "An Index Number System for Rating Water Quality", Jr. of WPCF, Vol. 37.

Hudson, N. W. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Roma: FAO.

INEN, N. T. E. N. 2 176: 1998, Agua. *Calidad del Agua. Técnicas de Muestreo*.

INRENA. (2005). *Manual de Hidrometría. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura.*, 1-24.



Kennedy Pérez, A., Fragoza Díaz, F., Peña Peña, E., & Moreno Bañuelos, E. (1992). Manual de Aforos. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)*, 1, 1-139.

King, H. W. (1981). *Manual de hidráulica*. México: UTEHA.

LIEBMAN, H., (1969). "Atlas of Water Quality: Methods and Practical Conditions", R. Oldenbourgh, Munich.

Marbello Pérez, R. (2005). Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.Parte%2013.pdf>

Marín Galvín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/id/10139992>

Martínez, E. (2016). *Variación espacio-temporal de la calidad del agua del río Atoyac (2013-2014), Puebla, México*. (Ph. D. Thesis). Instituto Politécnico Nacional, México.

Metcalf & Eddy, Inc., & Trillo Montsoriu, J. de D. (1985). *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Barcelona: Labor.

Nalco Chemical Company, Kemmer, F. N., & McCallion, J. (1996). *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. México: McGraw-Hill.

Palman, L. E., Montagnini, M. D., Pez, M., & Trento, A. E. (2005). MEDICIONES EN LABORATORIO CON EQUIPO FLOWTRACKER®(ADV). *IV SIMPOSIO SOBRE MÉTODOS EXPERIMENTALES EN HIDRÁULICA LA PLATA, ARGENTINA*, 1-10.

Pauta Calle, G., & Chang Gómez, J. (2014). Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del Río Burgay. *Maskana*, 165–176.

Peñafiel Romero, A. G. (2014). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de tecnología del agua* (B.S. thesis). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador. *Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo*, (18), 8.

Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2000a). Los suelos de los páramos del Ecuador. Los suelos del páramo. Quito: Grupo de Trabajo en Páramos/Abya-Yala, 7-26.

Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2000b). La degradación de los suelos de los páramos. Los suelos del páramo. Quito: Grupo de Trabajo en Páramos/Abya-Yala, 27-36.

Quiñones-Márquez, F., & Guzmán Ríos, S. (1986). Determinación de caudal y técnicas de muestreo en agua superficial. *United States Geological Survey*, 85-89, 20-21.

Rodríguez Mellado, J. M., & Marín Galvín, R. (1999). *Fisicoquímica de aguas*. Madrid, España: Díaz de Santos.

JUAN CARLOS ESPEJO RUIZ

PABLO ANDRÉS TENELANDA PATIÑO



- Romero Rojas, J. A. (2005). *Calidad del agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (1994). *Chemistry for environmental engineering* (4th ed). New York: McGraw-Hill.
- Schnoor, J. L. (1996). *Environmental modeling: fate and transport of pollutants in water, air, and soil*. New York: Wiley.
- Sontek, Y. S. I. (2007). FlowTracker. *Handheld ADV. User's Manual, San Diego*. Recuperado a partir de https://www.uvm.edu/bwrl/lab_docs/manuals/Flow_Tracker_Manual.pdf
- Steinmann M., Seward D., Hungerbuehler D. (1996). Thermotectonic history of the Andes, South Ecuador: evidence from fission-track dating. In: Géodynamique andine: résumé étendus = Andean geodynamics: extended abstracts. Paris: ORSTOM, 501-503. (Colloques et Séminaires). ISAG 96: Symposium International sur la Géodynamique Andine, 3., Saint-Malo (FRA).
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico* (1a ed). Medellín s.l: Ediciones de la U.
- Tapia, F., & Villavicencio, A. (2007). Uso de biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego. Proyecto FONSAG: "Evaluación de biofiltros para reducir la contaminación difusa en aguas de riego de las regiones VI y VII". Santiago, Chile. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA(Nº170)*, 10-17.
- Tapia Rodríguez, G., Molina Aguilar, J., Pérez Morales, G., & Torres Acosta, A. (2012). Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico. *Instituto Mexicano de Transporte (imt)*, (Nº. 356), 1-75.
- Tchobanoglous, G., Metcalf & Eddy, Inc, & AECOM (Eds.). (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery* (5. ed., internat. student ed). New York, NY: McGraw-Hill.
- TULSMA, A. 1, l. 6. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*.
- Vélez Dávila, P. E. (2012). *Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones* (Master's Thesis). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Vizcaíno León, L. F. (1992). Índices de Calidad del Agua (ICA), forma de estimularlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. *Congreso Nacional 1992, Acciones para un Ambiente Limpio*, 8 (pp. 1-7).

8. ANEXO

8.1. ANEXO 1: CRITERIOS DE CÁLCULO PARA ÍNDICES DE CALIDAD (ICA's PARTICULARES)

La aplicación de las ecuaciones para el cálculo del ICA por parámetro a los datos de calidad del agua puede generar valores del ICA mayores a 100 o negativos, por lo que es necesario tomar en cuenta ciertos criterios de cálculo en la metodología, basados en el comportamiento matemático de las ecuaciones (Comisión Nacional del Agua (México) & Subdirección General de Agua Potable, 2007):

1. Potencial de hidrógeno. Para valores de pH menores a 6.7 se usará la ecuación 12; pH sea mayor o igual a 6.7 y menor que 7.3 se usará la ecuación 13 o cuando el pH sea mayor o igual a 7.3 se usará la ecuación 14.
2. Color. Los datos de las concentraciones de color que se utilizarán en el cálculo serán de color verdadero. Para concentraciones menores a 2.018 unidades de Pt-Co se asignará el valor de ICA igual a 100, caso contrario se utilizará la ecuación 15.
3. Turbiedad. Para concentraciones menores a 1.54 UTJ se asignará un valor de ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 16.
4. Grasas y aceites. Cuando se tienen datos menores de 0.633 mg/l, se debe asignar un valor de ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 17.
5. Sólidos suspendidos. Para concentraciones menores de 14.144 mg/l se asigna un valor de ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 18.
6. Sólidos disueltos. Para concentraciones menores a 520 mg/l se asigna un valor de ICA de 100, y para concentraciones mayores a 6234 mg/l se debe asignar un valor de cero. Para las concentraciones entre el rango de 520 a 6234 mg/l se utilizará la siguiente ecuación 19.
7. Conductividad eléctrica. Cuando se tienen concentraciones menores a 85.60 $\mu\text{mhos/cm}$, se debe asignar un ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 20.
8. Alcalinidad. Para concentraciones menores de 1.3 mg/l se asigna un ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 21.
9. Dureza total. Para concentraciones mayores a 2500 mg/l se asignará un ICA de cero, caso contrario se utilizará la ecuación 22.
10. Nitrógeno de nitratos. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores a 4.097 mg/l, caso contrario se utilizará la ecuación 23.
11. Nitrógeno amoniacal. Para concentraciones menores de 0.11 mg/l se asigna un ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 24.
12. Fosfatos totales. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 0.0971 mg/l, caso contrario se utilizará la ecuación 25.
13. Cloruros. Para concentraciones menores a 2.351 se asignará un ICA de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 26.

