

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONTROL DE CALIDAD DE AGUA Y ANÁLISIS DE SEDIMENTOS
EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

PAUL FERNANDO URGILEZ MONTERO
C.I. 0302104260

DIRECTOR:

DRA. GLADYS GUILLERMINA PAUTA CALLE M.Sc.
C.I. 0300691045

CUENCA - ECUADOR

2016



RESUMEN

A través de un programa de monitoreo, con estaciones de control estratégicamente ubicadas a lo largo de la microcuenca, se realiza un estudio de la calidad del agua del Río Tabacay, empleando un índice de Calidad ICA, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

La microcuenca del río Tabacay presenta deterioro, debido a la presencia de descargas de aguas residuales, aguas industriales, así como extracción minera en la periferia del cauce, lo que afecta significativamente los usos del agua, sobre todo el destinado a consumo humano.

La alta presencia de sedimentos en la zona de San Antonio, indujo a realizar estudios con material del fondo del lecho en los distintos puntos de monitoreo, llegando a determinar aproximadamente las tasas de transporte de fondo, mediante correlaciones empíricas y semiempíricas.

El aporte de este trabajo, es obtener un diagnóstico actualizado sobre el estado del río Tabacay, así como también establecer las medidas de control y prevención de la contaminación. Con estos resultados se entregará a la empresa EMAPAL, al Ministerio del Medio Ambiente, a la SENAGUA, e HIDROPAUTE (encargadas de la gestión y administración del recurso), una herramienta de gestión, útil en su proceso de toma de decisiones.

PALABRAS CLAVE: ICA, Sedimentos, Tasas de Transporte de Fondo.



ABSTRACT

Through a monitoring program with control stations strategically located along the watershed, a study of water quality of the River Tabacay is performed using a Quality Index ICA, of the Mexican Institute of Water Technology.

The microbasin of the Tabacay River is deteriorated due to the presence of wastewater discharges, industrial waters, as well as mining in the periphery of the channel, which significantly affects the uses of water, especially for human consumption.

The high presence of sediments in the area of San Antonio, induced to realize studies with material from the bottom of the riverbed in some of the monitoring points, reaching approximately determine transport rates background, empirical and semi-empirical correlations using.

The contribution of this work is to obtain an updated diagnosis status of the Tabacay river, as well as establish control measures and pollution prevention. With these results, will be delivered to the company EMAPAL, the Ministry of Environment, the SENAGUA, and HIDROPAUTE (in charge of management and resource management), a management tool, useful in the process of decision making.

KEY WORDS: ICA, Sediments, transport rates background



CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes	12
1.2 Aspectos Generales de la contaminación	12
1.3 Historia y problemática de la Cuenca	13
1.4 Alcance y Justificación	14
1.5 Objetivos	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1 Marco Conceptual de la contaminación	17
2.2 Geología en la microcuenca del río Tabacay	18
2.3 Índices de calidad del agua	21
2.4 Sedimentos en las microcuencas de los ríos	23
2.4.1 Relaciones entre sólidos suspendidos y turbiedad	27
2.4.2 Tamaño de las partículas	27
2.5 Aspectos Normativos	29
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Descripción del área de estudio	31
3.2 Geología de la Micro-Cuenca	32
3.3 Campañas de Muestreo	33
3.3.1 Aspectos Generales del Muestreo	33
3.3.2 Toma de muestras	35
3.3.3 Campañas de monitoreo y ensayos realizados	36
3.4 Metodologías para la medición y el cálculo del caudal	36
3.4.1 Método Escogido	36



3.4.2 Equipo	36
3.4.3 Medición Velocidad (contador digital o auditivo)	37
3.4.4 Procedimiento para realizar el aforo con molinete.	38
3.4.5 Perfil de velocidades según la profundidad	39
3.5 Metodología para el cálculo del Índice de Calidad ICA.....	41
3.5.1 Definición.	41
3.5.2 Desarrollo del Índice.....	41
3.5.3 Parámetros. El número de parámetros que se consideran para determinar el ICA global son:.....	41
3.5.4 Ecuaciones. (Funciones de transformación).....	42
3.5.5 Coeficientes de Ponderación por Parámetro	43
3.5.6 Variables, unidades y métodos usados	44
3.5.7 Evaluación del ICA	45
3.5.8 Asignación de los Usos	45
3.6 Metodología para la caracterización química de los sedimentos.....	46
3.6.1 Procedimiento.	46
3.7 Metodología para la clasificación del suelo	47
3.7.1 Preparación de la muestra y tamizado	47
3.7.2 Clasificación del suelo, según el método del Sistema Unificado de Clasificación	47
3.8 Ecuaciones para determinar transporte de fondo.....	48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	49
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y ANÁLISIS	67
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	80



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Problemas asociados con el transporte de sedimentos en los ríos.....	26
Tabla 2.2 Clasificación de partículas por el tamaño según la escala de Wentworth.....	28
<i>Tabla 2.3 Lista de tablas con los criterios de calidad del agua para distintos usos.....</i>	<i>30</i>
Tabla 3.1 Estaciones de monitoreo y su ubicación geográfica	34
Tabla 3. 2 Factores de corrección de velocidad	40
Tabla 3.3 Agrupación de parámetros para el ICA particulares	43
Tabla 3.4 Coeficientes de ponderación para el cálculo ICA	44
Tabla 3. 5. Variables fisicoquímicas, biológicas y métodos de análisis	45
Tabla 3.6 Rango de clasificación del ICA según criterio general	45
Tabla 3. 7 Clasificación del índice de calidad del agua según criterio general	46
Tabla 4.1 Clasificación de Muestreos por caudales	49
Tabla 4.2 Valor del ICA para el río Tabacay en el período de estudio.....	51
Tabla 4.3 Criterio general del ICA, en el período de estudio.	52
Tabla 4.4 Criterios de los usos del agua para caudal alto	53
Tabla 4.5 Criterios de los usos del agua para caudal medio	54
Tabla 4.6 Criterios de los usos del agua para caudal bajo	55
Tabla 4.8 Caracterización de los sedimentos en la microcuenca del río Tabacay	64
Tabla 4.8 Tasa de transportes de fondo para cada estación de monitoreo	65
Tabla 5. 1 Análisis del 7 de noviembre de 2013	74



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Zona de Rubíes en el río Tabacay	27
Figura 3.1a. Ubicación Provincia del Cañar.....	31
Figura 3.1b. Microcuenca del río Tabacay en la Provincia del cañar	31
Figura 3. 2 Principales Afluentes del río Tabacay.....	32
Figura 3.3 Carta Geológica Azogues.....	33
Figura 3. 4 Puntos de monitoreo emplazados en mapa georreferenciado	34
Figura 3. 5 Molinete Gurley 622 A	37
Figura 3.6 Discretización de la sección transversal del río	38
Figura 3.7 Perfil de velocidades según la profundidad	39
Figura 3.8 Función de transformación para la demanda bioquímica de Oxígeno.....	42
Figura 3.9 Muestras de sedimentos calcinados en el orden de las estaciones	47
Figura 4. 1: Evolución del Caudal en el periodo de estudio	50
Figura 4.2 Variación temporal de la calidad del agua en cada estación	56
Figura 4.3 Variación Espacial de la calidad del agua en caudal alto, medio y bajo.....	60
Figura 4.4 Calidad del agua por el caudal (bajo, medio, alto) en cada estación	61
Figura 4.5 Caracterización del suelo por su granulometría.....	66



CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Paul Fernando Urgilez Montero, autor de la tesis CONTROL DE CALIDAD DE AGUA Y ANALISIS DE SEDIMENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY "", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 17 de Octubre del 2016

Paul Fernando Urgilez Montero

C.I: 0302104260



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Paul Fernando Urgilez Montero, autor de la tesis "CONTROL DE CALIDAD DE AGUA Y ANALISIS DE SEDIMENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de Octubre del 2016

Paul Fernando Urgilez Montero

C.I: 0302104260



DEDICATORIA

Con todo el amor que mi corazón emana le dedico mi trabajo a mi hija María Paula que posiblemente en este momento no entienda mis palabras, pero para cuando sea capaz de comprenderlas, quiero que se dé cuenta lo que significa para mí. Es la razón de mi vida y mi mayor motivación por quien me esfuerzo día a día, y como en todos mis logros este también se lo dedico a ella.

De igual forma dedico mi tesis a mis padres Fernando y Carmen quienes han sabido formarme con buenos hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante a pesar de las adversidades.

A mi hermano Diego que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo, muchas veces sacrificando sus propios intereses por el bien de sus hermanos.

A mi abuelita Marina y a mi familia en general por su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.



AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios quien ha forjado mi camino y me ha guiado por el sendero correcto, me ha dado fortaleza cuando he estado a punto de caer; por bendecirme para llegar hasta donde hoy estoy, y por haber sido mi guía y protector en cada etapa de mi vida.

A la Universidad de Cuenca cuna de buenos y grandes profesionales, por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

De manera especial agradezco a la Dra. Guillermina Pauta Calle por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su conocimiento científico y capacidad. Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación profesional.

Al personal de Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca, quienes colaboraron para la culminación del presente estudio.

Para finalizar agradezco también a todos los que fueron mis compañeros durante todo este periodo universitario, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo hicieron de esta experiencia una de las mejores de mi vida.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador se evidencia que los recursos hídricos son aprovechados para cubrir necesidades básicas de sectores aledaños a los cuerpos de agua, sin disponer de una planificación que permita un desarrollo sustentable del lugar.

La evaluación de la calidad de agua requiere de un estudio amplio y definido, dependiendo del fin o uso que se vaya a dar al recurso; de acuerdo a esto un cuerpo de agua puede tener distintos significados. Desde un punto de vista ambiental, la Directiva Marco de las Aguas, define como las condiciones que deben darse, para que un ecosistema se mantenga equilibrado y para que cumpla unos objetivos de calidad determinados. [1]

1.2 Aspectos Generales de la contaminación

El control de la contaminación del agua ha alcanzado importancia primordial en los países desarrollados y en un número significativo de países en desarrollo. La prevención de la contaminación en origen, el principio de precaución y la autorización previa de descargas de aguas residuales de parte de las autoridades competentes, se han convertido en elementos clave de las políticas exitosas para una participación completa de la comunidad, para el control y reducción de sustancias peligrosas, nutrientes y otros contaminantes del agua provenientes de fuentes puntuales en ecosistemas acuáticos.

En muchos países del mundo, es una práctica común, establecer normativas para recortar la cantidad de vertidos de sustancias peligrosas. Tales contaminantes pueden incluir sustancias que son tóxicos en concentraciones bajas, con efectos carcinógenos, mutanogénicos, teratogénicos y / o bioacumulables, especialmente si son persistentes. Para reducir las sustancias de fósforo, nitrógeno y pesticidas procedentes de fuentes no puntuales (especialmente agrícolas) a los cuerpos de agua, autoridades ambientales y agrícolas de un número creciente de países, están estipulando la necesidad de utilizar las mejores prácticas ambientales disponibles.[2]

1.3 Historia y problemática de la Cuenca

En Agosto de 2003, se inició un convenio interinstitucional para estructurar el “Plan de Manejo para la Microcuenca del río Tabacay”, con la cooperación de la Ilustre Municipalidad de Azogues, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (EMAPAL EP), el Consejo de Programación de Obras Emergentes de la Cuenca del Río Paute (COPOE actualmente constituida como CG PAUTE) y la Universidad de Cuenca.

La elaboración de este Plan de Manejo, consideró metodologías coherentes en base a realidades, económicas, técnicas e institucionales encontradas en la zona de estudio. Un estudio de diagnóstico territorial identificó los problemas más significativos y en base a ellos se estableció los siguientes programas estratégicos para proteger y conservar a la microcuenca.

- Programa de Intervención en Infraestructura e Implementación de Obras

Este programa plantea proyectos de implementación y planificación vial; proyecto de diseño de trampas de sedimentos, proyecto de mejoramiento de la infraestructura de salubridad, y proyecto de priorización de obras de infraestructura.

- Programa Agro-Ambiental

Este programa arranca con una evaluación parcelaria, para determinar las intervenciones que se harán en las distintas zonas de la microcuenca, a través de proyectos de forestación, proyecto de conservación de áreas sensibles y proyecto de alternativas productivas sostenibles.

- Programa de concientización y fortalecimiento

Este programa tiene como objetivo un fortalecimiento basado en planes de capacitación a los actores de la microcuenca, educación ambiental generalizada a nivel primario, y un plan de comunicación y difusión.



Se estudió la opción de aplicar un sistema de pago por servicios ambientales como un mecanismo que garantice la conservación de suelo y cobertura en las partes altas de la microcuenca. Esto con el fin de proteger estas áreas tan cruciales en la conservación del recurso hídrico, ya que los suelos de páramo (Andosoles) tienen una capacidad extraordinaria de almacenar el agua y de liberarla en forma gradual hacia la red hidrográfica. Este planteamiento constituye un estímulo al habitante del área rural, enmarcado dentro del desarrollo sostenible: “el que contamina, paga”; pero también “el que cuida, cobra”; adicionalmente se planificaron otros incentivos como aportes para infra estructura eléctrica, agua potable, sistemas de salubridad, agua para riego, y equipamiento social.

Las distintas actividades agrícolas y descargas de aguas residuales domésticas e industriales, generan preocupación por parte de instituciones que hacen uso del recurso; así la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC, ha brindado apoyo a EMAPAL, para la construcción de interceptores marginales, pero esta obra no ha concluido por falta de estudios. Finalmente, es necesario realizar estudios geológicos y ambientales de la zona, así como también estudios del agua y sus sedimentos, que aporten información a fin de tomar acciones correctivas.

1.4 Alcance y Justificación

Este trabajo de titulación abordará el estudio de la calidad del agua en la microcuenca del río Tabacay; con estos resultados se emitirá un diagnóstico del estado de este río, y una valoración de los interceptores marginales construidos en ambas márgenes de este cuerpo receptor.

EMAPAL EP y algunas Juntas de Agua aprovechan las aguas del río Tabacay y sus afluentes, para proveer de agua potable a la ciudad de Azogues y a un importante sector del área rural. El presente trabajo contribuye al objetivo del Plan de Manejo de la Cuenca del Tabacay, PROMAS, 2003, “Precautelar la disponibilidad (calidad y cantidad) presente y futura de agua en la microcuenca de este río, mediante el establecimiento de acciones de uso, manejo de recursos naturales e infraestructura, y la coordinación de las inversiones para el aprovechamiento del agua y su posterior administración”. [3]

Esta microcuenca se ha venido degradando por múltiples factores antropogénicos; pues recibe directamente todas las aguas residuales no tratadas de la población de la parroquia Guapán, de sectores aledaños como Cachipamba, de la Empresa cementera UCEM (Unión Cementera Nacional) y otros; de esta manera no se respeta la capacidad de auto-asimilación de este ecosistema, provocando un deterioro ambiental que repercute en la calidad del río Burgay, y posteriormente en la del río Paute, fuente de aprovisionamiento del Proyecto Hidro-Eléctrico Paute Integral, el más importante en el sur del país.

El aporte de este trabajo de titulación es disponer de datos de calidad de este río, en condiciones climatológicas representativas, que permita conocer la variabilidad de la calidad de la fuente tanto espacial como temporal, y entregar a las entidades encargadas del manejo y control del recurso, una valiosa herramienta de gestión que les permita definir los usos del recurso en las condiciones actuales en función de una legislación existente, así como proponer unos objetivos de calidad, acorde a los nuevos usos que pretendan asignar al recurso.

1.5 Objetivos

Objetivo General

Evaluar la calidad de agua del río Tabacay perteneciente a la subcuenca del río Burgay, mediante el índice de calidad ICA.

Objetivos específicos

1. Establecer una red de monitoreo con estaciones convencionales, que permitan el control de parámetros climatológicos y de calidad de agua, en la subcuenca del río Tabacay.
2. Analizar la calidad del agua, utilizando un modelo de calidad ICA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), y compararla con la normativa vigente en nuestro país; esto permitirá definir los usos posibles del recurso, en las actuales condiciones.



3. Identificar las principales causas del deterioro del agua, a medida que avanza el curso del río, y recomendar una serie de acciones que permitan a corto, mediano y largo plazo, la recuperación de esta subcuenca, con incidencia en la calidad del agua.
4. Caracterización preliminar de la capacidad de transporte de carga del lecho del cuerpo receptor y su relación con la calidad del agua.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual de la contaminación

En este capítulo se mencionan algunas características generales para el estudio de un río, los parámetros físico-químicos y bacteriológicos influyentes en la calidad del agua, los modelos de calidad aplicables para su determinación, y la hidrogeoquímica de un río.

La descripción de la cuenca con sus diferentes características y problemáticas, es la base para una correcta gestión de calidad de agua, la misma que incluye el seguimiento a las diferentes propiedades del agua (parámetros físico-químicos, biológicos), así como el control de las distintas descargas de tipo industrial, ganadero, agrícola y aguas residuales domésticas.

Es importante distinguir la contaminación puntual de la difusa; la contaminación puntual está totalmente identificada, por ejemplo, es debida a descargas de aguas residuales e industriales; en cambio la difusa FNP (Fuente no Puntual), proviene de muchas partes. La principal causa de ésta es la lluvia, la cual, a través de la escorrentía, recoge contaminantes naturales y antropogénicos trasladándolos hacia los ríos, lagos, zonas costeras y hacia las aguas subterráneas. [2]

En contraste con las fuentes puntuales de contaminación, la contaminación del FNP se caracteriza por su carácter aleatorio y ocurrencia intermitente; normalmente se ve influida por muchos factores, como el tipo y uso del suelo y la gestión práctica. Los nutrientes entregados a los cuerpos de agua son siempre de múltiples fuentes, y cada uno de ellos tiene diferentes características de transporte y composición; por lo tanto, el campo de la vigilancia en condiciones naturales y condiciones de lluvia juega un papel importante en el estudio de la variabilidad temporal y espacial de la contaminación por nutrientes. Por otra parte, los datos de seguimiento también pueden proporcionar información útil para la entrada de variables en los modelos de carga, con contaminación FNP.

Sin la influencia humana la calidad del agua se determina por la meteorización de los minerales del lecho rocoso, por los procesos atmosféricos de la evapotranspiración, la sedimentación de polvo y sal por el viento, por la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo, por factores hidrológicos que conducen a la escorrentía y finalmente por los procesos biológicos en el medio acuático, todos los cuales pueden alterar la composición física y química del agua. A nivel mundial, el problema de la calidad del agua más frecuente es la eutrofización, consecuencia de las altas cargas de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno), lo cual deteriora sustancialmente los usos benéficos del agua.

Las principales fuentes de nutrientes incluyen la escorrentía agrícola, las aguas residuales domésticas (también una fuente de contaminación microbiana), efluentes industriales y aportes atmosféricos procedentes de la quema de combustibles fósiles y los incendios forestales. Lagos y embalses son particularmente susceptibles a los efectos negativos de la eutrofización debido a su compleja dinámica y a los tiempos de residencia del agua relativamente más largos y a su papel como sumidero para la integración de los contaminantes de sus cuencas de drenaje. [2]

2.2 Geología en la microcuenca del río Tabacay

- **Estación 1.** La formación dominante es la Tarqui P_T perteneciente a la era del cuaternario y periodo pleistoceno, con una potencia de aproximadamente 1000m. Conformada por rocas que son piroclásticas acidas, con presencia de lavas.
- **Estación 2.** La formación dominante es la Yunguilla K_7 perteneciente a la era del Paleozoico-Mesozoico, periodo cretácico y edad de Mastrichtiano, con una potencia de aproximadamente 1200m. Con una litología predominante de argilita negra, pasando a arcillas cafés oscuras o negras. La silicificación es común en varios niveles, encontrándose depósitos de caliza y concreciones carbonatadas en toda la secuencia. Areniscas y capas guijarrosas fosilíferas son observadas en la zona, así como lavas andesíticas. También cerca del lugar pasa una falla inferida

- **Estación 3.** Está entre la formación Tarqui P_T que tiene una potencia de 1000m y la formación Yunguilla K_7 que tiene una potencia de 1200m, atraviesa la misma falla inferida de las dos formaciones; una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques, paralelos a la fractura. Esencialmente, una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas.
- **Estación 4.** Está en la formación Yunguilla K_7 y cerca de presencia del travertino T_v , el travertino es de origen parcialmente biogénico compuesta de calcita, aragonito y limonita, de capas paralelas con pequeñas cavidades de color amarillo y blanco, translúcida y de aspecto suave y agradable, es una roca sedimentaria que contiene depósitos de carbonato cálcico y originada hace millones de años; se utiliza como piedra ornamental con una belleza única y atemporal, gran parte de los monumentos e iglesias de la antigua Roma están contruidos con travertino. En zonas kársticas formadas por esta roca, el agua la disuelve y se carga de carbonato de calcio y por ende se da la formación de simas y cuevas, pero dicho mineral también se puede depositar posteriormente en distintas formaciones, entre ellas las conocidas estalactitas y estalagmitas. El travertino también se forma en determinadas condiciones, como en aguas termales o en cascadas

Son depósitos secundarios calcáreos; se cree que han tenido origen en la formación Yunguilla calcárea; el Travertino que aún se encuentra en formación, contiene moluscos y residuos humanos recientes, se originan por la circulación hidrotermal depositándose en zonas de resurgencias. Los travertinos siempre han sido muy importantes en la región como piedras ornamentales, se han usado también en la elaboración de cemento, cal o fertilizantes.

- **Estación 5.** Se encuentra en la formación Yunguilla K_7 de 1200m; en esta estación se puede evidenciar la presencia de filita, cerca de una falla inferida. La filita forma parte del grupo de las rocas sedimentarias pelíticas (lutitas), es un tipo de roca metamórfica intermedia entre la pizarra y el esquisto. Se

compone de minerales en forma de placas, puede distinguirse con facilidad por su brillo satinado y su superficie ondulada. La filita normalmente muestra pizarrosidad y está compuesta fundamentalmente por cristales muy finos de moscovita (roca ígnea), clorita o ambas y por lo general exhibe exfoliación.

- **Estación 6.** Está en la formación Guapán M_G perteneciente a la era del terciario periodo mioceno y vinculado al grupo Azogues, con presencia de bentonita; la formación Guapán M_G tiene una potencia de aproximadamente 100m, se puede observar también presencia de filita. El paso de una falla geológica es evidente en esta estación. La formación Guapán ha sido confundida con la formación Loyola por su litología similar, pero las capas de la formación Guapán tienden a ser ligeramente más gruesas. Esta formación pertenece al grupo Azogues y data del Mioceno Medio.
- **Estación 7.** Se encuentra entre la formación Guapán M_G que pertenece al grupo azogues y el depósito aluvial, perteneciente a la era del cuaternario del periodo del holoceno.

En las estaciones 6 y 7 predomina la formación Guapán y en ésta se observa la presencia de bentonita. La bentonita es una arcilla de grano muy fino (coloidal) del tipo de montmorillonita, y tiene aplicaciones en cerámica, entre otros usos. La bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales, aunque son las esmectitas sus constituyentes esenciales y las que le confieren sus propiedades y características. Los productos comerciales de bentonitas se clasifican en términos generales como:

- Bentonita sódica: Es una montmorillonita que se encuentra en forma natural y que contiene un alto nivel de iones de sodio. Se hincha al mezclarse con el agua.
- Bentonita cálcica: Es una montmorillonita en la que el catión intercambiable predominante es el calcio. No exhibe la capacidad de hinchamiento de la bentonita sódica, pero tiene propiedades absorbentes.

2.3 Índices de calidad del agua

Se define como índice de calidad del agua a la expresión matemática que se calcula considerando tres aspectos: físicos-químicos, biológicos, y no acuáticos.

- a) **Aspectos fisicoquímicos.** Las concentraciones, especies y tipos de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua.
- b) **Aspectos Biológicos.** La composición y estado de la biota acuática.
- c) **Aspectos no Acuáticos.** Los cambios temporales y espaciales que son debidos a los factores intrínsecos y externos al sistema acuático en estudio. Por ejemplo, la canalización del cauce, la presencia de bosques en las riberas de la corriente, etc.

La evaluación de la calidad de agua con elementos que no son acuáticos, por ejemplo, bosques, aves o la geomorfología de la cuenca, ha sido un tema de investigación, por ello la inclusión de aspectos no acuáticos para determinar un índice de calidad de agua se lo conoce como MITCHELL. En referencia a la combinación de aspectos relevantes que intervienen en los índices de calidad de agua, una definición acertada dice: un índice de calidad del agua es la expresión global o integrada en la cual se combinan factores naturales de tipo morfológico, geográfico y/o climático, junto con las características fisicoquímicas y biológicas del agua, sin ignorar la estética de la zona.[4]

El ICA es un número que expresa la calidad del recurso hídrico integrando las mediciones de determinados parámetros, y su uso es cada vez más generalizado para identificar las tendencias a los cambios en la calidad del agua.

Un criterio importante en el uso e interpretación del ICA, es incluir los parámetros de las cinco categorías consideradas como las más representativas: i) nivel de oxígeno, por su importancia en la capacidad de autodepuración de las corrientes; ii) eutrofización, por constituir un problema del ecosistema con efectos en los usos del agua; iii) aspectos de salud, por el riesgo sanitario; iv) características físicas, de importancia en la estética del agua; y v) sustancias disueltas, relacionadas con la presencia de iones. [4]



Considerando los principales usos del suelo en cada caso en particular, se debe incluir además, parámetros asociados a sustancias tóxicas, como los plaguicidas, herbicidas de uso agrícola, y otros, los cuales podrían llegar a ser prioritarios en la evaluación de la calidad del agua, destinada a consumo humano.

Los índices constituyen una herramienta institucional para evaluaciones de calidad del agua, ya que permite interpretar los datos de un monitoreo, los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales, y el público en general; aplicar en una región determinada, un índice desarrollado en otra, es apropiado si hay similitud en las condiciones, y porque ahorra tiempo y esfuerzo técnico.

Estudios anteriores que pueden tomarse como referencia para el presente trabajo, constituyen:

El realizado en el río Burgay, con un enfoque similar al presente; estudia la calidad del agua a través del índice ICA, en ocho estaciones, dos de las cuales pueden servir para evaluar el efecto que tiene el río Tabacay sobre el Burgay, (Burgay AJ Tabacay y Burgay DJ Tabacay); y aunque ese estudio contempló otros aspectos como los toxicológicos debido a la presencia de plaguicidas de uso agrícola, y una evaluación de la calidad biológica también a través de índices, sus resultados constituyen una fuente de información, respecto a cómo los ríos afluentes como el Tabacay, hacen un aporte importante a la contaminación del río Burgay. [5]

Un análisis en el río Tabacay AJ Burgay, realizado en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, el 25 de noviembre de 2013, igualmente importante porque permite evaluar la calidad con respecto al tiempo, y porque coincide con la última estación de monitoreo dentro del presente estudio.

En la ciudad de Cuenca, ETAPA (Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Telecomunicaciones), establece un plan de vigilancia de los principales cuerpos receptores de la ciudad, usando índices de calidad físico-químicos y biológicos (NSF y BMWP).

Algunos países como Uruguay, Colombia, y México, cimientan sus planes de vigilancia de la calidad de agua a través de índices, desarrollados en base a sus

Autor: Paul Fernando Urgilez Montero

propias normativas por representar las condiciones naturales de su medio, o adoptan índices de organismos de referencia internacional, como la EPA.

El (ICA) índice de calidad del agua empleado en este trabajo, es desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, y utilizado como herramienta de gestión, por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua de México) desde 1999. Incluye aspectos como: nutrientes, materia orgánica, disponibilidad de oxígeno, contaminación bacteriana, etc., resumidos en 18 parámetros físico-químicos y microbiológicos convencionales.

El cálculo del ICA se realiza aplicando un método aditivo, mediante la ecuación 1:[6]

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

En donde:

ICA = índice de calidad del agua global
I_i = índice de calidad para el parámetro i
W_i = coeficiente de ponderación del parámetro i
n = número total de parámetros

La ecuación del ICA genera un valor entre 0 y 100, y permite estimar el nivel de contaminación de acuerdo a una escala de calidad establecida.

2.4 Sedimentos en las microcuencas de los ríos

El sedimento es un material sólido acumulado sobre la superficie terrestre (litósfera) derivado de las acciones de fenómenos naturales (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).

Los sedimentos pueden permanecer estables durante largos períodos, millones de años, hasta consolidarse en rocas. También pueden ser movidos por fuerzas naturales como el viento o el agua, ya sea después de las lluvias, o por curso de agua, ríos y arroyos, este movimiento de los sedimentos es conocido como erosión.[7]

Gran parte de los sedimentos en los arroyos es el resultado de los recursos naturales en desgaste y de la erosión; a su vez la sedimentación se presenta en terrenos escarpados y montañosos; también se observa sedimentación como producto de actividades culturales del hombre. En general la agricultura produce erosión mucho más que cualquier otra actividad, pero las operaciones forestales también pueden ser contribuyentes importantes de estos fenómenos. [8]

La mayoría de sedimentos en las aguas superficiales se deriva de la erosión superficial, está conformado por un componente mineral derivados de la erosión de la roca madre, y un componente orgánico que surge durante los procesos de formación del suelo (incluyendo la producción y descomposición biológica y microbiológica). Un componente orgánico adicional puede ser añadido por la actividad biológica dentro del cuerpo de agua.

En una cuenca boscosa, el tipo de suelo juega un importante papel en la relación escorrentía / erosión.

Suelos Arenosos permiten una infiltración más rápida que los suelos de arcilla, pero se secan más rápido, lo que lleva a la pérdida de humedad; los suelos con grandes cantidades de arcilla en cambio tienden a hincharse cuando está húmedo y posteriormente conduce al sellado de la superficie y de la escorrentía superficial; las partículas de arcilla, sin embargo, pueden permanecer suspendidas en solución durante semanas, mientras que las partículas más gruesas reducen la velocidad de agua en movimiento. [8]

Los sedimentos juegan un papel importante en el ciclo elemental del medio acuático; los sedimentos son los encargados de transportar una proporción importante de nutrientes y contaminantes.

En los procesos de monitoreo acuático, el sedimento puede ser clasificado como suspendido o depositado. El sedimento depositado es el que se encuentra en el lecho de un río o lago, a diferencia de los sedimentos suspendidos que son transportados por un flujo de agua y se encuentran en la columna de ésta; a estos sedimentos en suspensión también se conocen como materia en suspensión o sólidos suspendidos.

El agua, el viento y la gravedad pueden servir como agentes de erosión. Las partículas del suelo se erosionan por tres fenómenos interrelacionados: desprendimiento, transporte y deposición. [7]

El desprendimiento se produce cuando se desaloja una partícula de suelo desde la superficie del mismo o del agregado a la cual se adjunta. Cuando existe insuficiencia de energía para continuar con el desprendimiento, las partículas del suelo se depositan. [8]

El transporte de sedimentos en los ríos se asocia con una amplia variedad de cuestiones ambientales y de ingeniería, que se exponen en la Tabla 2.1. [7] Un término comúnmente utilizado es el "lavado de carga" para indicar que el sedimento se lava a través de la corriente y no se conforma fácilmente; este sedimento producido en suspensión puede ser material orgánico o inorgánico, salvo que se especifique, ambos tipos están comprendidos en las previsiones de sedimentos en suspensión.[8]

Tamaño del Sedimento	Aspectos Ambientales	Problemas asociados a la ingeniería
Limos y Arcillas	La erosión, especialmente la pérdida de tierra vegetal en las zonas agrícolas; zanjas	
	Las altas cargas de sedimentos a los reservorios	Sedimentación en reservorio
	Embalse de sedimentación	Abastecimiento de agua potable
	El transporte de nutrientes químicos, metales, y compuestos orgánicos clorados	
	La acumulación de contaminantes en los organismos de la parte inferior de la cadena alimentaria (alimentadores de partículas)	
	Sedimentación de los lechos de desove de peces y una perturbación del hábitat (por erosión o sedimentación) para organismos bentónicos	
Arena	Lecho del Río y erosión de las orillas	Depósito de canal de río: problemas de navegación La inestabilidad de secciones

		transversales de los ríos.
	Lecho del Río y erosión de las orillas	
	La perturbación del hábitat	
Grava	La inestabilidad del canal cuando existe dragado para el agregado	La inestabilidad del cauce del río conduce a problemas de navegación y control de inundaciones
	La perturbación del hábitat	

Tabla 2.1 Problemas asociados con el transporte de sedimentos en los ríos

FUENTE: [7]

El estudio de los sedimentos fluviales en suspensión es cada vez más importante a nivel nacional e internacional, por la necesidad de evaluar los flujos de nutrientes y contaminantes a los lagos y océanos. [7]

La rápida reducción de la capacidad de almacenamiento de los depósitos debido a la sedimentación es un problema importante que se relaciona con los sedimentos en todo el mundo. En el sector de Rubíes (estación 2) se realiza actividades ganaderas y mineras que aceleran la erosión y afectan el calado del río (Ver figura 2.1); además, el enriquecimiento gradual de nutrientes de las aguas (algunos de los cuales se derivan de prácticas agrícolas) conducen a una mayor producción y una mayor sedimentación de materia orgánica, material procedente de la columna de agua. [7]

La pérdida de la capa superficial del suelo es una pérdida económica para los agricultores, que equivale a cientos de millones de dólares estadounidenses al año, ya que se produce una consecuente reducción en la productividad del suelo.[7] Por ejemplo, las concentraciones de sedimentos rara vez alcanzan niveles que son directamente letales para los peces, pero los sedimentos depositados en el lecho de grava o incorporado en el desove puede interrumpir la producción de insectos y otros organismos que son básicos para la cadena alimentaria o, peor aún, no se da la eclosión de peces. [8]Las buenas prácticas ambientales en la agricultura, que puede incluir curvas a nivel y terrazas, ayuda a la protección para reducir la pérdida de suelo y la contaminación de las aguas superficiales.[7]



Figura 2.1 Zona de Rubíes en el río Tabacay
FUENTE: El Autor

2.4.1 Relaciones entre sólidos suspendidos y turbiedad

Los sedimentos en suspensión se expresan como la concentración en agua usando partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l) de forma intercambiable para expresar la instantánea concentración en un punto dado. Otro término usado es carga de fondo y se usa para describir la existencia de demasiada sedimentación que no permite mantenerse al sedimento suspendido en el agua que fluye; este conjunto de material rebota a lo largo del fondo del arroyo. El tamaño de las partículas que componen la carga de fondo varía con el caudal, la velocidad de las partículas, la densidad y la forma entre otros factores. El rendimiento total de sedimentos incluye tanto rendimiento en suspensión y carga de fondo. [8]

Otro tema importante es el efecto que causa la turbiedad ya que esta puede afectar la reducción de la fotosíntesis en plantas acuáticas; tal impacto se produciría sólo si la turbiedad es alta, de tal manera que hay que limitar los sedimentos en el agua para salvaguardar el futuro de nuestros recursos hídricos.