14. Oxígeno disuelto. El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada. A la temperatura de 0 °C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm. Esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a 15 °C la concentración de saturación del oxígeno disuelto es de 10 ppm. Es por este motivo que, cuando no se cuente con el dato de la temperatura ambiente, no se podrá realizar el cálculo del oxígeno disuelto y se considerará inexistente. Para calcular la concentración de OD en equilibrio con aire saturado en agua, se usará la ecuación 27.
15. Demanda bioquímica de oxígeno. Se asigna un ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 1.311 mg/l, caso contrario se utilizará la ecuación 28.
16. Coliformes totales. Cuando se tiene un valor de coliformes totales de 0 NMP/100 ml, se asigna un índice de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 29.
17. Coliformes fecales. Cuando se tiene un valor de coliformes fecales de 0 NMP/100 ml, se asigna un índice de 100, caso contrario se utilizará la ecuación 30.
18. Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Se asigna un valor de ICA de cero cuando se tengan concentraciones mayores de 6.384 mg/l, caso contrario se utilizará la ecuación 31.

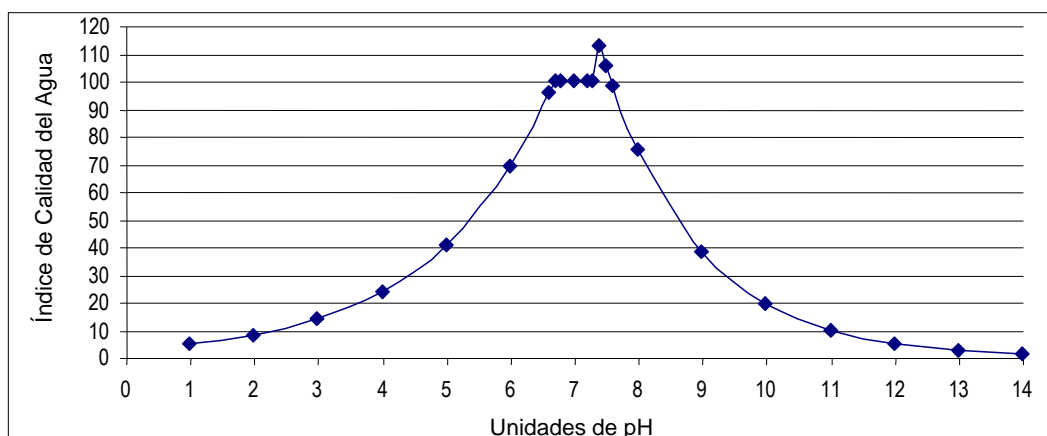
8.2. ANEXO 2: FUNCIONES Y ECUACIONES DEFINIDOS PARA LOS ICA'S PARTICULARES

- Potencial de Hidrógeno

$$I_{pH} = 10^{0.2335 \text{ pH} + 0.44} \quad \text{Si el pH es menor que 6.7} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$I_{pH} = 100 \quad \text{Si el pH está entre 6.7 y 7.3} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}} \quad \text{Si el pH es mayor que 7.3} \quad \text{Ec. (14)}$$

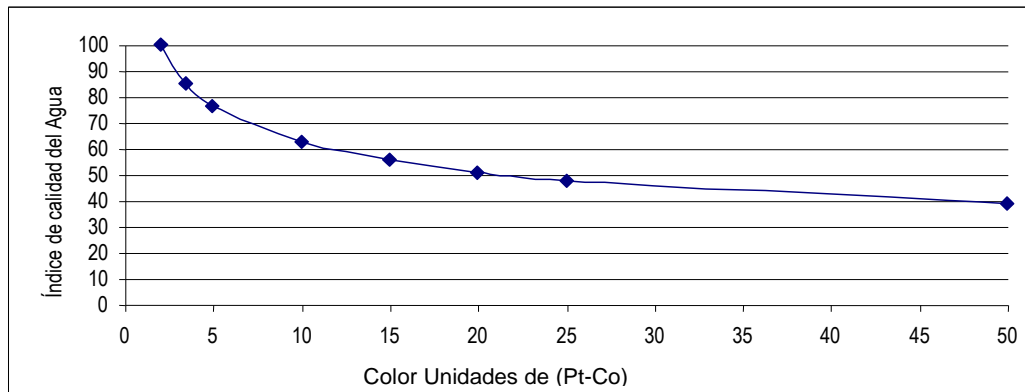


Gráfica 1: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del pH.

- **Color**

$$I_C = 123(C)^{-0.295} \quad \text{Ec. (15)}$$

(C) en unidades de color escala de platino-cobalto

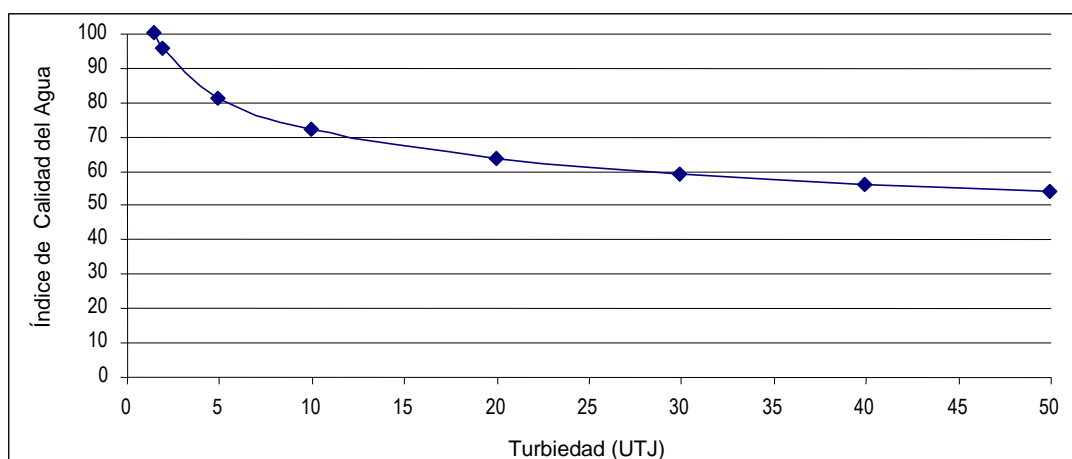


Gráfica 2: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del Color.