2.4.2 Tamaño de las partículas

El conocimiento del tamaño de las partículas que componen la carga suspendida es un requisito previo para la comprensión de la fuente, el transporte y, en algunos casos, para el impacto ambiental a causa de la sedimentación. Cuando usamos el término tamaño de partículas no referimos a su diámetro, aunque pocas partículas son esféricas, el término no es estrictamente correcto. El tamaño de partícula se

determina pasando una muestra de sedimento a través de una serie de tamices, cada tamiz debe ser más fino que el precedente. [7]

No existe una escala universalmente aceptada para la clasificación de partículas de acuerdo con su tamaño. En América del Norte la Escala de Grado Wentworth (véase la Tabla 2.2) se utiliza comúnmente; en otras partes, se prefiere la Escala Internacional de Grado. Existen pequeñas diferencias entre las dos. [7]

Descripción de Partícula	Tamaño de las partículas (mm)	Propiedades de cohesión
Adoquín o Guijarro	256-64	no cohesivos
Grava	64-2	
Arena muy gruesa	2-1	sedimentos no cohesivos
Arena gruesa	1-0.5	
Arena media	0.5-0.25	
Arena fina	0.125-0.063	
Limo	0.062-0.004	sedimento cohesivo
arcilla	0.004-0.00024	

Tabla 2.2 Clasificación de partículas por el tamaño según la escala de Wentworth

FUENTE: [7]

Dado que el tamaño de malla más pequeña que se comercializa por tamices es de aproximadamente 40 micras, los tamaños de arcilla y partículas de limo no pueden ser determinados por tamizado ni por técnicas de sedimentación, razón por la cual se utiliza la ecuación semiempírica conocida como la Ley de Stokes.

El límite entre la arena y el limo (62 micras), separa los sedimentos de gránulo grueso (arena y partículas más grandes) de sedimentos de grano fino (partículas de limo y arcilla). Los sedimentos de grano grueso no son cohesivos, mientras que los sedimentos de grano fino son cohesivos, es decir, las partículas se pegan el uno al otro, y esto tiene importantes consecuencias físicas para la calidad de los sedimentos.

En sedimentología y los programas de calidad del agua, han adoptado una convención que considera que las partículas de materia se las puede clasificar como sólidos suspendidos, cuando éstas midan más de 0,45 micras de diámetro, las más pequeñas se consideran partículas disueltas. Este límite no es del todo válido ya que las partículas de arcilla y limo pueden ser mucho menores a 0,45 micras, pero en la práctica es conveniente dicho criterio, porque los filtros de membrana estándar de 0,45 micras de diámetro se pueden usar para separar partículas en suspensión de los sólidos disueltos. [7]

2.5 Aspectos Normativos

2.5.1 Aspectos Generales.

La Normativa Ecuatoriana de referencia está dada en el TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente), expresada como: “**Normas Generales de Criterios de Calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios**”.

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

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

La misma norma dice, 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 parámetros y los límites máximos permisibles para cada uso, están dados en las correspondientes Tablas, publicadas en el **Registro Oficial Suplemento 270 del 13 de febrero de 2015**, y estipuladas de la siguiente manera:

TABLA N°.	CRITERIOS DE CALIDAD
1	Fuentes de agua que para consumo humano y doméstico requieren tratamiento convencional
2	Fuentes de agua que para consumo humano y doméstico y que para su potabilización sólo requieren desinfección
3	Admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios



3 a	Admisible del amoníaco total para la protección de la vida acuática
3 b	Admisible de la DBO ₅ para la protección de la vida acuática
4	Aguas para uso agrícola en riego
5	Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego
6	Aguas de uso pecuario
7	Para fines recreativos mediante contacto primario
8	Para fines recreativos mediante contacto secundario

Tabla 2.3 Lista de tablas con los criterios de calidad del agua para distintos usos

FUENTE: [7]

CAPÍTULO III: MATERIALES Y METÓDOS

3.1 Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Tabacay pertenece a la subcuenca del río Burgay, cuenca del río Paute y se encuentra entre los cuadrantes 737700 - 748230 Este y 9698000 - 9709300 Norte. Posee un rango de altitud que va desde los 2.490 a los 3.730 metros sobre el nivel del mar. Sus principales afluentes son las quebradas Llaucay, Nudpud, Cóndor Yacu, Rosario, Mapayacu y Rubís. La microcuenca tiene una superficie de 6.650 ha (66.5 Km²), pertenece administrativamente al Cantón Azogues y se divide en 2 parroquias: Guapán y Bayas[3]



Figura 3.1a. Ubicación Provincia del Cañar

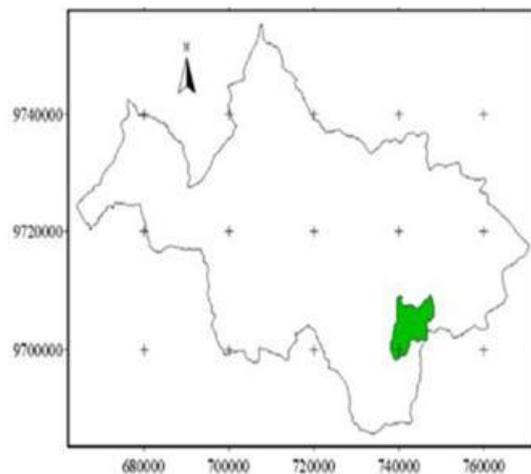


Figura 3.1b. Microcuenca del río Tabacay en la Provincia del Cañar

FUENTE: [3]

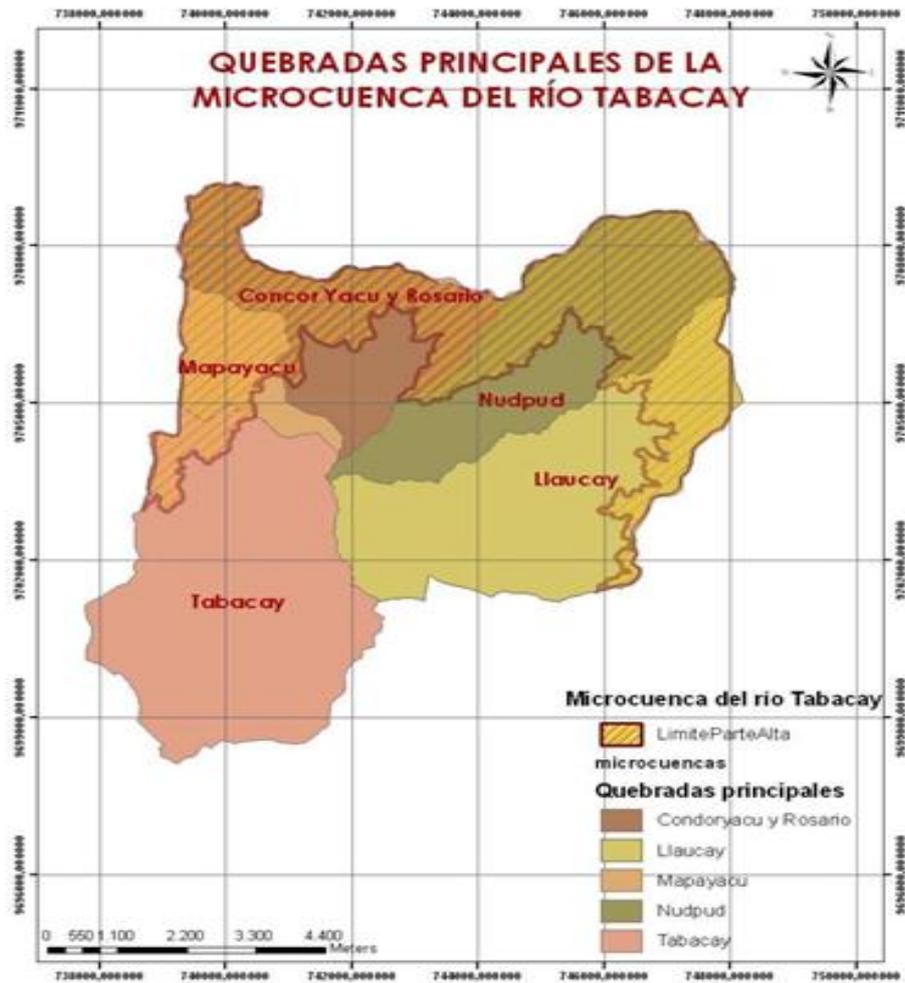


Figura 3. 2 Principales Afluentes del río Tabacay
FUENTE: [3]

3.2 Geología de la Micro-Cuenca

La geología de la micro-cuenca del río Tabacay basada en la carta geológica del Ecuador está en la hoja (ÑV – E73) de Azogues (escala 1:100000), presenta varias formaciones geológicas, depósitos aluviales, coluviales y terrazas que son atravesadas por el río (Ver Figura 3). La composición geológica está establecida por la investigación del proyecto PRECUPA.[9]

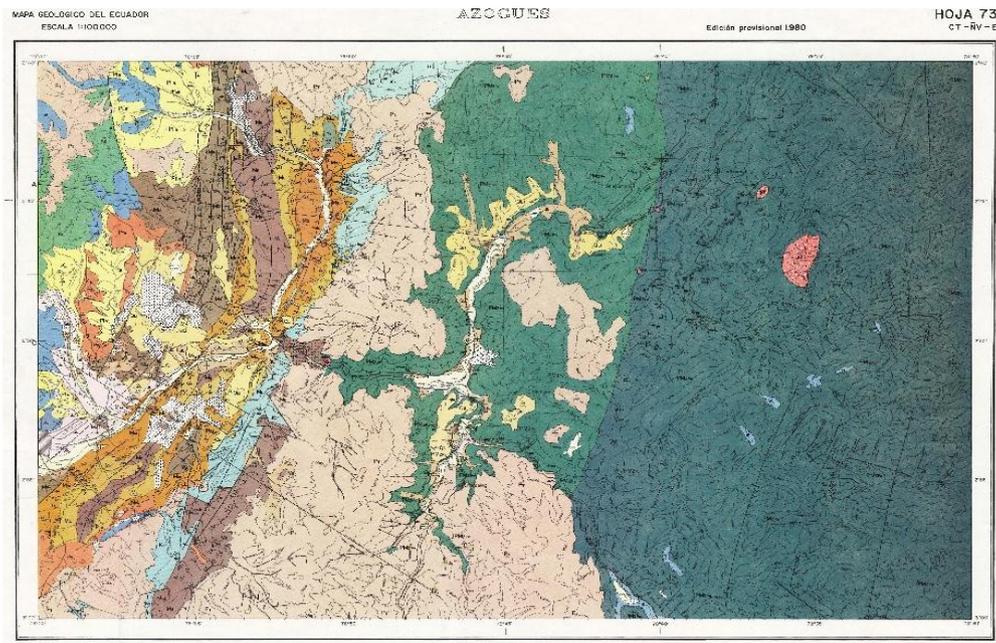


Figura 3.3 Carta Geológica Azogues
FUENTE: [9]

Para la información geológica de la zona, se utilizó la carta geológica del Ecuador (ÑV-E 73) Hoja de Azogues a escala 1:100000, la zona de interés se encuentra en el cuadrante: Longitud 78°45' a 78°55' y Latitud 02°40'a 02°45' con una superficie de la microcuenca de 6650 hectáreas. En la Geología de la zona predomina las formaciones: Tarqui, Yunguilla, Guapán, Azogues, con depósitos aluviales, bentonita y travertino este último provee cantidades considerables de caliza para la producción de cemento de la industria Guapán, es por ello que en la zona existe presencia de canteras.

3.3 Campañas de Muestreo

3.3.1 Aspectos Generales del Muestreo

La primera visita de campo realizada el 11 de septiembre de 2015, tuvo como objetivo el reconocimiento de la microcuenca, para ubicar las estaciones de monitoreo, tomando en consideración aspectos como: agricultura en el páramo, invasión de los márgenes del río por ganado vacuno, crecimiento urbanístico sin planificación con desechos domésticos descargados en el río, explotación de áridos en los márgenes del cauce, falta de control y vigilancia de desechos industriales.

Estos criterios junto con los procesos naturales de erosión, permitieron definir siete estaciones de monitoreo, que muestren un cambio en la calidad del agua a lo largo de su curso.

La primera estación, comienza aguas arriba en la antigua captación de Concoryacu, cerca del Sector de Monjas, culminando con la estación siete antes de la junta con el río Burgay, cerca del Puente Sucre (Ver fotos Anexo 1).

Punto	Nombre del Sector	Coordenadas UTM		
		x	y	z
1	Captación Concoryacu	741667	9704679	2924
2	Estación Rubíes	741253	9703361	2802
3	Iglesia San Antonio	740392	9702626	2717
4	Puente, antes Quebrada Mahuarcay	740333	9701544	2666
5	Puente, después Quebrada Mahuarcay	740385	9700784	2628
6	Población Leg Tabacay	739840	9699003	2539
7	Puente Sucre	738844	9697854	2488

Tabla 3.1 Estaciones de monitoreo y su ubicación geográfica

FUENTE: El Autor



Figura 3. 4 Puntos de monitoreo emplazados en mapa georreferenciado

FUENTE: El Autor

3.3.2 Toma de muestras

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción del material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño para fácil transporte y manipulación en el laboratorio, sin que por ello deje de presentar con exactitud al material donde procede, es decir la muestra debe ser representativa de la zona que se quiere evaluar; este objetivo implica que la proporción o concentración relativa de todos los componentes serán las mismas en las muestras que en el material de donde proceden, y que dichas muestras serán manejadas de tal forma que no se produzcan alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas correspondientes.[10]

El proceso de toma de las muestras de agua, se realiza con el mayor cuidado posible. La mayor precaución se dirige a la conservación de los gases disueltos, como oxígeno, anhídrido carbónico, y otros. [11]

Para análisis de muestras recogidas en un río, los resultados pueden variar según la profundidad, la velocidad de la corriente, la distancia a la orilla y la separación entre ambas orillas. Si se dispone del equipo adecuado, se hará una toma integral desde la superficie al fondo en la zona media de la corriente o de un lado al otro a una profundidad media, de forma que la muestra esté integrada en relación con el flujo. Si sólo puede hacerse una toma pequeña, se hará en el centro de la corriente a una profundidad media.[10]

Para determinados componentes es muy importante el lugar en el que se recoge la muestra. Hay que evitar las áreas de turbulencia excesiva, a causa de la posible pérdida de componentes volátiles y presencia de vapores tóxicos. En general, la toma se hará bajo la superficie en áreas tranquilas. La gran variedad de condiciones bajo las cuales puede hacerse la toma, hacen que resulte imposible recomendar un procedimiento único. En general, hay que tener en cuenta las pruebas o análisis que se van realizar y el fin para el que se requieren los resultados.[10]

Como normal general, las aguas superficiales y residuales son susceptibles de evolucionar, en particular bajo la acción de microorganismos, por lo que es

Autor: Paul Fernando Urgilez Montero

necesario conservarlas a baja temperatura 4°C, en embalajes isotérmicos que permitan asegurar una conservación suficiente durante el transporte. [11]

3.3.3 Campañas de monitoreo y ensayos realizados

En cada estación se conformó la muestra requerida para el tipo de ensayo según las especificaciones técnicas establecidas, y se midió el caudal; el muestreo entre estaciones considera el respectivo tiempo de paso, para evaluar la variabilidad espacial de la calidad. Un muestreo que incluye las siete estaciones, se denomina campaña de monitoreo.

Se realizaron ocho campañas, desde el 6 de enero hasta el 19 de octubre de 2016; las cuales fueron representativas de las diferentes condiciones climatológicas, aspecto de mucho interés para observar la variabilidad de la calidad con respecto a este factor ambiental.

En cada una de las estaciones se hicieron mediciones in situ de: pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua, porcentaje de saturación del oxígeno y conductividad eléctrica.

Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, tomando las precauciones necesarias para mantener la integridad de las mismas, y continuar con los ensayos requeridos para la obtención del índice de calidad en cada estación.

3.4 Metodologías para la medición y el cálculo del caudal

3.4.1 Método Escogido

La microcuenca del río Tabacay presento en la fecha de estudio caudales menores a 2m³/s, por lo que optar por el método Velocidad-Sección, el cual para cauces pequeños permite el ingreso de las personas y realizar mediciones de velocidad y sección.

3.4.2 Equipo

El equipo usado para la medición de la velocidad, en las distintas secciones de la microcuenca del Tabacay, fue facilitado por el PROMAS-Universidad de Cuenca.

Debido a las características de la microcuenca, el molinete (contador digital o auditivo) satisface los requerimientos a usarse en la medición del caudal.

Este medidor de corriente es suspendido en el agua por medio de un vástago (ríos pequeños). El Molinete consiste esencialmente de una rueda de seis tazas cónicas, las cuales rotan libremente con la corriente alrededor de un eje vertical dentro del yugo. Además, el molinete está provisto de un set de dos veletas de cola en ángulo recto, una en el plano horizontal y la otra en la vertical.

El molinete es apoyado por una barra o un vástago plano que pasa a través de una ranura en el yugo y es asegurado por un perno que le permite un cierto movimiento en el plano vertical.

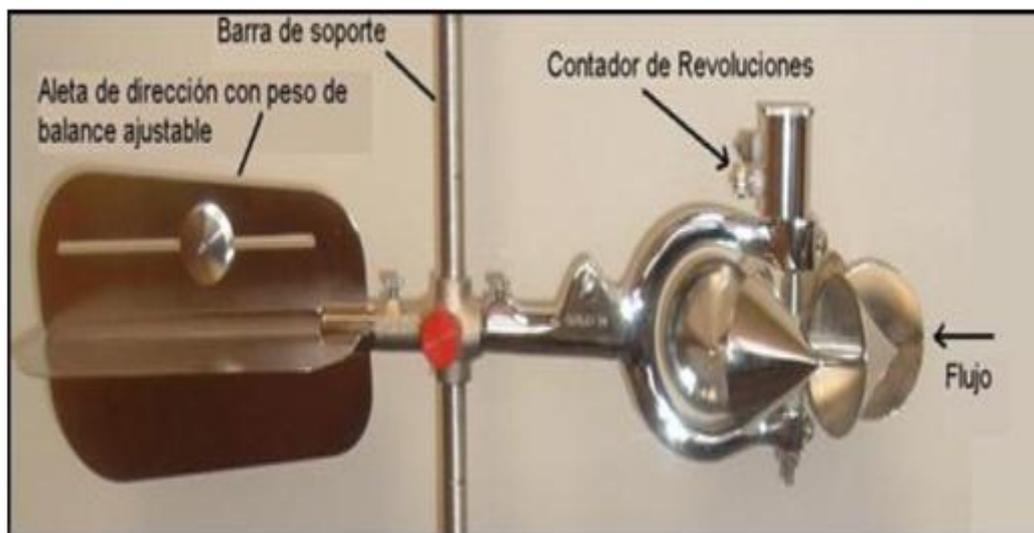


Figura 3. 5 Molinete Gurley 622 A
FUENTE: [12]

3.4.3 Medición Velocidad (contador digital o auditivo).

El molinete mide la velocidad (V) tomando en cuenta el número de revoluciones (n) que la canastilla gira alrededor de su propio eje; esta canastilla gira por la velocidad del agua en algún punto determinado donde se realiza la medición. Generalmente cada molinete presenta una ecuación de calibración para la transformación del número de revoluciones a la velocidad.

Por ejemplo:

Autor: Paul Fernando Urgilez Montero

Para n (revoluciones/s) $>0,8$:

$$V = 0,2517n + 0,014 \quad (2)$$

Para n (revoluciones/s) $<0,8$:

$$V = 0,2605n + 0,007 \quad (3)$$

3.4.4 Procedimiento para realizar el aforo con molinete.

Para determinar el caudal de agua que pasa por una sección transversal, se requiere conocer el caudal que pasa por cada una de las subsecciones en que se divide la sección transversal.

Si la profundidad del agua es menor a 75 cm, se asume que la velocidad obtenida en el 60% de la profundidad, es la velocidad promedio en un área rectangular parcial. Si la profundidad es mayor a 75 cm y menor a 3m, la velocidad promedio del área rectangular parcial corresponde al promedio de las velocidades obtenidas al 20% y al 80% y luego promediada con la profundidad del 60% (3 puntos). Finalmente si la profundidad es mayor a 3m se recomienda realizar el aforo por el método de 5 puntos, añadiendo la velocidad superficial y la del fondo (no aplica en la microcuenca del Tabacay).

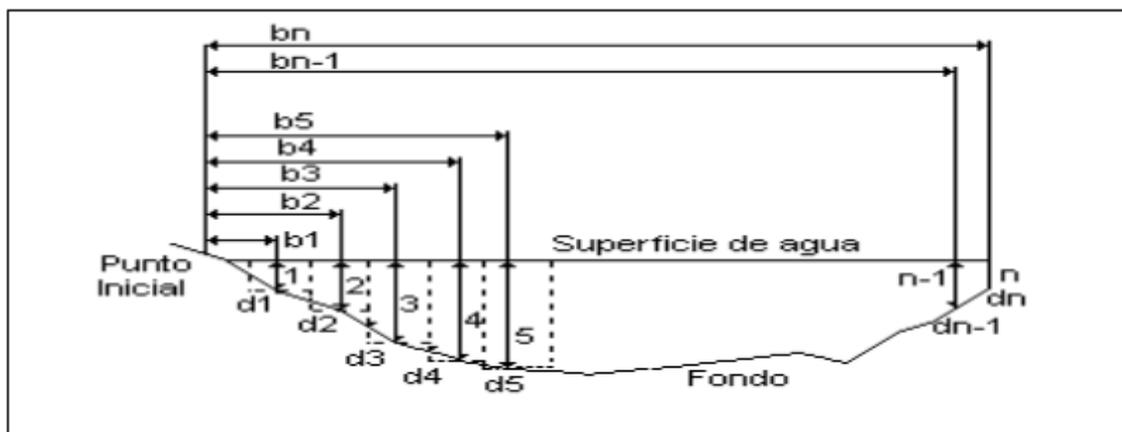


Figura 3.6 Discretización de la sección transversal del río
FUENTE: [13]

3.4.5 Perfil de velocidades según la profundidad

La profundidad en cada vertical se identifica con h y las mediciones se hacen en fracciones de la profundidad total, tomándolas desde la superficie hacia el fondo. Se recomienda tomar varias medidas de velocidad en el mismo punto.

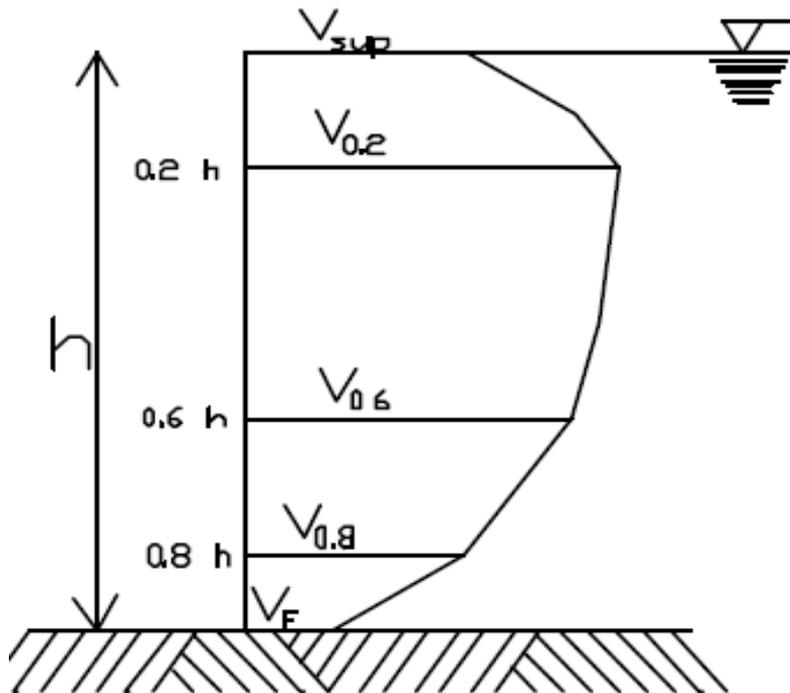


Figura 3.7 Perfil de velocidades según la profundidad
FUENTE: [14]

- Ecuaciones para determinar la velocidad media

Ecuación con 1 punto

$$V = V_{0,6} \quad (4)$$

Ecuación con 2 puntos

$$V_a = \frac{(V_{0,2} + V_{0,8})}{2} \quad (5)$$

Ecuación con 3 puntos

$$V = \frac{(V_a + V_{0,6})}{2} \quad (6)$$

3.4.6 Método del Flotador

Este método se utiliza cuando no se dispone de equipos de medición de la velocidad; usa un flotador con el cual se mide la velocidad superficial del agua; pudiendo emplearse como flotador, un pequeño pedazo de madera, corcho, o una pequeña botella lastrada.

Los valores de velocidad obtenidos por este método son aproximados, por lo tanto, requieren ser reajustados por medio de factores empíricos de corrección.

Para el cálculo del caudal se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = C.A.V \quad (7)$$

$$V = e/t \quad (8)$$

En donde:

C: Factor de corrección

V: Velocidad (m / s)

e: Espacio recorrido por el flotador (m)

t: Tiempo de recorrido del espacio «e» por el flotador (s)

A: Área de la sección transversal

Q: Caudal

Tipos de arroyo	Factor de conversión de velocidad ©	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

Tabla 3. 2 Factores de corrección de velocidad

FUENTE: [15]

3.5 Metodología para el cálculo del Índice de Calidad ICA

3.5.1 Definición.

El índice de calidad del Agua (ICA), se calcula de acuerdo a la ecuación 2.1, indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como número en porcentaje con respecto al agua pura; siendo un valor cercano al 100% un estado de excelentes condiciones del agua, con un valor cercano al 0% indicará agua de altamente contaminada.[16]

3.5.2 Desarrollo del Índice.

El ICA fue desarrollado de la siguiente manera: la primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua; la segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de manera que existiera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación, y luego formular modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales permitan con sus datos un correspondiente índices de calidad por parámetro (I_i).

Debido a que ciertos parámetros son más significativos en la influencia del uso de calidad del agua, se optó por introducir pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia. Finalmente se promedian todos los índices y se obtiene un valor del ICA para cada muestra de agua.

3.5.3 Parámetros. El número de parámetros que se consideran para determinar el ICA global son:

- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno
- ✓ Oxígeno Disuelto
- ✓ Coliformes Fecales
- ✓ Coliformes Totales
- ✓ Potencial de Hidrógeno
- ✓ Dureza Total
- ✓ Sólidos Disueltos
- ✓ Sólidos Suspendidos
- ✓ Cloruros
- ✓ Conductividad Eléctrica

- ✓ Alcalinidad
- ✓ Grasas y Aceites
- ✓ Nitrógeno de nitratos
- ✓ Nitrógeno amoniacal
- ✓ Fosfatos totales
- ✓ Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)
- ✓ Color
- ✓ Turbiedad

3.5.4 Ecuaciones. (Funciones de transformación)

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros, son funciones de transformación, mediante las cuales las unidades de expresión de cada parámetro, son convertidas en unidades de calidad de agua; es decir las unidades heterogéneas se transforman en unidades homogéneas.

Por ejemplo, para una DBO_5 de 10 mg/l medida en una muestra, su correspondiente ICA, se obtiene de la siguiente función de transformación (Figura 3.5).

$$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$$

En donde: (DBO) = Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l.

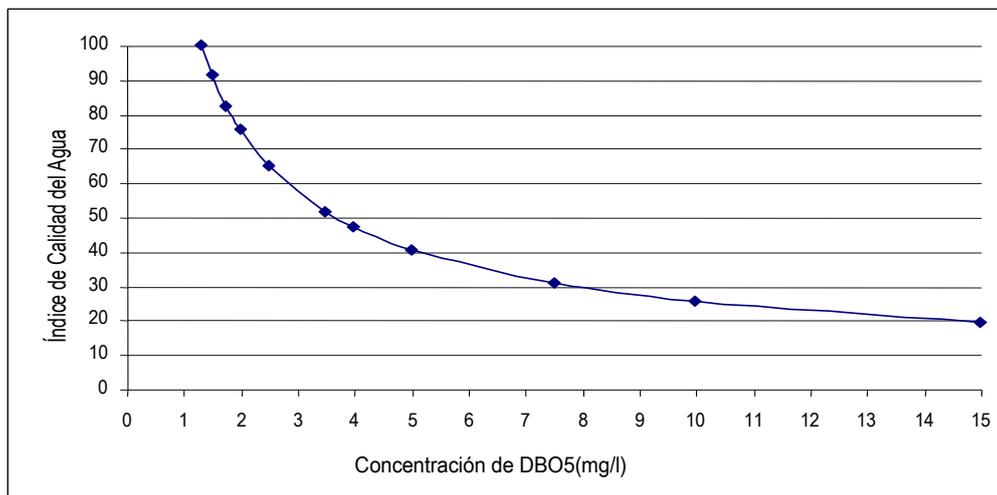


Figura 3.8 Función de transformación para la demanda bioquímica de Oxígeno
FUENTE: [6]

Su ICA individual será: 25 unidades de calidad.

(Lista de las funciones de transformación, y criterios de cálculo para los 18 parámetros. Anexo 2)

Además del ICA general, es posible calcular los valores del ICA para las categorías siguientes: materia orgánica, bacteriológico, material iónico, material en suspensión y nutrientes. Para la obtención de estos índices se utiliza la misma fórmula de ICA general (promedios ponderados), y los coeficientes correspondientes para cada parámetro. En la Tabla 3.4 se indica la agrupación de los parámetros de acuerdo a esta clasificación.

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	Materia orgánica
Conductividad Eléctrica	Material iónico	Coliformes Totales	Bacteriológico
Alcalinidad	Material iónico	Coliformes Fecales	Bacteriológico
Dureza Total	Material iónico	SAAM	Nutrientes

Tabla 3.3 Agrupación de parámetros para el ICA particulares

FUENTE: [6]

3.5.5 Coeficientes de Ponderación por Parámetro

La importancia relativa que se da a cada parámetro para determinar el Índice de Calidad del Agua Global se presenta en la Tabla 3.5

PARÁMETRO	IMPORTANCIA	PARÁMETRO	IMPORTANCIA
Ph	1.0	Nitrógeno 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	5.0
Conductividad Eléctrica	2.0	Coliformes Totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes Fecales	4.0
Dureza Total	1.0	SAAM	3.0

Tabla 3.4 Coeficientes de ponderación para el cálculo ICA

FUENTE: [6]

Como parte del modelo de cálculo del ICA, en el caso en los que no existe un dato, se considerará un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro al que corresponda en la evaluación del ICA.

3.5.6 Variables, unidades y métodos usados

Variable	Unidad	Método
Temperatura del agua	°C.	Termómetro
Color verdadero	U.C. (Pt-Co)	Espectrofotómetro
Turbiedad	U.N.T (FTU)	Turbidímetro
Sólidos suspendidos totales	mg/l	Gravimétrico
Sólidos disueltos totales	mg/l	Gravimétrico
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	Diluciones sucesivas
% de Saturación de oxígeno	mg/l	Visto en Tabla de referencia
Oxígeno disuelto	mg/l	mg/l
Ph	Unidades de pH	Potenciométrico

Conductividad eléctrica	Us/cm	Conductimétrico
Alcalinidad total	mg/l, CaCO ₃	Titulométrico
Dureza total	mg/l, CaCO ₃	Titulométrico
Nitrógeno Amoniacal	mg/l, N	Colorimétrico
Nitratos	mg/l, NO ₃ ⁻	Colorimétrico
Fosfatos	mg/l, PO ₄ ⁻³	Colorimétrico
Coliformes totales	NMP/100 ml	Tubos múltiples
Coliformes fecales (E. coli)	NMP/100 ml	Tubos múltiples
Cloruros	mg/l	Argentimétrico

Tabla 3. 5. Variables fisicoquímicas, biológicas y métodos de análisis
FUENTE: El Autor

3.5.7 Evaluación del ICA

La Tabla 3.10 muestra el rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general y los colores asignados en cada caso.

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

Tabla 3.6 Rango de clasificación del ICA según criterio general
FUENTE: [6]

3.5.8 Asignación de los Usos

La Tabla 3.11 presenta la escala de clasificación del índice de calidad del agua considerando un criterio general y los distintos usos que se atribuyen al recurso.