- **Turbiedad**

$$I_T = 108(T)^{-0.178} \quad \text{Ec. (16)}$$

(T) turbiedad en unidades de UTJ

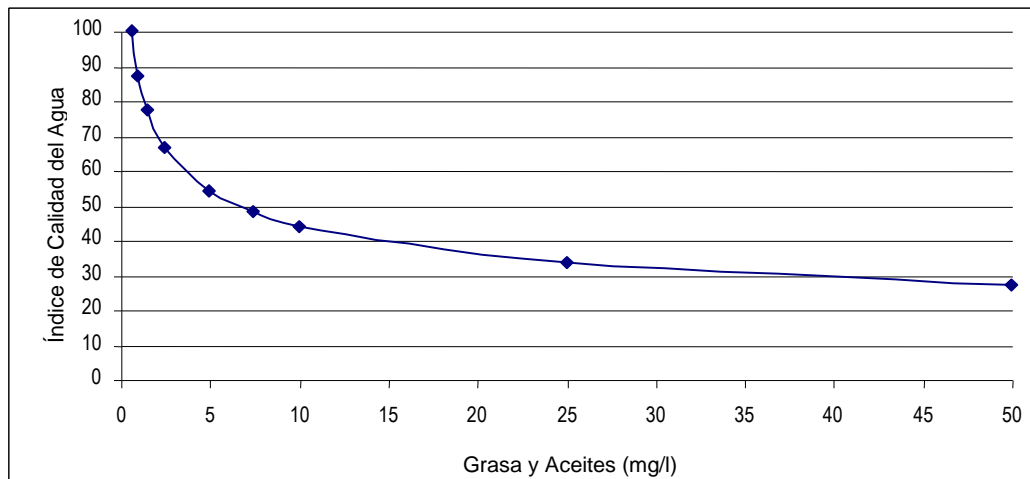


Gráfica 3: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Turbiedad.

- Grasas y Aceites

$$I_{G y A} = 87.25(G y A)^{-0.298} \quad \text{Ec. (17)}$$

(G y A) Grasas y Aceites en mg/l

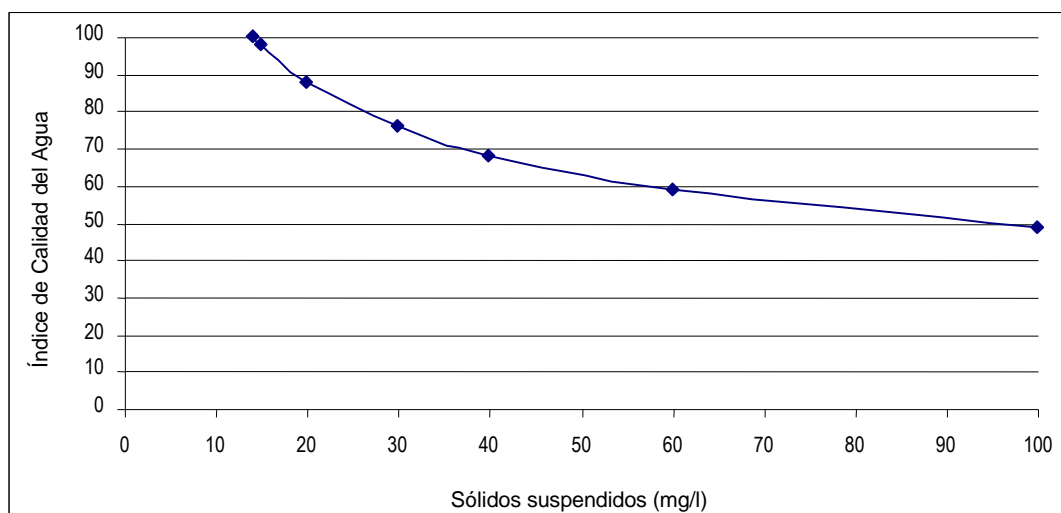


Gráfica 4: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Grasas y Aceites.

- Sólidos Suspendidos

$$I_{SS} = 266.5(SS)^{-0.37} \quad \text{Ec. (18)}$$

(SS) Sólidos Suspendidos en mg/l

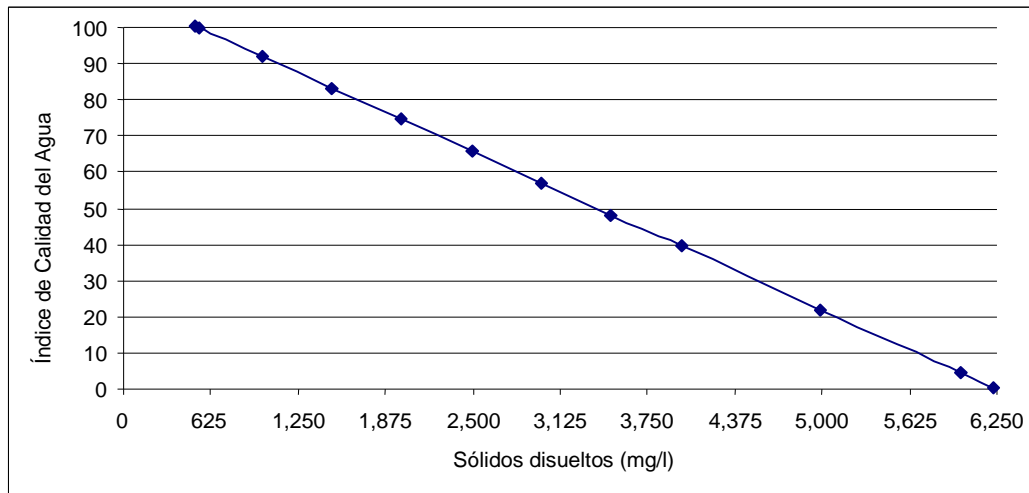


Gráfica 5: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Sólidos suspendidos.

- **Sólidos Disueltos**

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175(SS) \quad Ec. (19)$$

(SD) Sólidos Disueltos en mg/l

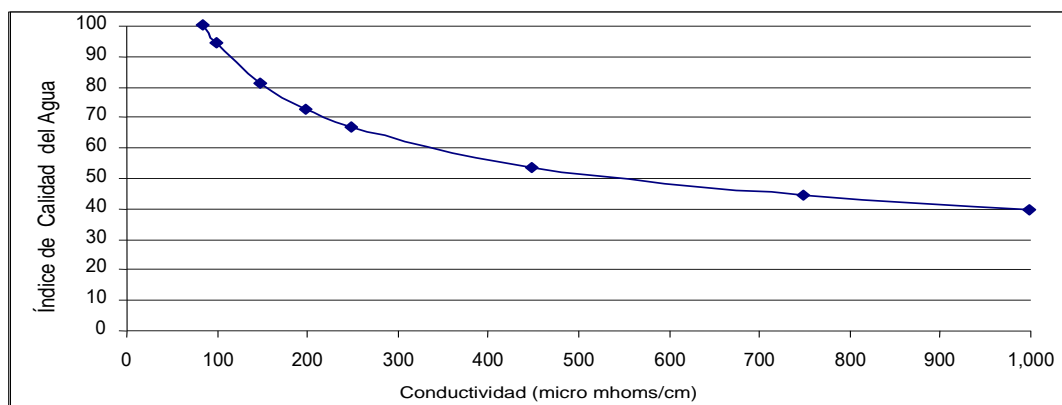


Gráfica 6: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Sólidos disueltos.