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100		No requiere			No requiere
90	No contaminado	Purificación	Aceptable para cualquier deporte	Aceptable para todos los Organismos	Purificación
80	Aceptable	Ligera Purificación	Acuático		Ligera Purificación para algunos procesos
70	Poco	Mayor Necesidad de	Aceptable no	Aceptable excepto especies muy	Sin tratamiento
60	Contaminado	Tratamiento	Recomendable	Dudoso para especies sensibles	para industria normal
50	Contaminado	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
40			Sin contacto con el agua		
30	Altamente	No	Señal de contaminación	No	Uso muy restringido
20	Contaminado	Aceptable		Aceptable	
10			No Aceptable		No Aceptable

Tabla 3. 7 Clasificación del índice de calidad del agua según criterio general
FUENTE: [6]

3.6 Metodología para la caracterización química de los sedimentos

3.6.1 Procedimiento.

Se recolectan muestras representativas del sedimento en cada estación, y mediante pruebas gravimétricas se establece la composición de los mismos; para esto es necesario primero desecar la muestra a 100°C., y luego diferenciar el contenido orgánico de la materia inorgánica, mediante calcinación de la muestra a 550°C.

En la fotografía 3.8, se muestra las cápsulas con las muestras calcinadas, tomadas en las estaciones de monitoreo.



Figura 3.9 Muestras de sedimentos calcinados en el orden de las estaciones
FUENTE: El Autor

3.7 Metodología para la clasificación del suelo

3.7.1 Preparación de la muestra y tamizado

Se deseca la muestra a 100°C. durante 24 horas para eliminar la humedad; luego el material seco se hace pasar por la serie de tamices (para gruesos y finos) siguiendo la normativa de la AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials), que permite establecer la granulometría de las partículas.

El procedimiento efectuado demostró la ausencia de finos (material que pasa el tamiz # 200), y por lo tanto ya no se requieren parámetros adicionales de caracterización del suelo, como: límite líquido, índice plástico, y otros.

3.7.2 Clasificación del suelo, según el método del Sistema Unificado de Clasificación

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje conciso para expresar las características generales de los suelos, las cuales son infinitamente variadas sin una descripción detallada. [17]

Mediante la determinación de los coeficientes de uniformidad y curvatura, se establece el grupo de material al que pertenece la muestra analizada.

3.8 Ecuaciones para determinar transporte de fondo.

Desde que du Boys (1879) presentó la primera ecuación para el cálculo del transporte de fondo hasta nuestros días han aparecido un amplio número de fórmulas, basadas en cuatro enfoques, según hayan utilizado:

- La tensión de arrastre sobre el lecho del río
- El caudal
- Una función estocástica para el movimiento
- La potencia hidráulica

Se han desarrollado varias ecuaciones para transporte de fondo de lecho, las cuales fueron adaptadas para condiciones particulares como: escenarios definidos de laboratorio, cauces anchos y de llanura, rangos limitados de pendiente o caudal, entre otras. [18]

Para la microcuenca de estudio se presentó un mejor ajuste con el método de Schoklitsch, quien se enfoca en el gasto de la corriente y el gasto que inicia el arrastre del sedimento, denominado gasto crítico. Basado en experimentos realizados en laboratorio y en mediciones en ríos, el método para predecir el arrastre unitario en la capa de fondo queda expresada por la siguiente ecuación:[19]

$$g_B = 2500 S^{3/2} (q - q_c) \quad (9)$$

Donde q y q_c son respectivamente el gasto unitario líquido del río, y el gasto unitario crítico para el cual se inicia el movimiento de las partículas, en $m^3/s.m$; S es la pendiente hidráulica y g_B el arrastre unitario en la capa de fondo, en $kgf/s.m$.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

ICA DEL RÍO TABACAY

ESTACIÓN	FECHA DE MONITOREO								PROMEDIO
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
FECHA:	06/01/2016	29/06/2016	03/08/2016	25/08/2016	21/09/2016	28/09/2016	05/10/2016	19/10/2016	
TIPO DE CAUDAL	Bajo	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Bajo	
Captación Concor Yacu	74,87	73,81	78,60	76,10	72,35	70,73	73,90	76,61	74,62
Rubies	66,93	66,24	67,90	67,83	67,95	65,98	66,68	59,41	65,96
Iglesia de San Antonio	60,26	59,78	65,70	66,89	69,25	65,99	65,69	60,82	65,72
Puente antes Quebrada Mahuarcay	63,34	61,46	67,10	66,71	68,80	63,87	62,94	62,66	65,35
Despues de Quebrada Mahuarcay	67,65	59,30	65,09	65,43	63,62	63,01	64,27	59,25	63,45
Poblacion LEG Tabacay	55,90	58,48	65,21	60,23	60,83	59,07	60,98	55,23	60,26
Puente Sucre	47,03	53,51	57,56	56,27	56,89	50,59	50,31	49,23	52,67

Tabla 4.1 Clasificación de Muestreos por caudales

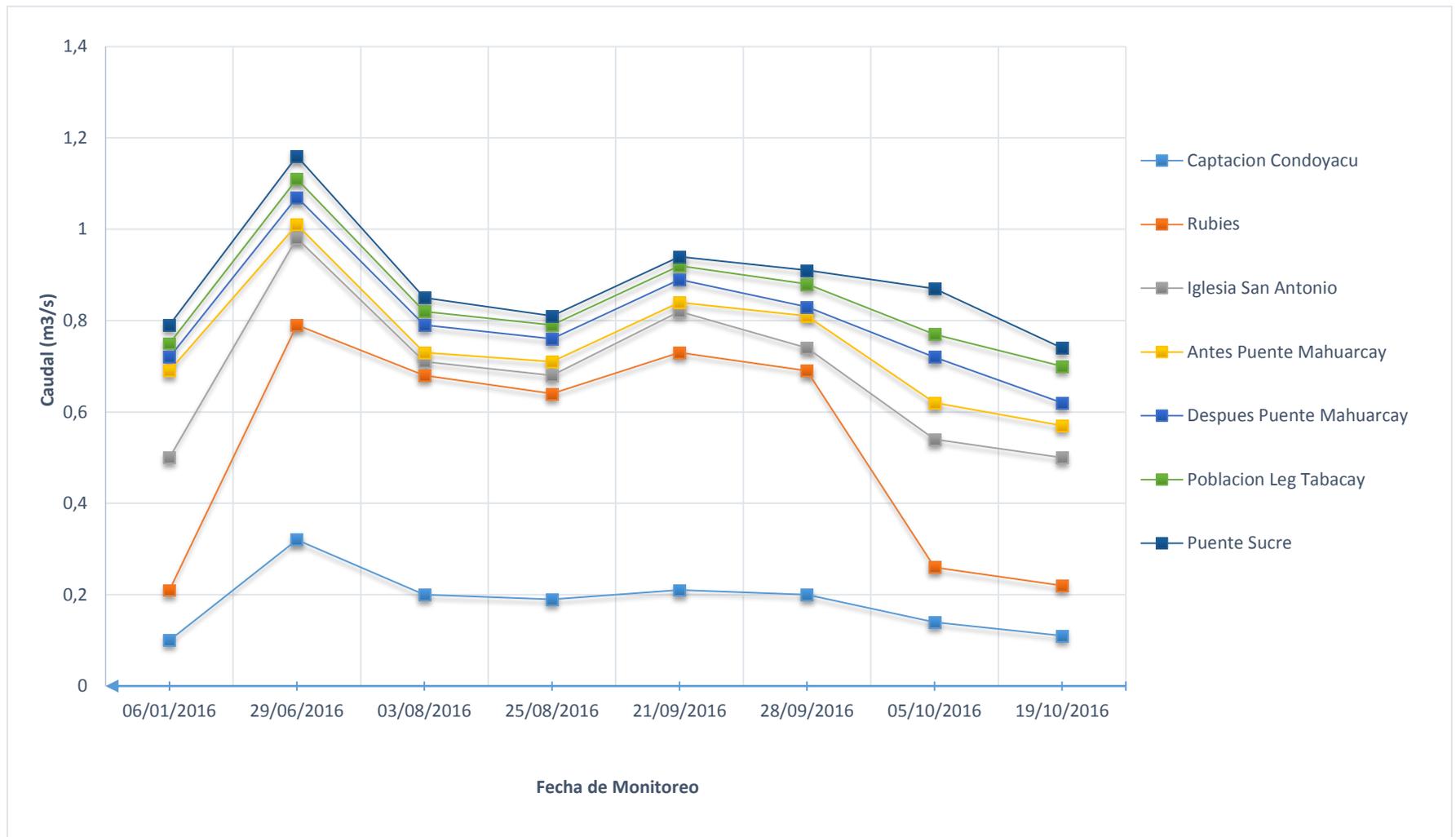


Figura 4. 1: Evolución del Caudal en el periodo de estudio



ESTACIÓN	FECHA DE MONITOREO								PROMEDIO
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
FECHA:	06/01/2016	29/06/2016	03/08/2016	25/08/2016	21/09/2016	28/09/2016	05/10/2016	19/10/2016	
TIPO DE CAUDAL	Bajo	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Bajo	
Captación Concoryacu	74.87	73.81	78.60	76.10	72.35	70.73	73.90	76.61	74.62
Rubies	66.93	66.24	67.90	67.83	67.95	65.98	66.68	59.41	65.96
Iglesia de San Antonio	60.02	59.78	65.70	66.89	69.25	65.99	65.69	60.82	65.72
Puente antes Quebrada Mahuarcay	62.26	61.46	67.10	66.71	68.80	63.87	62.94	62.66	65.35
Después de Quebrada Mahuarcay	66.94	59.30	65.09	65.43	63.62	63.01	64.27	59.25	63.45
Población LEG Tabacay	54.90	58.48	65.21	60.23	60.83	59.07	60.98	55.23	60.26
Puente Sucre	45.86	53.51	57.56	56.27	56.89	50.59	50.31	49.23	52.53

Tabla 4.2 Valor del ICA para el río Tabacay en el período de estudio

CRITERIO GENERAL ICA POR MUESTREO								
ESTACIÓN	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
FECHA:	06/01/2016	29/06/2016	03/08/2016	25/08/2016	21/09/2016	28/09/2016	05/10/2016	19/10/2016
Captación Concor Yacu	ACEPTABLE							
Rubies	POCO CONTAMINADO							
Iglesia de San Antonio	POCO CONTAMINADO							
Puente antes Quebrada Mahuarcay	POCO CONTAMINADO							
Después de Quebrada Mahuarcay	POCO CONTAMINADO							
Población LEG Tabacay	POCO CONTAMINADO							
Puente Sucre	CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	POCO CONTAMINADO	CONTAMINADO

Tabla 4.3 Criterio general del ICA, en el período de estudio.

CRITERIOS DE LOS USOS DEL AGUA EN CAUDAL ALTO							
Muestras	M3	M4	PROMEDIO DE MUESTRAS	CRITERIO DE ABASTECIMIENTO PUBLICO PARA CAUDAL ALTO	CRITERIO DE RECREACION PARA CAUDAL ALTO	CRITERIO DE PESCA Y VIDA ACUATICA PARA CAUDAL ALTO	CRITERIO INDUSTRIAL Y AGRICOLA PARA CAUDAL ALTO
Fecha	03/08/2016	25/08/2016					
Captación Concor Yacu	73.81	72.35	73.08	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS
Rubies	66.24	67.95	67.09	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Iglesia de San Antonio	59.78	69.25	64.51	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Antes Quebrada Mahuarcay	61.46	68.80	65.13	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Despues Quebrada Mahuarcay	59.30	63.62	61.46	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Poblacion LEG Tabacay	58.48	60.83	59.65	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Puente Sucre	53.51	56.89	55.20	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL

Tabla 4.4 Criterios de los usos del agua para caudal alto



CRITERIOS DE LOS USOS DEL AGUA EN CAUDAL MEDIO									
Muestras	M3	M4	M6	M7	PROMEDIO DE MUESTRAS	CRITERIO DE ABASTECIMIENTO PUBLICO PARA CAUDAL MEDIO	CRITERIO DE RECREACION PARA CAUDAL MEDIO	CRITERIO DE PESCA Y VIDA ACUATICA PARA CAUDAL MEDIO	CRITERIO INDUSTRIAL Y AGRICOLA PARA CAUDAL MEDIO
Fecha	03/08/2016	25/08/2016	28/09/2016	05/10/2016					
Captación Concor Yacu	78.60	76.10	70.73	73.90	74.83	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS
Rubies	67.90	67.83	65.98	66.68	67.10	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Iglesia de San Antonio	65.70	66.89	65.99	65.69	66.07	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Antes Quebrada Mahuarcay	67.10	66.71	63.87	62.94	65.15	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Despues Quebrada Mahuarcay	65.09	65.43	63.01	64.27	64.45	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Poblacion LEG Tabacay	65.21	60.23	59.07	60.98	61.37	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Puente Sucre	57.56	56.27	50.59	50.31	53.68	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	DUOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL

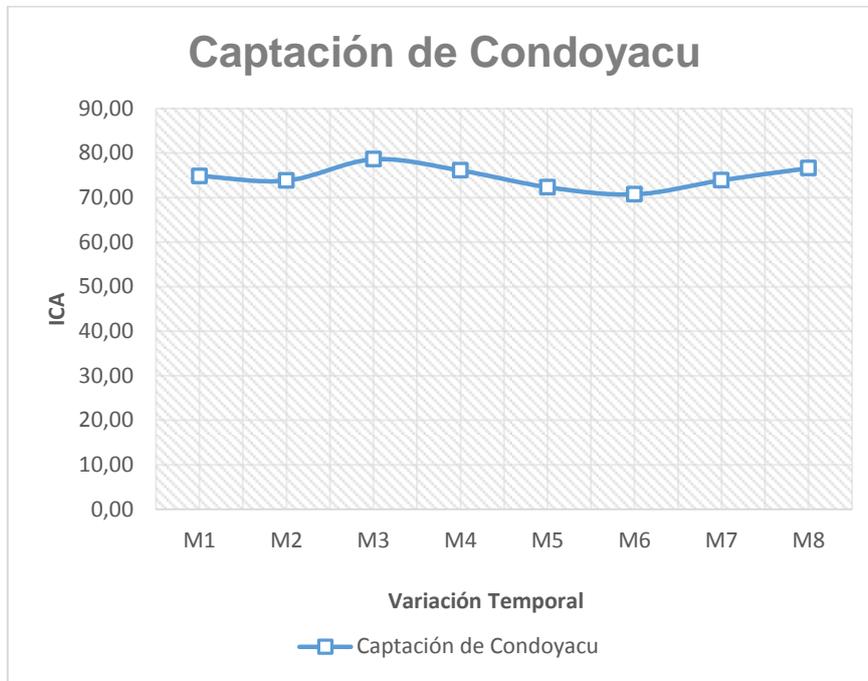
Tabla 4.5 Criterios de los usos del agua para caudal medio

CRITERIOS DE LOS USOS DEL AGUA EN CAUDAL BAJO							
Muestras	M3	M4	PROMEDIO DE MUESTRAS	CRITERIO DE ABASTECIMIENTO PUBLICO PARA CAUDAL BAJO	CRITERIO DE RECREACION PARA CAUDAL BAJO	CRITERIO DE PESCA Y VIDA ACUATICA PARA CAUDAL BAJO	CRITERIO INDUSTRIAL Y AGRICOLA PARA CAUDAL BAJO
Fecha	03/08/2016	25/08/2016					
Captación Concor Yacu	74.87	76.61	75.74	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS
Rubies	66.93	59.41	63.17	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Iglesia de San Antonio	60.26	60.82	60.54	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Antes Quebrada Mahuarcay	63.34	62.66	63.00	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Despues Quebrada Mahuarcay	67.65	59.25	63.45	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Poblacion LEG Tabacay	55.90	55.23	55.57	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
Puente Sucre	47.03	49.23	48.13	DUDOSO	DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA

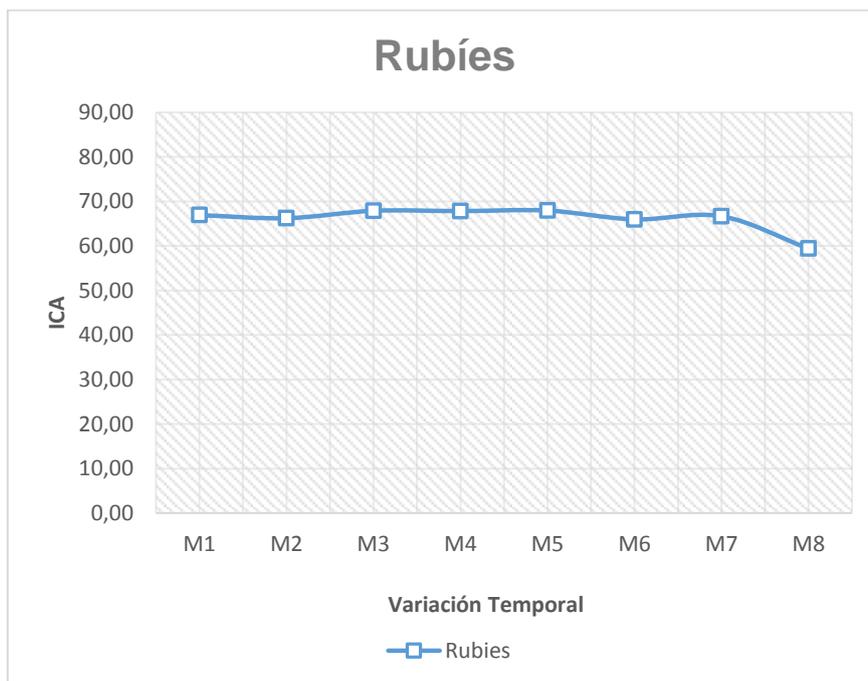
Tabla 4.6 Criterios de los usos del agua para caudal bajo