- **Conductividad Eléctrica**

$$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379} \quad Ec. (203)$$

(CE) Conductividad Eléctrica en μ nhos/cm

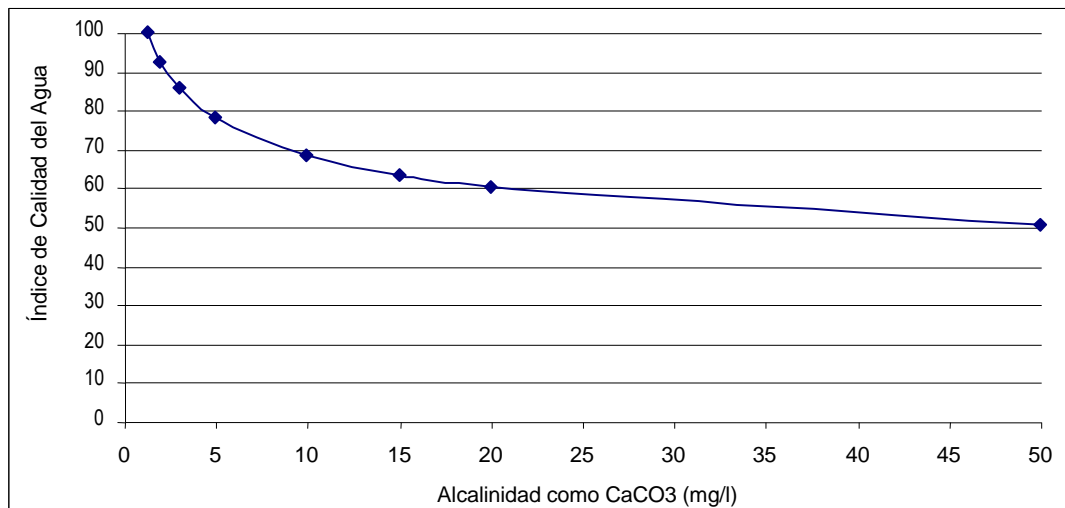


Gráfica 7: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Conductividad eléctrica.

- **Alcalinidad**

$$I_A = 105(A)^{-0.186} \quad \text{Ec. (21)}$$

(A) Alcalinidad en mg/l como CaCO₃

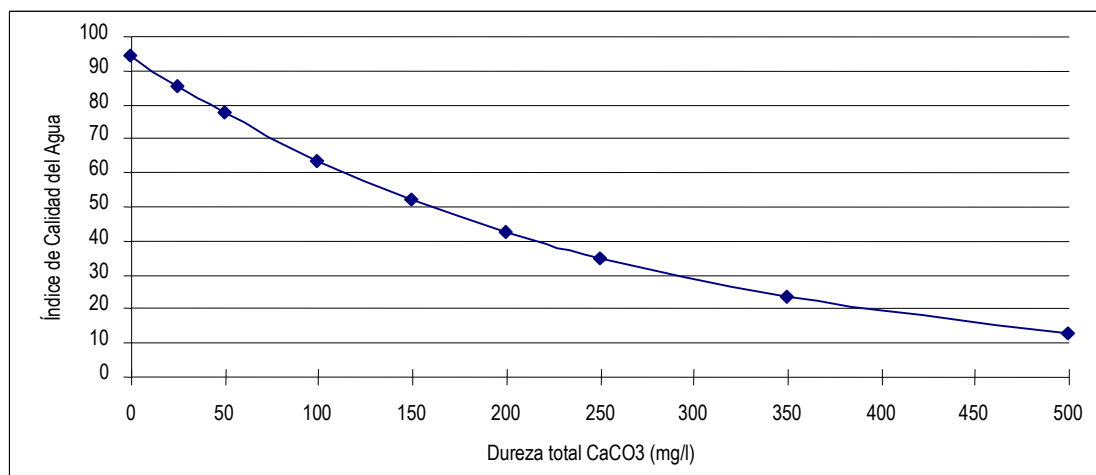


Gráfica 8: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Alcalinidad.

- **Dureza Total**

$$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174(DT)} \quad \text{Ec. (224)}$$

(DT) Dureza Total en mg/l como CaCO₃

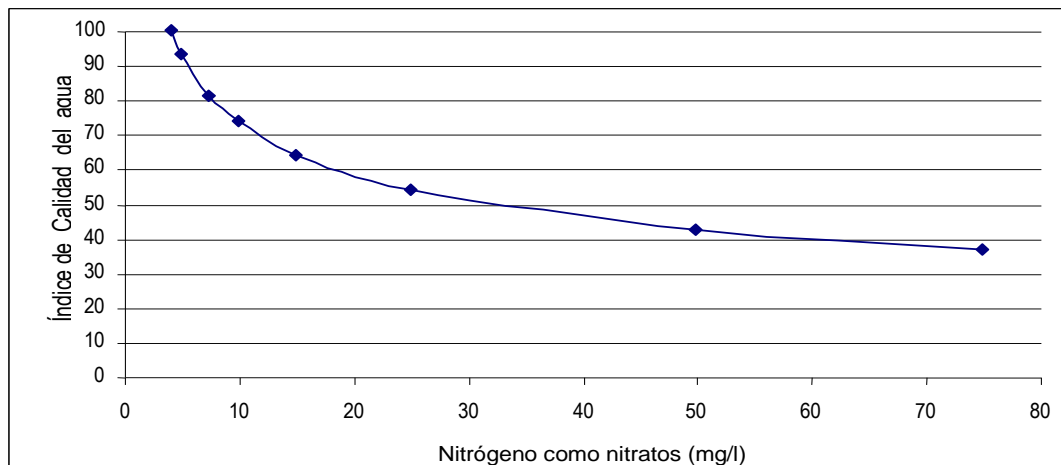


Gráfica 9: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Dureza total.

- **Nitrógeno de Nitratos**

$$I_{NNO_3} = 162.2(NNO_3)^{-0.343} \quad \text{Ec. (23)}$$

(N-NO₃) Nitrógeno de Nitratos en mg/l

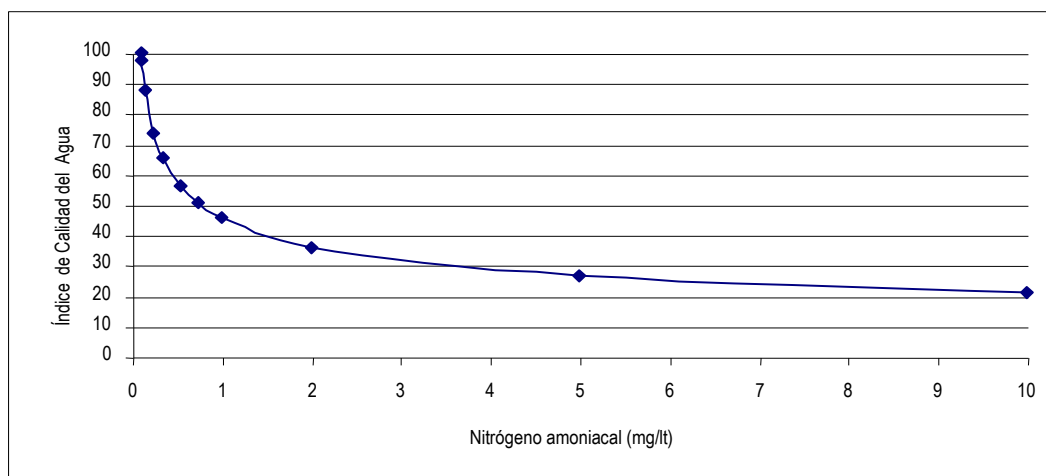


Gráfica 10: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Nitrógeno como nitratos.