Figura 4.2 Variación temporal de la calidad del agua en cada estación

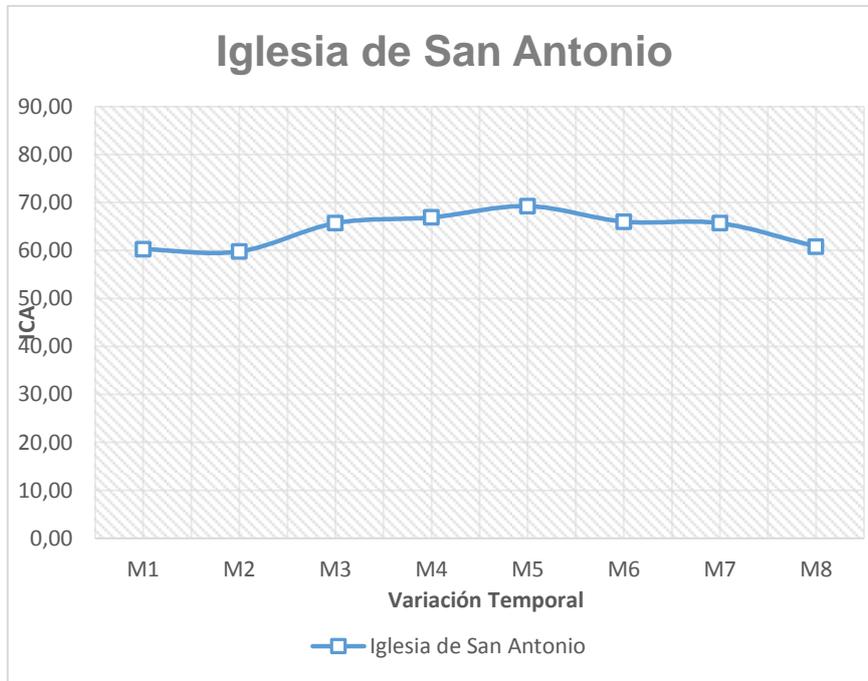
Estación 1:



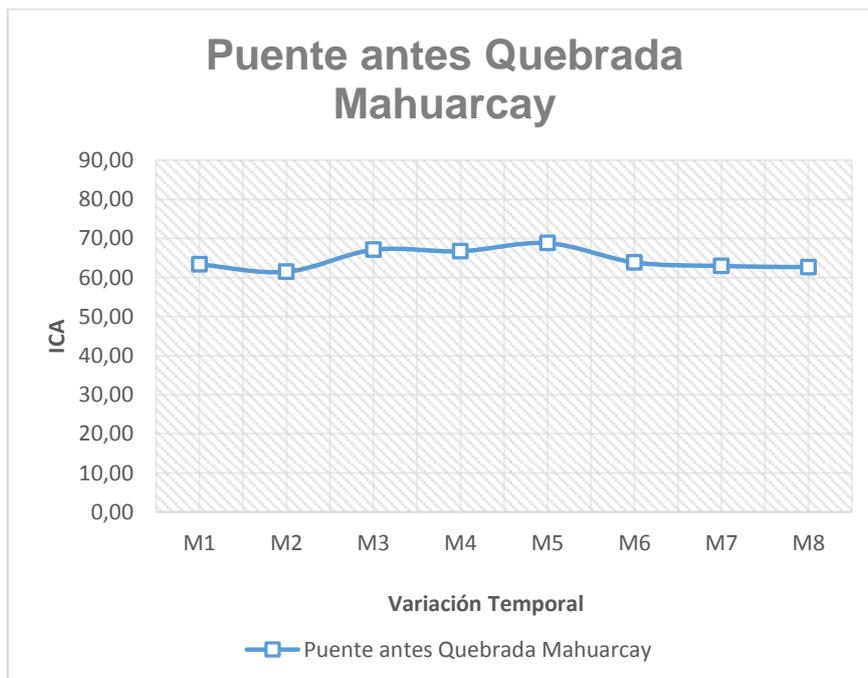
Estación 2:



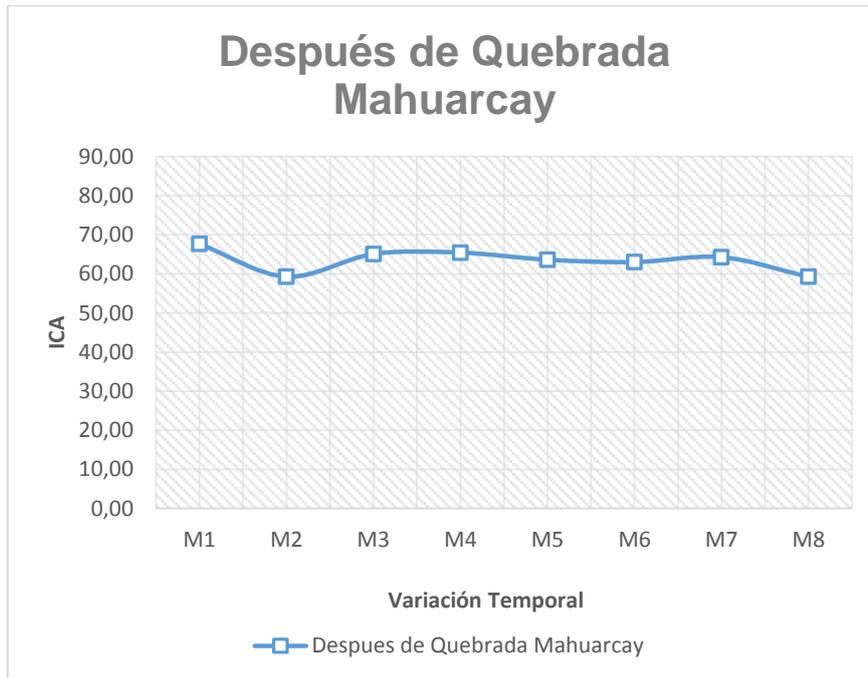
Estación 3



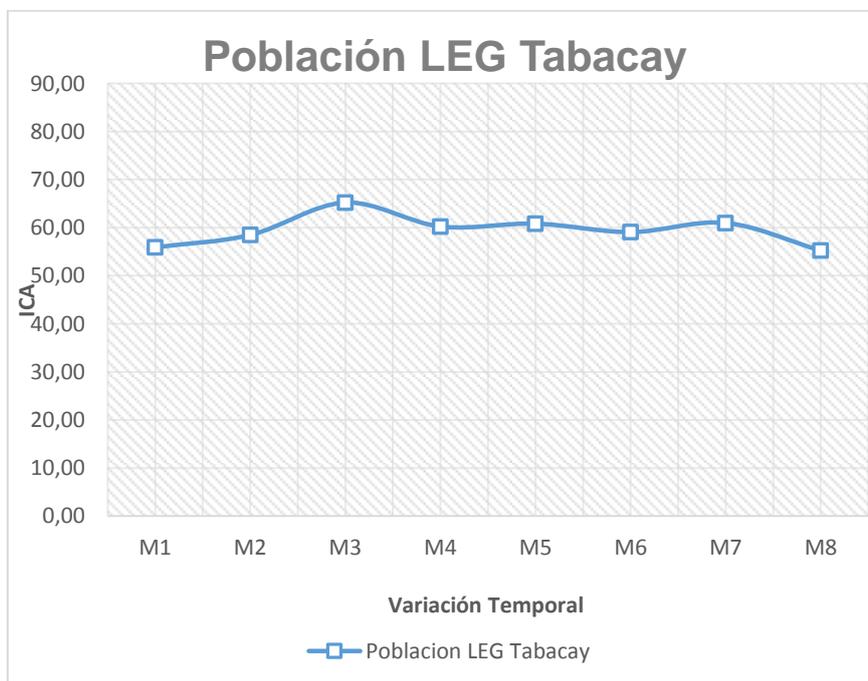
Estación 4



Estación 5



Estación 6



Estación 7

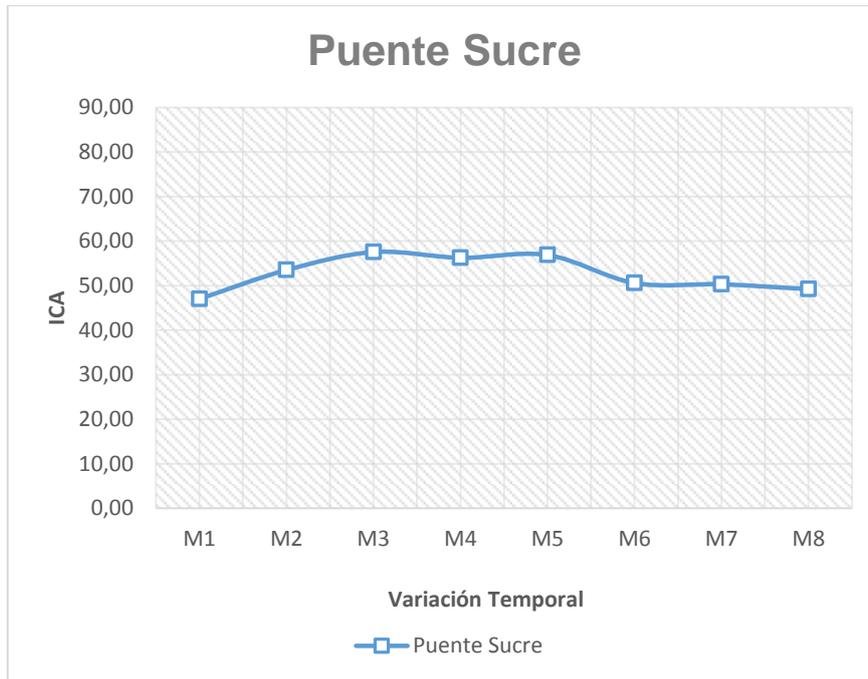


Figura 4.3 Variación Espacial de la calidad del agua en caudal alto, medio y bajo