- **Nitrógeno Amoniacal**

$$I_{NH_3} = 45.8(NNH_3)^{-0.343} \quad \text{Ec. (24)}$$

(N-NH₃) Nitrógeno amoniacal en mg/l

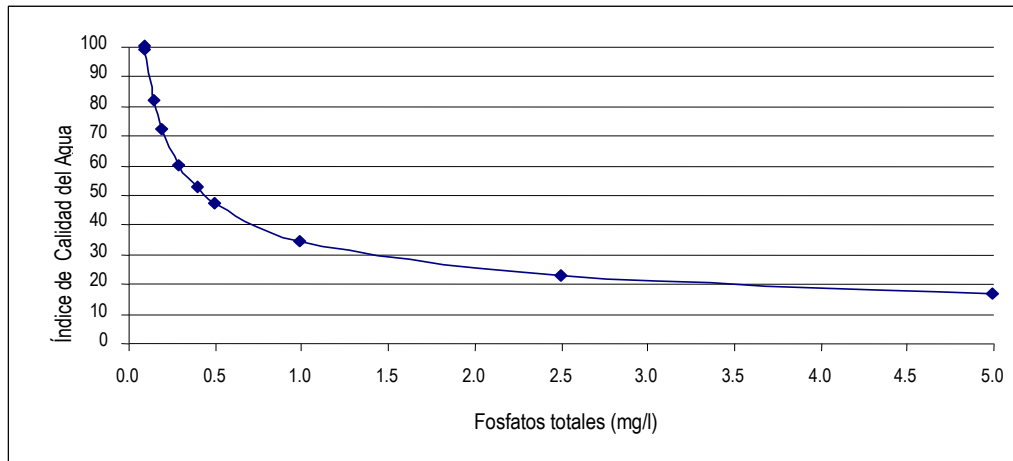


Gráfica 11: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Nitrógeno amoniacal.

- Fosfatos Totales

$$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46} \quad Ec. (25)$$

(PO₄) Fosfatos Totales en mg/l

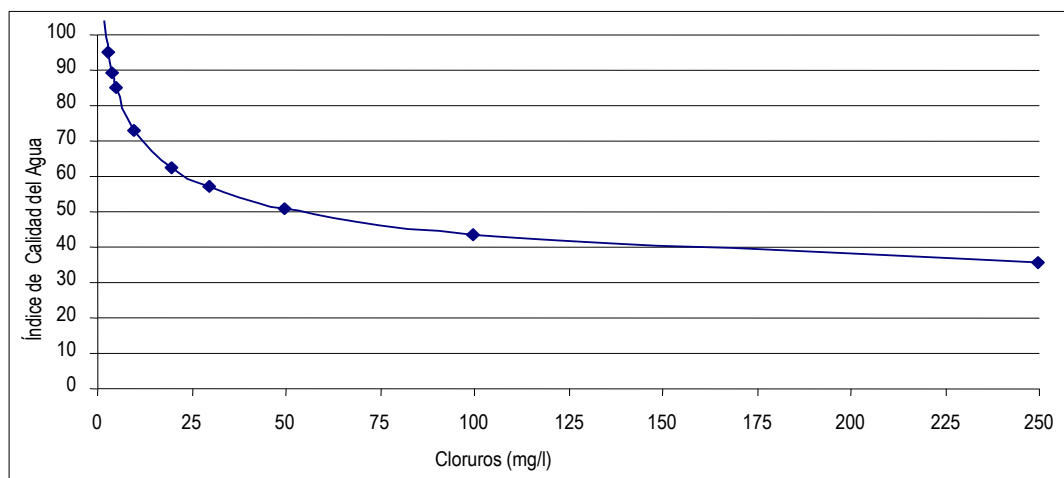


Gráfica 12: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Fosfatos totales.

- Cloruros

$$I_{CL} = 121(CL)^{-0.223} \quad Ec. (26)$$

(Cl) Cloruros en mg/l



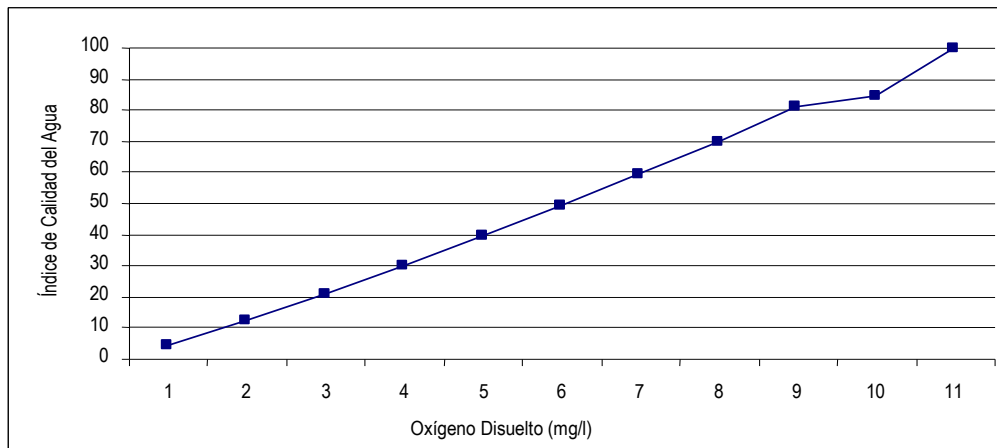
Gráfica 13: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Cloruros.

- **Oxígeno Disuelto**

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{sat}} \times 100 \quad \text{Ec. (27)}$$

(OD) Oxígeno Disuelto en mg/l y a T. de campo (T_c)

(Oxígeno Disuelto) $_{sat}$ en mg/l y a T. de saturación ($T_{sat} = T_c$)

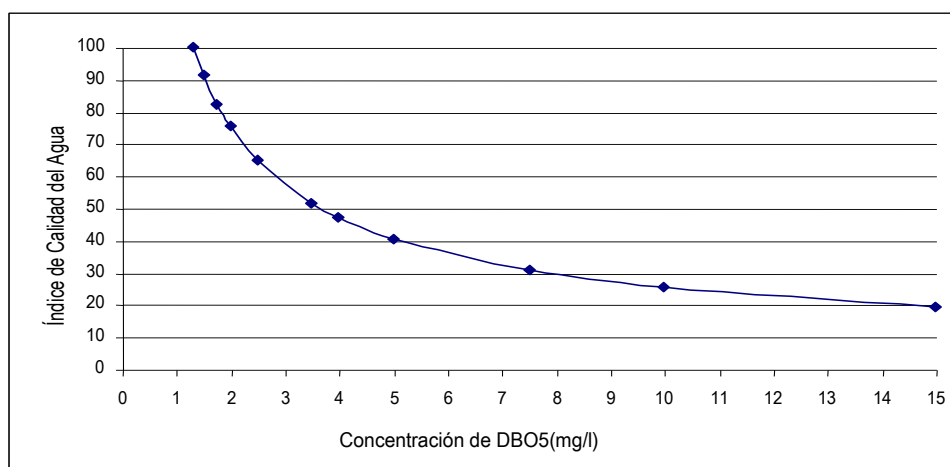


Gráfica 14: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Oxígeno Disuelto.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