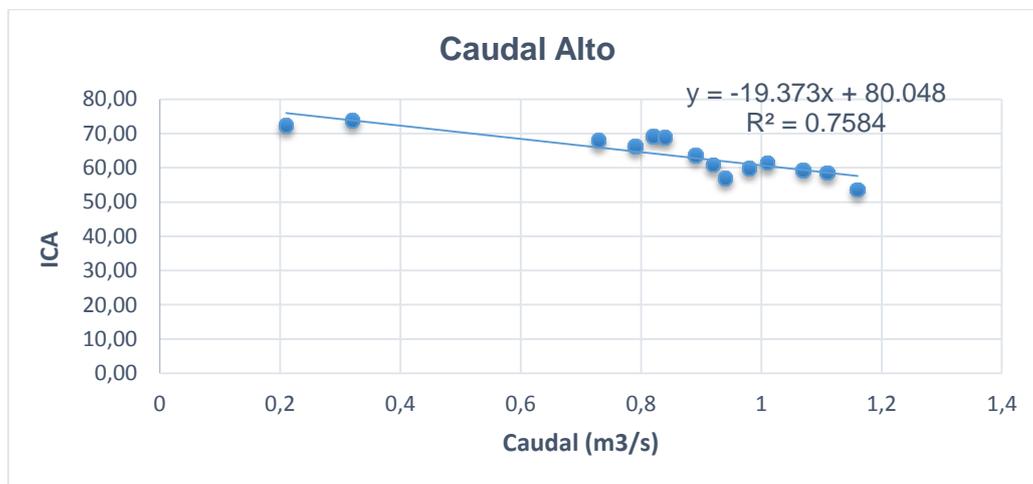
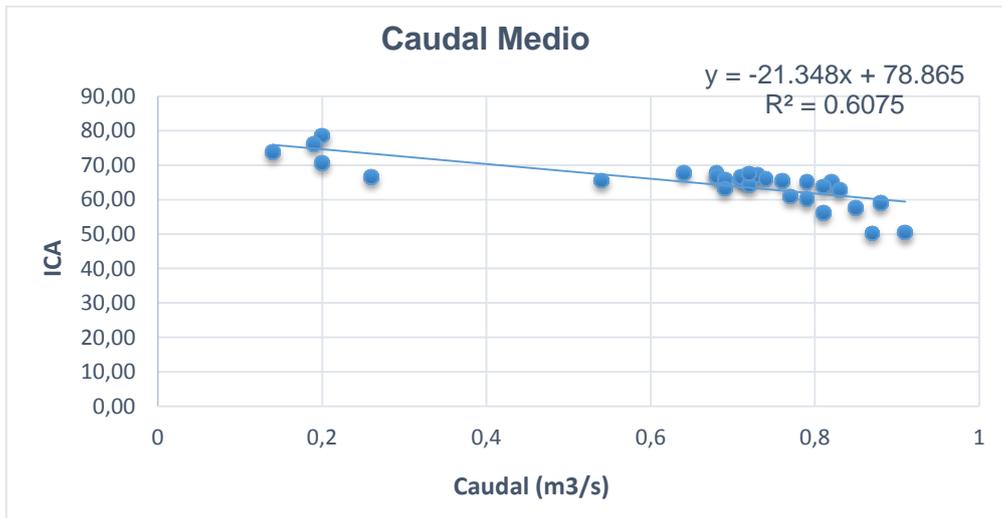
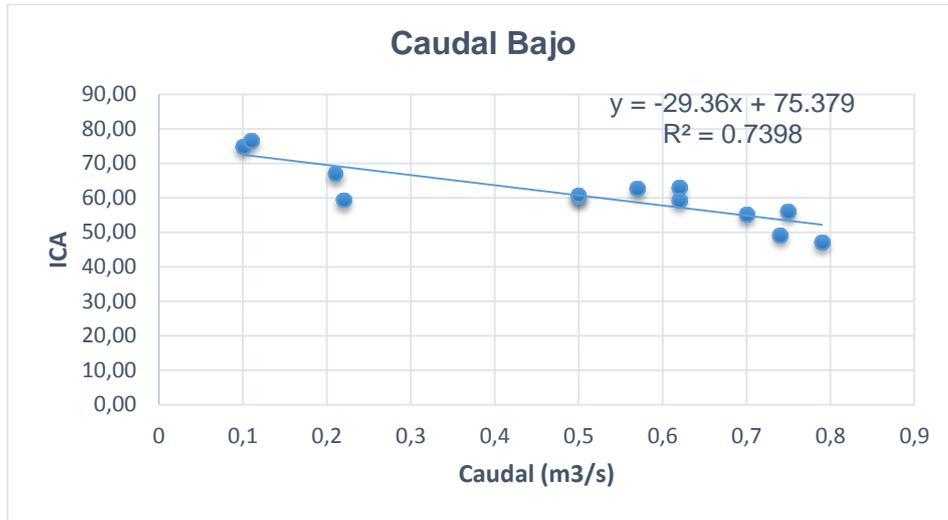
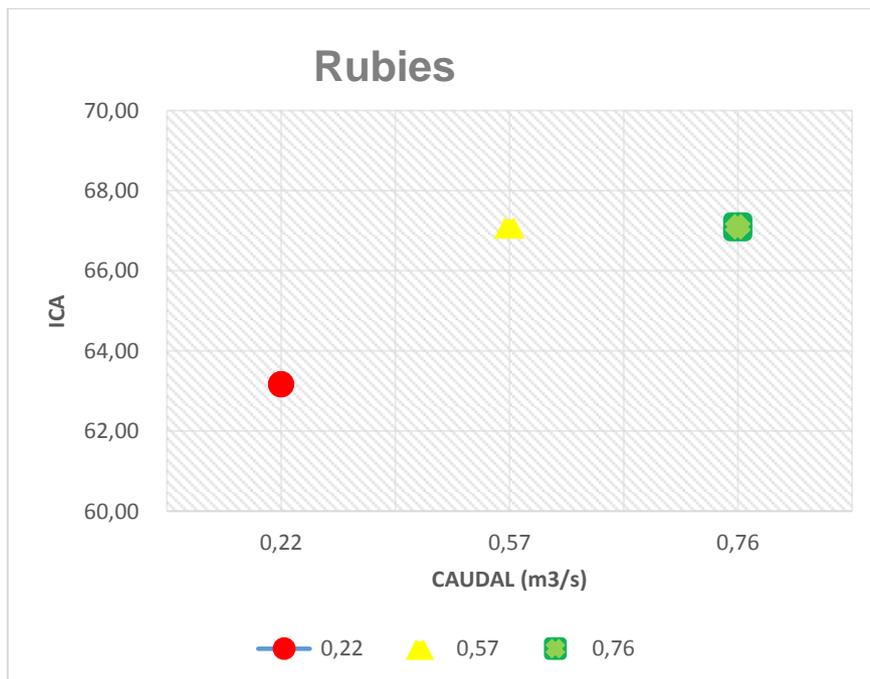
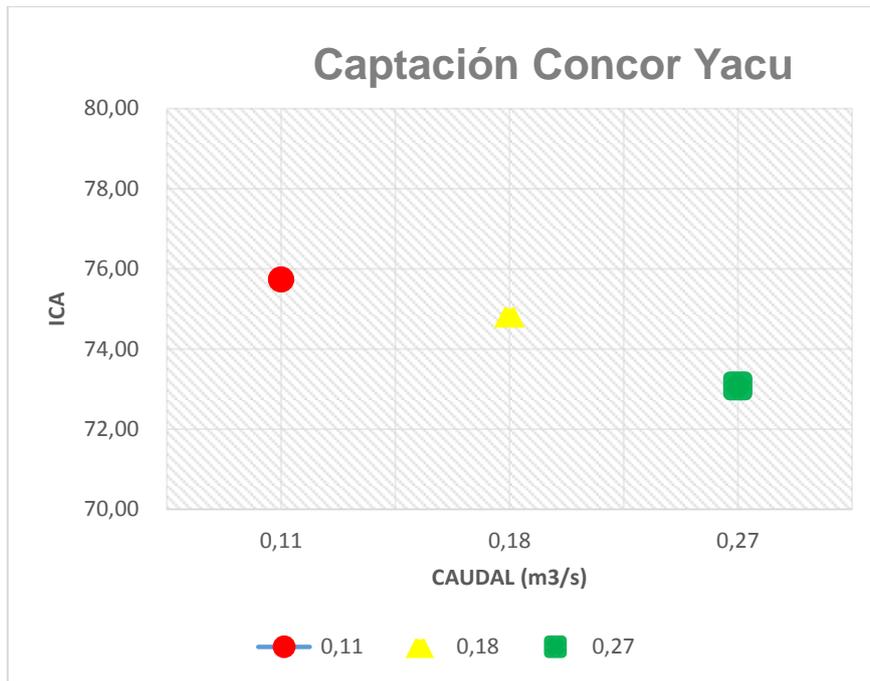
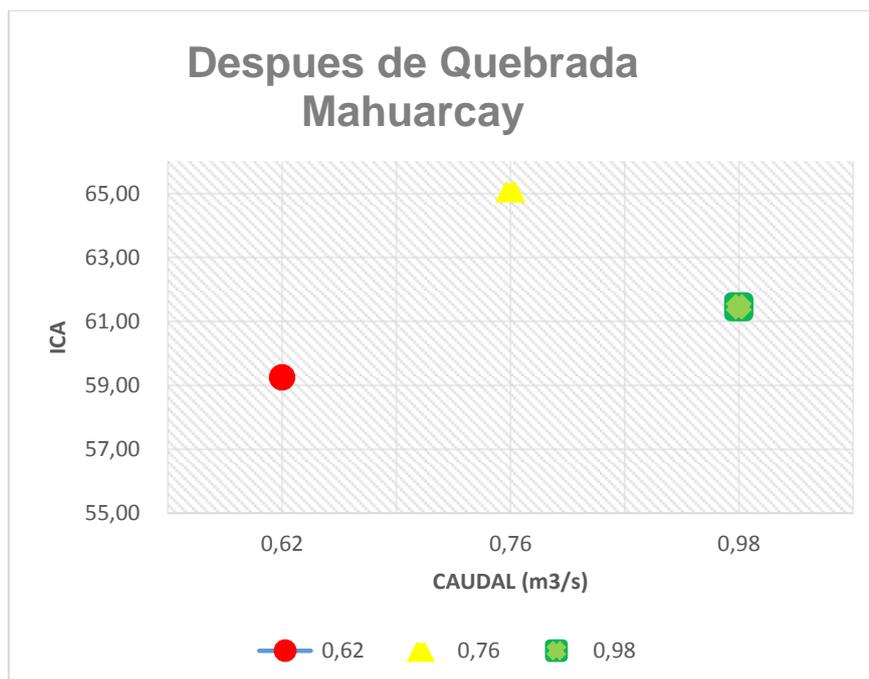
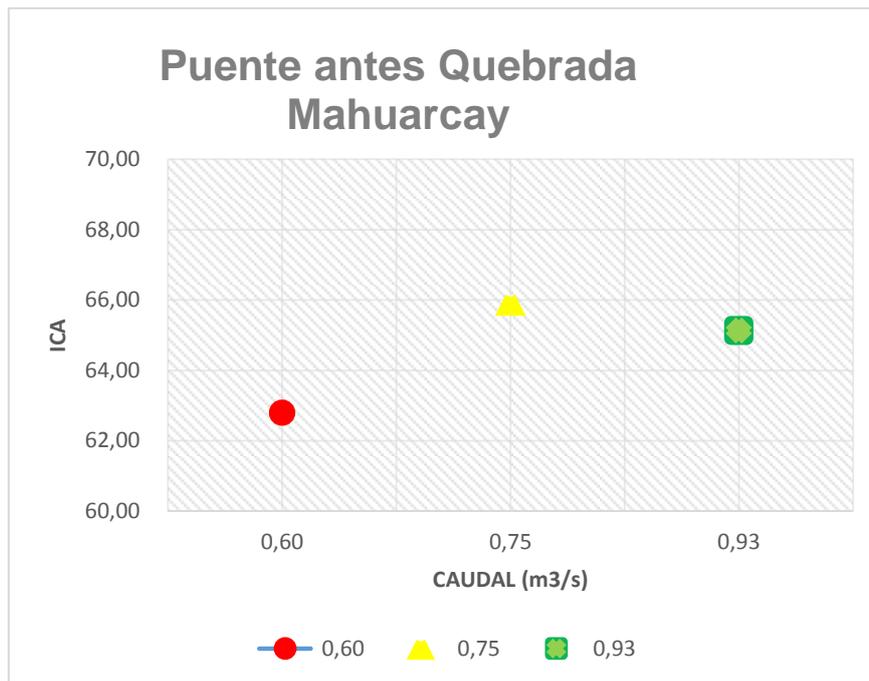
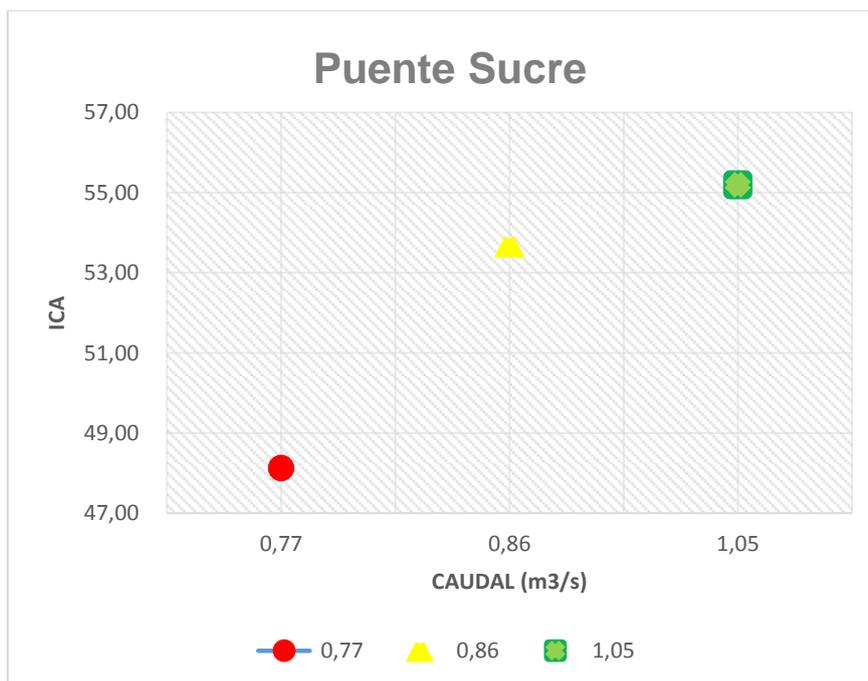
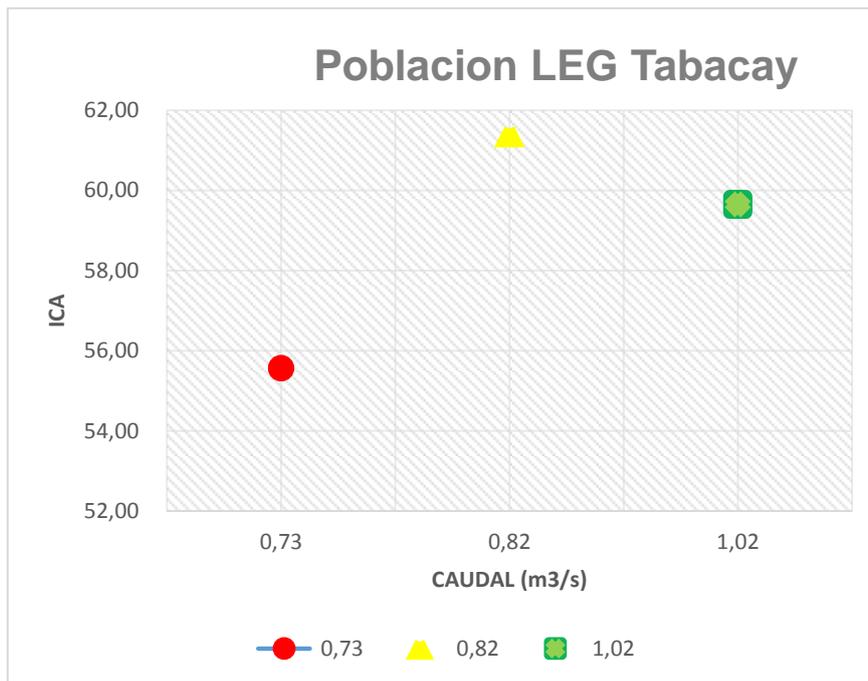


Figura 4.4 Calidad del agua por el caudal (bajo, medio, alto) en cada estación







ESTACIÓN	% SÓLIDOS ORGÁNICOS	% SÓLIDOS INORGÁNICOS
1.	3,34	96,66
2.	1,52	98,48
3.	2,21	97,79
4.	2,74	97,26
5.	2,64	97,36
6.	2,30	97,70
7.	2,03	97,97

Tabla 4.7 Caracterización de los sedimentos en la microcuenca del río Tabacay

FUENTE: *El Autor*

MUESTRA	Q (m3/seg)	Y (m)	Velocidad de corte (m/s)	Esfuerzo Cortante medio (Pa)	Parámetro de Shields	Número de Reynolds	Tasa Calculada (kg/seg-m)
							Schoklitsch (1950)
1	0.110	0.140	0.319	101.449	1.799	1506.926	2.37
2	0.220	0.170	0.368	134.841	0.584	518.676	2.26
3	0.500	0.240	0.291	84.606	20.400	174.920	3.71
4	0.570	0.300	0.316	99.882	11.741	306.631	3.19
5	0.620	0.200	0.331	109.478	12.624	404.512	5.85
6	0.700	0.210	0.282	79.582	6.720	458.252	5.12
7	0.740	0.210	0.288	82.873	6.782	502.871	4.44

Tabla 4.8 Tasa de transportes de fondo para cada estación de monitoreo

FUENTE: El Autor



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

De los resultados obtenidos en el período de evaluación de la microcuenca del río Tabacay, los aspectos más significativos, pueden resumirse en los siguientes:

1. Períodos climatológicos. Se han realizado ocho campañas de monitoreo, en diferentes períodos estacionales, los cuales clasificados estadísticamente, dos, corresponden al período de invierno; cuatro a períodos de caudal intermedio, y dos a tiempo de estiaje; esto significa que el período de evaluación es significativo para establecer una correlación adecuada entre el caudal y la calidad del agua.

2. Caudales. Los caudales mínimos corresponden a la primera estación, en la quebrada de Concoryacu; luego progresivamente al avanzar el curso del río, se van incorporando caudales procedentes de quebradas pequeñas, aguas residuales de comunidades menores, y otros afluentes, que van incrementando el caudal, hasta llegar a valores máximos en la última estación (Puente Sucre).

Los caudales varían desde 0,1 hasta 1,16 m³/s

3. Índice de calidad ICA. El índice de calidad del agua, que es la recopilación de 16 datos de calidad en cada estación de monitoreo, presenta la siguiente variación:

3.1 En la primera estación (Quebrada Concoryacu), la calidad del agua es catalogada como “**aceptable**”, debido a que se trata de una zona con poca intervención humana, escasa actividad agrícola, y casi ninguna actividad ganadera. Esta calidad de agua permite el desarrollo de vida acuática como peces. El ICA promedio es de 74,62

3.2 En la estación Rubíes, la calidad desciende drásticamente, el ICA promedio es de 65,96; significa que hay una disminución de 8,66 puntos en la calidad, y esto fundamentalmente debido a que se trata de una



zona con actividad minera, donde se hace explotación de áridos para la Empresa Cementera Guapán, que afecta sobre todo la calidad física por la presencia de sólidos suspendidos. Este nivel de ICA, la cataloga como agua **“poco contaminada”**.

3.3 En la Estación Iglesia de San Antonio, la calidad es semejante a la estación anterior, el ICA promedio es de 65,72 puntos, hay un descenso en la calidad de apenas 0,21 puntos. Por lo tanto en este tramo, no hay actividad alguna que incida en la calidad. La estación está catalogada como **“poco contaminada”**.

3.4 En la Estación Puente antes de la Quebrada Mahuarca, el promedio del ICA es de 65,35 puntos, con respecto a la estación anterior la calidad disminuye sólo 0,37 puntos, lo que significa que como en el caso anterior, no hay actividades que impacten en la calidad, y el agua está clasificada como **“poco contaminada”**.

3.5 En la estación Puente después de la Quebrada Mahuarca, el ICA promedio es de 63,45 puntos, ya la calidad desciende 1,9 puntos; la quebrada aporta contaminación, debido a la presencia de población humana que genera aguas residuales domésticas, actividad agrícola, y alguna actividad ganadera. La calidad sigue siendo **“poco contaminada”**.

3.6 En la estación Población LEG Tabacay, el ICA promedio es 60,96; hay un descenso de 3,19 puntos con respecto a la estación anterior, y esto debido a la presencia de población en mayor escala; no obstante la calidad continúa como **“poco contaminada”**.

3.7 Finalmente la estación Puente Sucre, que se ubica aguas abajo de algunas poblaciones importantes como la Parroquia Guapán, la comunidad de Cachipamba, otras menores, y la industria Cementera CEMUN, tiene un ICA promedio de 52,53 puntos, presentando un fuerte descenso de 7,73 puntos; y aunque el agua todavía corresponda a una calidad de **“poco contaminada”**, está próxima a situarse en el nivel de **“contaminada”**; los agentes más influyentes en este deterioro, constituyen los efluentes de aguas residuales domésticas de las



poblaciones indicadas y también efluentes de la industria mencionada. Los parámetros que más afectan, corroboran lo manifestado: turbiedad, conductividad, pH, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína, etc, los cuales se incrementan drásticamente con respecto a los valores obtenidos en la estación anterior. Además este comportamiento se observa en todas las campañas de monitoreo, independientemente del caudal.

3.8 En conclusión, respecto al ICA, en la subcuenca del Río Tabacay, en el tramo analizado de aproximadamente 9,25 km. de longitud y muy representativo del cuerpo receptor, la calidad desde un punto de vista práctico, presenta 3 niveles: aceptable en la cabecera, poco contaminada en la parte media; y contaminada en la parte baja.

4. Influencia de la calidad del Río Tabacay en la calidad del Río Burgay.

En el año 2013, se hizo una evaluación de la calidad del río Burgay, con ocho estaciones de monitoreo, dos de los cuales se ubicaron antes y después del río Tabacay, por constituir éste un afluente importante del río Burgay.

Un análisis representativo de lo expuesto, es el realizado el 7 de noviembre de 2013, y que se exhibe líneas abajo, en la Tabla 5.1

Los parámetros marcados con sombra quizá son los mayores indicadores de esta afección.

4.1 La turbiedad de 204 NTU, afecta a la estética del río; y esto es debido a la presencia de sólidos suspendidos, muchos de los cuales pueden ser sedimentables, formando bancos de lodos que desalojan las especies nativas del lecho.

4.2 La conductividad de 1024 us/cm, es un valor muy alto para una fuente superficial, por lo cual su procedencia es antropogénica.

4.3 El pH del agua asciende por encima de 8,3, lo cual cambia la naturaleza de la alcalinidad; se generan nuevos compuestos químicos como: carbonato de calcio y de magnesio los cuales son poco solubles en el



agua y pueden precipitarse, afectando a la flora y fauna nativa, y por supuesto a los usos posteriores del agua.