$$I_{DBO} = 120(DBO_5)^{-0.673} \quad \text{Ec. (285)}$$

(DBO₅) Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días mg/l

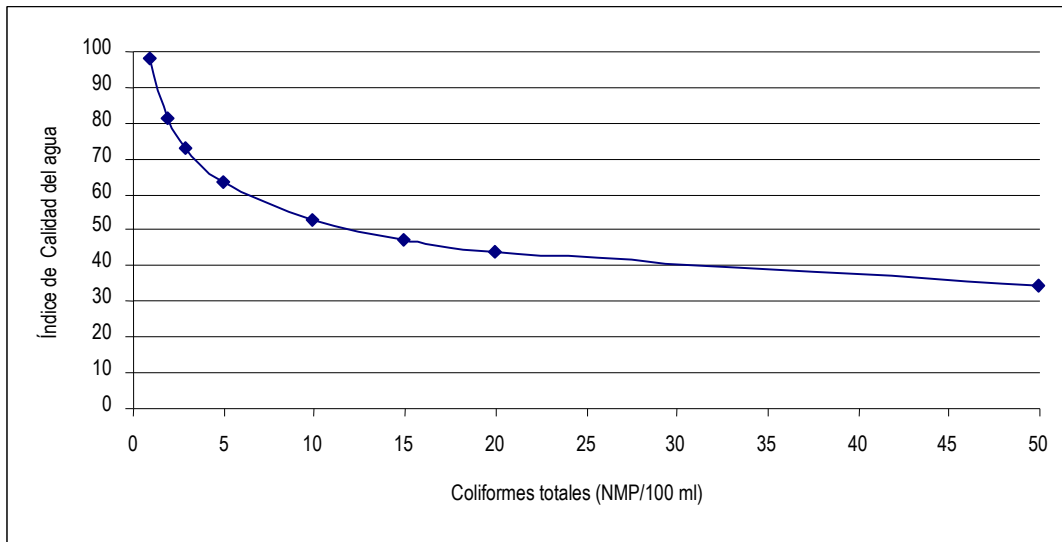


Gráfica 15. Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de DBO₅

- **Coliformes Totales**

$$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27} \quad \begin{array}{l} Ec. \\ (296) \end{array}$$

(CT) Coliformes Totales en NMP / 100 ml

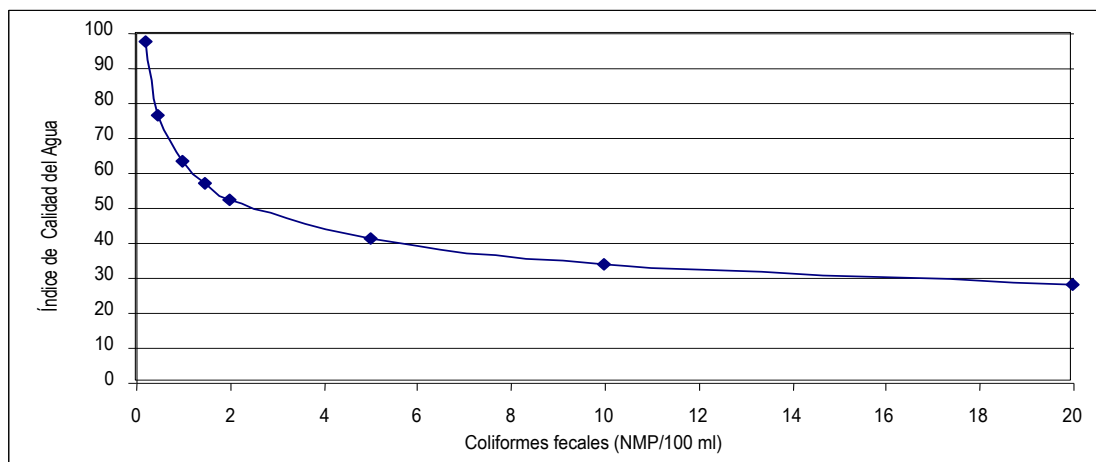


Gráfica 16: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Coliformes totales.

- **Coliformes Fecales**

$$I_{CF} = 97.5[5(CF)]^{-0.27} \quad \begin{array}{l} Ec. \\ (307) \end{array}$$

(CF) Coliformes Fecales en NMP / 100 ml

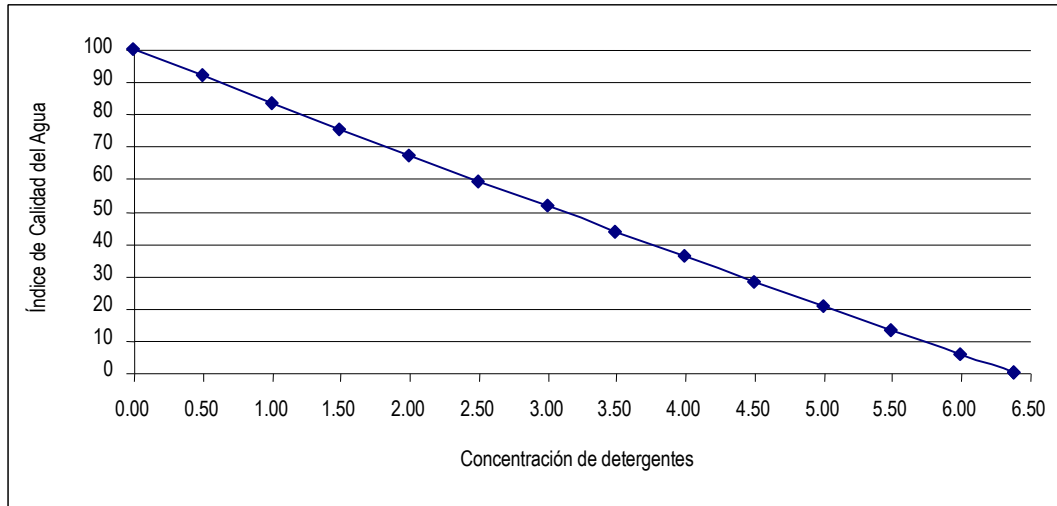


Gráfica 17: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de Coliformes fecales.

- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2 \quad Ec. (31)$$

(SAAM) Sustancias Activas al Azul de Metileno en mg/l



Gráfica 18: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de las SAAM.

8.3. ANEXO 3: CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO SATURADO EN BASE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN

Tabla 23: Concentración de oxígeno saturado en base a la temperatura y presión.

| ALTURA (m) | TEMPERATURA DEL AGUA (PURA) (°C) | | | | | | | | | |
|------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| 2300 | 8.42 | 8.02 | 7.66 | 7.32 | 7.01 | 6.72 | 6.44 | 6.19 | 5.95 | 5.72 |
| 2400 | 8.32 | 7.92 | 7.56 | 7.23 | 6.92 | 6.63 | 6.36 | 6.11 | 5.87 | 5.65 |
| 2500 | 8.21 | 7.82 | 7.47 | 7.13 | 6.83 | 6.54 | 6.28 | 6.03 | 5.80 | 5.57 |
| 2600 | 8.11 | 7.72 | 7.37 | 7.04 | 6.74 | 6.46 | 6.20 | 5.95 | 5.72 | 5.50 |
| 2700 | 8.00 | 7.63 | 7.28 | 6.95 | 6.66 | 6.38 | 6.12 | 5.88 | 5.65 | 5.43 |
| 2800 | 7.90 | 7.53 | 7.18 | 6.87 | 6.57 | 6.30 | 6.04 | 5.80 | 5.57 | 5.36 |
| 2900 | 7.80 | 7.43 | 7.09 | 6.78 | 6.49 | 6.22 | 5.96 | 5.72 | 5.50 | 5.29 |

8.4. ANEXO 4: DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LOS DOS MÉTODOS DE AFORO

Tabla 24: Datos obtenidos mediante los dos métodos de aforo.

| FECHA | ESTACIÓN | CAUDAL (l/s) | |
|------------------|----------|--------------|-------------|
| | | FLOTADOR | FLOWTRACKER |
| M6 22/11/2017 | 1 | 46 | 40 |
| | 2 | 61 | 54 |
| | 3 | 104 | 76 |
| | 4 | 108 | 97 |
| | 5 | 78 | 88 |
| M7 6/12/2017 | 1 | 32 | 22 |
| | 2 | 47 | 41 |
| | 3 | 91 | 48 |
| | 4 | 107 | 84 |
| | 5 | 71 | 68 |
| E1 10/3/2018 | 1 | 181 | 277 |
| | 2 | 321 | 343 |
| | 3 | 260 | 330 |
| | 4 | 369 | 343 |
| | 5 | 395 | 416 |
| E2 12/3/2018 | 1 | 168 | 217 |
| | 2 | 233 | 236 |
| | 3 | 288 | 347 |
| | 4 | 340 | 328 |
| | 5 | 289 | 277 |
| E3 13/3/2018 | 1 | 143 | 167 |
| | 2 | 193 | 209 |
| | 3 | 224 | 202 |
| | 4 | 328 | 298 |
| | 5 | 217 | 218 |
| E4 14/3/2018 | 1 | 153 | 170 |
| | 2 | 164 | 178 |
| | 3 | 224 | 200 |
| | 4 | 297 | 239 |
| | 5 | 174 | 185 |

8.5. ANEXO 5: DATOS OBTENIDOS POR EL EQUIPO FLOWTRACKER 2 Y FLOTADOR (ESTACIÓN 5 – AFORO E3)

8.5.1 EQUIPO FLOWTRACKER 2

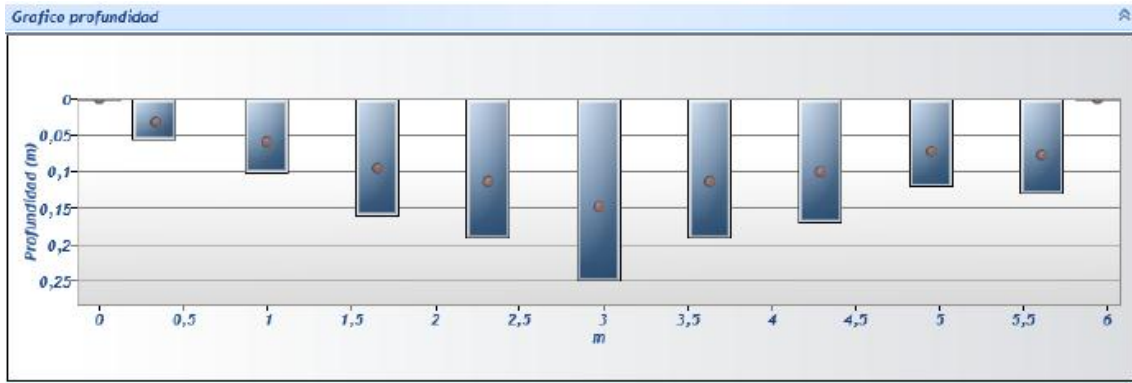
14/3/2018 19:22:03



Resumen de medición de caudal

| | | | |
|---|--|--|--|
| Información de archivo Nombre de archivo: Deleg_20180313_5.ft Fecha de inicio y hora: 13/3/2018 11:49 Motor de cálculos: FlowTracker2 Modo de recogida de datos: Caudal | | Resumen caudal # Estaciones: 11 Intervalo de AVG: 40 Profundidad media: 0.147 m Velocidad media: 0.250 m/s SNR medio: 39.023 dB Temp media: 18.899 ° C Anchura total: 5.940 m Área total: 0.870 m ² Caudal total: 0.218 m ³ /s | |
| Información del sistema Tipo de sensor: Universal Serie: FT2H1620002 Numero serie sensor: FT2P1620012 Versión de firmware: 1.17 Versión de software: 1.1.1 | | Detalles del lugar Nombre del lugar: Deleg Número de lugar: 25 Operador (es): Juan Comentario: | |
| Incertidumbre en calculo caudal Categoría: ISO IVE Precisión: 1.0% 1.0% Profundidad: 0.6% 5.4% Velocidad: 0.5% 7.1% Ancho: 0.2% 0.2% Método: 3.0% # Estaciones de General: 4.6% 5.7% 8.9% | | Ajustes caudal Ecuación calculo de caudal: Sección medio Incertidumbre en calculo caudal: IVE Caudal estimado: Recomendado | |
| Resumen No se hicieron cambios a este archivo Advertencia de control de calidad | | Configuración de advertencia de la estación Caudal máxima de la estación: 10.000 % Cambio de profundidad máxima: 50.000 % Cambio de separación máxima: 100.000 % | |
| | | Configuración de la colección de datos Salinidad: 0.000 PSS Temperatura: ° C Velocidad de sonido: m/s Corrección del montaje: 0.000 % | |
| | | Configuración de Control de calidad Umbral SNR: 10.000 dB Umbral de error estándar: 0.010 m/s Umbral de pico: 10.000 % Ángulo de la velocidad máxima: 20.000 DEG Ángulo de inclinación máximo: 5.000 DEG | |

| St # | Tiempo | Ubicación (m) | Método | Profundidad (m) | % Profundidad | Profundidad medida (m) | Muestras | Velocidad (m/s) | Corrección | velocidad media (m/s) | Area (m ²) | Flujo (m ³ /s) | %Q |
|------|--------|---------------|---------|-----------------|---------------|------------------------|----------|-----------------|------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|--------|
| 0 | 11:51 | 0.000 | Ninguno | 0.000 | 0 | 0.000 | 0 | 0.000 | 1 | 0.024 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 11:52 | 0.330 | 0.6 | 0.055 | 0.6 | 0.033 | 80 | 0.024 | 1 | 0.024 | 0.027 | 0.001 | 0.294 |
| 2 | 11:54 | 0.990 | 0.6 | 0.100 | 0.6 | 0.060 | 80 | 0.119 | 1 | 0.119 | 0.066 | 0.008 | 3.600 |
| 3 | 11:55 | 1.650 | 0.6 | 0.160 | 0.6 | 0.096 | 80 | 0.110 | 1 | 0.110 | 0.106 | 0.012 | 5.327 |
| 4 | 11:57 | 2.310 | 0.6 | 0.190 | 0.6 | 0.114 | 80 | 0.274 | 1 | 0.274 | 0.125 | 0.034 | 15.746 |
| 5 | 11:59 | 2.970 | 0.6 | 0.250 | 0.6 | 0.150 | 80 | 0.297 | 1 | 0.297 | 0.165 | 0.049 | 22.468 |
| 6 | 12:00 | 3.630 | 0.6 | 0.190 | 0.6 | 0.114 | 80 | 0.313 | 1 | 0.313 | 0.125 | 0.039 | 17.987 |
| 7 | 12:02 | 4.290 | 0.6 | 0.170 | 0.6 | 0.102 | 80 | 0.343 | 1 | 0.343 | 0.112 | 0.038 | 17.640 |
| 8 | 12:03 | 4.950 | 0.6 | 0.120 | 0.6 | 0.072 | 80 | 0.250 | 1 | 0.250 | 0.079 | 0.020 | 9.097 |
| 9 | 12:05 | 5.610 | 0.6 | 0.130 | 0.6 | 0.078 | 80 | 0.266 | 1 | 0.266 | 0.064 | 0.017 | 7.842 |
| 10 | 12:06 | 5.940 | Ninguno | 0.000 | 0 | 0.000 | 0 | 0.000 | 1 | 0.266 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |



8.5.2. FLOTADOR

Tabla 25: Cálculo de velocidad (m/s) método de flotador.

| Cálculo de la velocidad (m/s) | | | | |
|-------------------------------|------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Distancia (m) | Tiempo (s) | Velocidad superficial | Factor de corrección | Velocidad corregida |
| 6 | 19,27 | 0,32 | 0,75 | 0,24 |
| | 19,26 | | | |
| | 17,11 | | | |

Tabla 26: Resumen de medición de Caudal (l/s) método de flotador.

| Resumen de medición de Caudal (l/s) | |
|-------------------------------------|-------|
| Estación | 5 |
| Ancho de la sección (cm) | 594 |
| Ancho de la dovela (cm) | 66 |
| Área (m ²) | 0,894 |
| Velocidad superficial (m/s) | 0,243 |
| Caudal (l/s) | 217 |

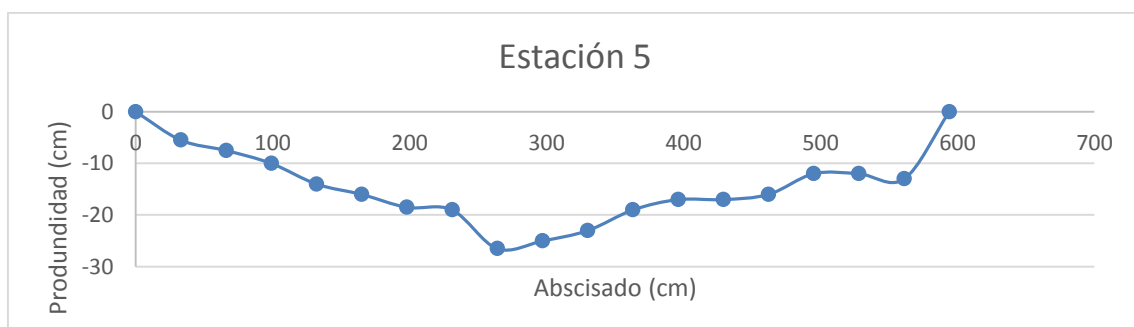


Figura 19: Profundidad de la Estación 5.



8.6. ANEXO 6: RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

| LABORATORIO DE SANITARIA | | | | | | | |
|--|--|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------|----------------|
| RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA | | | | | | | |
| Muestra procedencia: | Río Deleg | | | | | | |
| Tipo de fuente: | Superficial | | | | | | |
| Fecha de toma: | 14 de Septiembre de 2017 | | | | | | |
| Fecha de Análisis: | 14 de Septiembre de 2017 | | | | | | |
| Condiciones Climatologicas: | Soleado | | | | | | |
| Análisis solicitado por: | Señores: Juan Espejo - Pablo Tenelanda | | | | | | |
| PARAMETROS | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | UNIDAD | OBSERVACIONES |
| | Unión ríos: Chine y LLinqui | Descarga quebrada Yaunay | Descarga quebrada Sigsipamba | Descarga quebrada Chacahuaycu | Antes de la unión con el río Burgay | | |
| PARÁMETROS FÍSICOS | | | | | | | |
| TEMPERATURA | 12 | 13.9 | 15.2 | 15.9 | 19.2 | °C. | in situ |
| OXÍGENO DISUELTO | 7.04 | 8.85 | 9.94 | 8.34 | 12.58 | | |
| TURBIEDAD | 0.821 | 0.967 | 4.29 | 0.875 | 0.972 | NTU, FTU | |
| COLOR REAL | 11.0 | 7.0 | 25.0 | 21.0 | 18.0 | UC, Pt Co | |
| CONDUCTIVIDAD | 437.0 | 355.0 | 464.0 | 525.0 | 627.0 | microsiemens/ cm | |
| PARÁMETROS QUÍMICOS | | | | | | | |
| pH | 6.84 | 8.32 | 8.40 | 8.35 | 8.39 | | |
| ALCALINIDAD TOTAL | 91.0 | 126.4 | 163.4 | 186.6 | 189.2 | mg/l, CaCO3 | |
| DUREZA TOTAL | 86.4 | 121.2 | 139.8 | 154.0 | 162.4 | mg/l, CaCO3 | |
| CLORUROS | 81.30 | 44.0 | 40.90 | 26.50 | 32.10 | mg/l | |
| AMONIO | 0.07 | 0.04 | 0.05 | 0.09 | 0.09 | mg/l | como Nitrógeno |
| NITRATOS | 0.039 | 0.018 | 0.025 | 0.018 | 0.056 | mg/l | como Nitrógeno |
| P.ORTOFOSFATOS TOTALES | 0.350 | 0.110 | 2.030 | 0.50 | 0.220 | mg/l | como Fósforo |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | 5.0 | 0.0 | 16.0 | 2.0 | 3.0 | mg/l | |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES | 238.0 | 210.0 | 264.0 | 330.0 | 386.0 | mg/l | |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | 0.78 | 0.53 | 1.41 | 0.27 | 0.38 | mg/l | |
| PARÁMETROS BIOLÓGICOS | | | | | | | |
| COLIFORMES TOTALES | 2.20E+03 | 4.90E+02 | 1.10E+03 | 1.40E+03 | 1.70E+03 | NMP/100ml | 37°C. 24H |
| E. COLI | 2.60E+02 | 3.30E+02 | 1.40E+02 | 3.30E+02 | 3.30E+02 | NMP/100ML | 37°C. 24H |

JUAN CARLOS ESPEJO RUIZ

PABLO ANDRÉS TENELANDA PATIÑO

8.7. ANEXO 7: CAUDALES DE CRECIDA EN LAS ESTACIONES 3 Y 4



Imagen 10: Caudal de crecida en la estación 3. Fuente (Autores).



Imagen 11: Caudal de crecida en la estación 4. Fuente (Autores).