4.4 Los cloruros se incrementan a 155 mg/l; estos pueden deberse a la presencia de aguas residuales domésticas, pero no en estos niveles; significa que el mayor aporte es de naturaleza industrial

4.5 Las Demandas de Oxígeno. La Bioquímica de 11,70 mg/l, puede tener origen en las descargas de aguas residuales domésticas no tratadas de las comunidades aledañas; pero la Demanda Química de 99,20 mg/l, ya data la presencia de agua de origen industrial.

4.6 Finalmente, la naturaleza de los sólidos tanto suspendidos como disueltos, es de origen inorgánico, confirmando el mismo origen.

5. En cuanto a los usos del agua. Si se analiza el uso más delicado que es el abastecimiento de agua, campo de desempeño del ingeniero civil, se observa:

5.1 En caudal medio y alto, ya se requiere *“mayor necesidad de tratamiento”*, en todas las estaciones y esto significa más costos en la potabilización, mayor tecnología, y por lo tanto operaciones de control y mantenimiento más complejas.

5.2 En caudal bajo, la calidad para este uso es *“dudosa”*, en la estación Puente Sucre, significa que deberá buscarse otra fuente, o simplemente incurrir en procesos de tratamiento no aplicables a nuestro medio.

5.3 Para los otros usos: recreativo, pesca y vida acuática, industrial-agrícola, hay una relación entre el caudal y la calidad para los usos; por ejemplo: en caudal bajo, para fines recreativos, la estación Puente Sucre, ya está catalogada como *“dudosa para contacto secundario”*; para mantenimiento de la vida acuática, es un medio *“sólo para organismos resistentes”*; y para uso industrial y agrícola, ya requiere *“mayor tratamiento para la mayor parte de la industria”*.

En definitiva, de acuerdo al caudal, la calidad se ve más afectada en estiaje (caudal bajo), período climatológico en donde parámetros como: la materia



orgánica, los coliformes, la composición mineral del agua, se incrementan; y otros como el oxígeno disuelto, disminuyen, afectando la calidad del agua.

En caudal medio y alto, la calidad es semejante, siendo algo superior en caudal alto, debido a una mayor dilución de la fuente, que disminuye la salinidad, y aumenta el oxígeno disuelto; pero en cambio, parámetros de estética como el color y la turbiedad se incrementan.

Como conclusión, el período climatológico que mantiene una calidad acorde a la mayoría de los usos, es el medio que va de 0,2 hasta 0,9 m³/s, y es el que predomina la mayor parte del tiempo.

- 6. Variación espacial de la calidad del agua.** Si se observan las gráficas de relación de caudal con la calidad del agua en la figura 4.3, para todos los períodos estacionales, a medida que aumenta el caudal, disminuye la calidad, porque a medida que avanza el curso hay factores que aportan contaminación; pero este efecto es más pronunciado en período de estiaje, en donde la recta, tiene mayor pendiente: - 21,34.
- 7. Variación temporal de la calidad del agua.** Todas las estaciones presentan una variabilidad en cuanto a la calidad, de 7 a 10 puntos, la mayor variabilidad se presenta en la última estación, en el Puente Sucre, que es también la más contaminada. Esta información es importante para las estaciones en donde el recurso es usado como fuente de abastecimiento; así, si la calidad en esa estación es muy dependiente del período climático, entonces tomar precauciones en el proceso de potabilización, como: dosis de coagulantes, dosis de desinfectantes, períodos de retención, etc, particularmente crítico, en estiaje.
- 8. Caracterización química de los sedimentos.** En las siete estaciones, se observa que la fracción inorgánica es predominante, se trata de sólidos suficientemente pesados para conformar bancos de lodos de distintas granulometrías.



El bajo contenido orgánico en general ($< 3,34\%$), significa que no son sedimentos putrescibles; el mayor porcentaje se encuentra en la primera estación donde la calidad del agua permite casi todos los usos, y por lo tanto la materia orgánica sirve como sustento para las especies que se desarrollan, entre ellos peces. En la segunda estación en cambio, esta concentración es la más baja, significando que debido a la explotación minera que ahí se realiza, las condiciones para la vida de los microbentos son más difíciles; finalmente las estaciones siguientes recuperan algo la materia orgánica, para volver a descender en la última estación Puente Sucre.

9. Clasificación del suelo en las 7 estaciones de monitoreo

Según el SUC (Sistema Unificado de Clasificación) en base a las granulometrías en los puntos de monitoreo se obtiene:

En la Estación 1 un suelo GW (Grava bien graduada, con mezclas de grava y arena, poco o ningún fino) con amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos.

La Estación 4 presenta un SW (Arena bien graduada, con presencia de grava, poco o ningún fino) Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos.

Para las demás Estaciones 2, 3, 5, 6, 7 predomina un SP (Arena mal graduada con presencia de grava) con un tamaño o serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios.

10. Análisis de resultados de las cargas de sedimentos

Se puede observar que en base al número de Reynolds de la partícula obtenido a partir del sedimento presente en el río Tabacay, éste presenta un flujo turbulento completamente rugoso donde el movimiento incipiente de la



carga de lecho ocurrirá a partir de un valor crítico o parámetro crítico de Shields que se considera entre el valor de 0.03 y 0.06 el cual permite definir la condición de movimiento como función del número de Reynolds de la partícula.

Las tasas de transporte estimadas en la estación 5 y 6 son las más altas, es decir que en las mismas se presenta una mayor erosión del cauce, y luego disminuye algo en la estación 7 por disminución de la pendiente.

Es importante considerar que, al tener resultados sólo aproximados de algunos parámetros, éstos pueden influir en el movimiento inicial de la carga de lecho, como: la distribución de partícula, la pendiente y formas del lecho, la cohesión del material.



LABORATORIO DE SANITARIA - FACULTAD DE INGENIERIA					
RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO - QUIMICO -MICROBIOLOGICO DE AGUAS					
Muestra procedencia:	Ríos Burgay y Tabacay				
Tipo de fuente:	Superficial				
Condiciones climatológicas:	Lluvioso				
Fecha de toma y análisis:	7 de Noviembre del 2013				
Análisis solicitado por:	Dra. Guillermina Pauta.				
	BURGAY A.J. TABACAY	TABACAY A.J. BURGAY	BURGAY D.J. TABACAY	UNIDAD	OBSERVACIONES
HORA	14:50H	15:00H	15:10H		con tiempos de paso
TEMPERATURA	22,2	18,8	21,3	°C	in situ
CAUDAL	0,909	0,21	1,119	m ³ /S	
COLOR REAL	25,0	27,0	31,0	UC, Pt Co	
TURBIEDAD	23,5	204,0	74,0	NTU, FTU	
CONDUCTIVIDAD	284,0	1024,0	467,0	microsiemens/ cm	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	27,0	324,0	110,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	183,0	574,0	267,0	mg/l	
pH	7,77	8,27	7,99		
ALCALINIDAD TOTAL	86,0	194,0	112,0	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	0,0	8,0	0,0		
DUREZA TOTAL	92,0	174,0	114,0	mg/l, CaCO ₃	
P. ORTOFOSFATOS TOTAL	3,10	5,36	1,44	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	9,0	155,0	46,0	mg/l	
N. NITRATOS	0,157	0,349	0,177	mg/l	como Nitrógeno
N. AMONIACAL	0,48	0,36	0,34	mg/l	como Nitrógeno
OXIGENO DISUELTO	6,30	6,65	6,45	mg/l	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	1,80	11,70	8,00	mg/l	
COLIFORMES TOTALES	2,20E+06	9,20E+07	2,80E+06	NMP/100 ML	37°C - 24 H
E. COLI	9,20E+05	3,20E+06	2,40E+05	NMP/100 ML	37°C - 24 H
COBRE		0,0		mg/l	
MANGANESO		0,1		mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS		2,9		mg/l	
SILICIO		8,22		mg/l	
ZINC		0,28		mg/l	
NIQUEL		0,1		mg/l	
CROMO		0,01		mg/l	
FLUORUROS		0,42		mg/l	
SULFATOS		226		mg/l	
SODIO		122		mg/l	
POTASIO		7,60		mg/l	
HIERRO TOTAL		0,03		mg/l	
CALCIO		48,80		mg/l	
MAGNESIO		12,63		mg/l	
FOSFORO REACTIVO		0,17		mg/l	como Fósforo
D. Q. O.		99,20		mg/l	
COLOR APARENTE		840,0		U.C. (Pt-Co)	
SOLIDOS TOTALES		898,0		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		324,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		574,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		574,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS		486,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES		88,0		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		324,0		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS		293,00		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES		31,00		mg/l	
SOLIDOS TOTALES		898,00		mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS		779,00		mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES		119,00		mg/l	
Atentamente,					
Dra. Guillermina Pauta C. DIRECTOR DE LABORATORIO					

Tabla 5. 1 Análisis del 7 de noviembre de 2013



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El río Tabacay presenta una calidad “aceptable” en su cabecera; “poco contaminado” a partir de la estación Rubíes, donde se lleva a cabo la explotación minera por parte de la Empresa UCEM (Unión Cementera Nacional), condición que se mantiene hasta la estación Población LEG Tabacay; y en la última estación Puente Sucre, la calidad desciende hasta el nivel de “Contaminado”, debido fundamentalmente a efluentes de origen industrial, posiblemente de la Empresa UCEM.
2. De acuerdo a la Normativa Ecuatoriana TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente), sólo la cabecera del río, es apta para casi todos los usos; el factor que más limita los usos benéficos del agua, como: fuente de abastecimiento, mantenimiento de la vida acuática, recreativo por contacto primario y secundario, y para agricultura, riego y ganadería, es el alto contenido de coliformes de origen fecal por descargas de aguas residuales no tratadas, y la turbiedad por la presencia de sólidos suspendidos de origen industrial y natural.
3. Este estudio será entregado a la SENAGUA, para que considere en las concesiones del recurso, la calidad del agua, sobre todo cuando es destinado a consumo humano, particularmente crítico en período de estiaje.
4. Históricamente la subcuenca del río Tabacay es una de las más afectadas por factores geológicos, topográficos, sociales, etc. Así lo confirma el Plan de Manejo Ambiental realizado en el año 2003 por el PROMAS; pero trece años más tarde la condición no ha cambiado; se ha hecho muy poco para la recuperación de la calidad del agua.
5. Por la geología de la zona, los suelos predominantes son los vertisoles, un tipo de suelo duro e indeseable para la agricultura; está compuesto de arcillas expansivas (formación Yunguilla), absorbe agua y produce un efecto



expansivo importante, y cuando la elimina, el suelo se agrieta y los agricultores identifican como el momento de adicionar los nutrientes para alimentar al suelo con materia orgánica y aumentar su productividad; no obstante muchos de los nutrientes adicionados, pueden contaminar el agua subterránea de la zona.

6. La calidad del río Burgay, es afectada por el río Tabacay (aporta el 30% del caudal); por lo tanto, la construcción de los interceptores marginales en ambos ríos, permitirá una recuperación parcial de la calidad; sin embargo, la contaminación natural es un tema a largo plazo, debido a que el río Tabacay es alimentado por quebradas que cuando crecen arrastran consigo pedazos de piedras pequeñas (como ripio), de gran poder erosivo.
7. En la microcuenca, se detecta la presencia de algunas quebradas de rápidas crecidas; con precipitaciones de 50 a 70 mm/h, durante 5 a 7 min, son suficientes para producir crecidas rápidas, debido a la pendiente, a la ausencia de vegetación, y al tipo de suelo; el agua que cae no se infiltra y fluye en forma de escorrentía, produciendo inundaciones, sobre todo la quebrada Mapayacu, la que en condiciones de crecida presenta caudales hasta de 4 m³/s; no obstante son crecidas de alta intensidad y poca duración, pero suficientes para generar los efectos descritos
8. El arrastre natural de sólidos suspendidos en esta subcuenca es debido a, movimientos de grandes masas de tierras (suelo inestable), y por la geología superficial son de naturaleza sedimentaria, que se meteorizan rápidamente.
9. Se puede concluir que con la estimación de la carga del fondo de lecho se puede llegar a obtener la carga total de sedimentos que el río transporta en cada una de las secciones analizadas, ya que el transporte de fondo representa de un 20 al 25% de la carga total.



10. Para ríos de montaña, existe una gran variación en la tasa de transporte de carga de lecho, debido a que la pendiente longitudinal del cauce, afecta las condiciones de umbral (es decir, el inicio de la carga de lecho); por lo que se debe tener en cuenta la pendiente del lecho, ya que el movimiento de sedimentos cambia con una pendiente empinada, al igual que la distribución de velocidad cerca del lecho.

RECOMENDACIONES

1. Sugerir a la Empresa EMAPAL de la ciudad de Azogues, instalar en la subcuenca del río Tabacay, una Red Meteorológica que permita captar datos de precipitación y otros, a fin de predecir condiciones críticas de crecida.
2. Sugerir al Ministerio del Medio Ambiente, en la Provincia del Cañar, la revisión de la actividad industrial presente en esta subcuenca; la explotación de áridos, así como la descarga de aguas residuales industriales a los cuerpos receptores, es su competencia.
3. Es absolutamente necesario, emprender un programa de reforestación para evitar las crecidas inesperadas de este río, y el consecuente arrastre de sólidos que inciden en la calidad del agua de éste río, y con repercusión en toda la cuenca del río Paute.
4. El análisis del transporte de la carga de lecho no es estudiado a fondo en este proyecto, por lo que se recomienda la revisión de literatura donde se presente formulas empíricas adecuadas para el transporte de sedimento grueso y ríos de alta pendiente; así como un trabajo experimental con el uso de modelos físicos para la obtención y correcto análisis de las diferentes tasas.



CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. . Arnold, J.G; Allen, P.M; Bernhardt, *Comprehensive surface-ground-water flow model*. 1993.
- [2] J. Bartram, R. Ballance, M. Meybeck, E. Kuusisto, A. Mäkelä, and E. Mälkki, “Water Quality,” *Water Qual. Monit. -A Pract. Guid. to Des. Implement. Freshw. Qual. Stud. Monit. Program.*, no. paper;cap2;calidadagua, pp. 1–22, 1996.
- [3] PROMAS, “Plan de manejo de la microcuenca del Río Tabacay,” p. 1,4, 2003.
- [4] C. A. Sierra Ramirez, *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico*, Primera. 2011.
- [5] G. Pauta, “Estudio Integral de la Calidad del Agua del Río Burgay y Evaluación del Riesgo Toxicológico por la Probable Presencia de Plaguicidas,” Universidad de Cuenca, 2014.
- [6] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, “Índice de Calidad de Agua,” Mexico.
- [7] G. D. G. Edwards, T.E., “Field methods for collection of fluvial sediment,” *Tech. Water-Resources Investig.*, vol. LIVRE 3, p. 89, 1999.
- [8] P. Marquis, “Turbidity and suspended sediment as measures of water quality,” *Watershed Manag. Bull.*, vol. 9, no. 1, pp. 21–23, 2005.
- [9] PRECUPA, “Programa de Recuperación de la Cuenca del Río Paute,” 1998.
- [10] W. P. C. F. American Public Health Association, American Water Works Association, *Metodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*, 17th ed. Estados Unidos, 1989.
- [11] J. Rodier, *Análisis de las aguas*, Ediciones. Bordas, París, 1978.
- [12] M. Cartes and X. Vargas, “Universidad de Chile Departamento de Ingeniería Civil Proyecto MECESUP UCH 0303 Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra Área Temática : Módulo : Desarrollado por : Hidrología Balance Hídrico en un Lisím,” 2007.
Autor: Paul Fernando Urgilez Montero



- [13] V. Te Chow, *Hidrología Aplicada*, 1st ed. Mc GRAW-HILL, 1994.
- [14] C. Coello, "Hidrometría," Cuenca, 2015.
- [15] H. . King, "Handbook of Hydraulics," in *Handbook of Hydraulics*, Edition 7., McGraw-Hill Professional Publishing, 1996.
- [16] D. D. Castro Mario, Almeida Juniel, Ferrer Julio, "Indicadores de la calidad del agua : evolución y tendencias a nivel global," *Ing. Ambient.*, vol. 10, no. 17, pp. 111–124, 2014.
- [17] B. M. Das, "Fundamentos de Ingeniería geotécnica.," *Thomson Learn.*, p. 587, 1985.
- [18] E. A. Pacheco T. and V. M. Carrillo S., "Transporte de fondo potencial mediante estudio en modelo físico de lecho móvil.," *Maskana*, vol. 5, pp. 73–81, 2014.
- [19] J. Aguirre-Pe, A. T. Moncada, M. L. Olivero, and M. A. Ochoa, "Transporte de sedimentos no uniformes," *Informacion Tecnologica*, vol. 13, no. 6. pp. 137–142, 2002.

ANEXOS

Anexo 1 Fotos de Campo (Estaciones de Monitoreo)

Estación 1



Estación 2



Estación 3



Estación 4



Estación 5



Estación 6



Estación 7



ANEXO 2

FUNCIONES DE TRANSFORMACIÓN Y CRITERIOS DE CÁLCULO

Ecuaciones

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros seleccionados para conformar el índice general, son las siguientes:

❖ Potencial de Hidrógeno

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

.....(1)

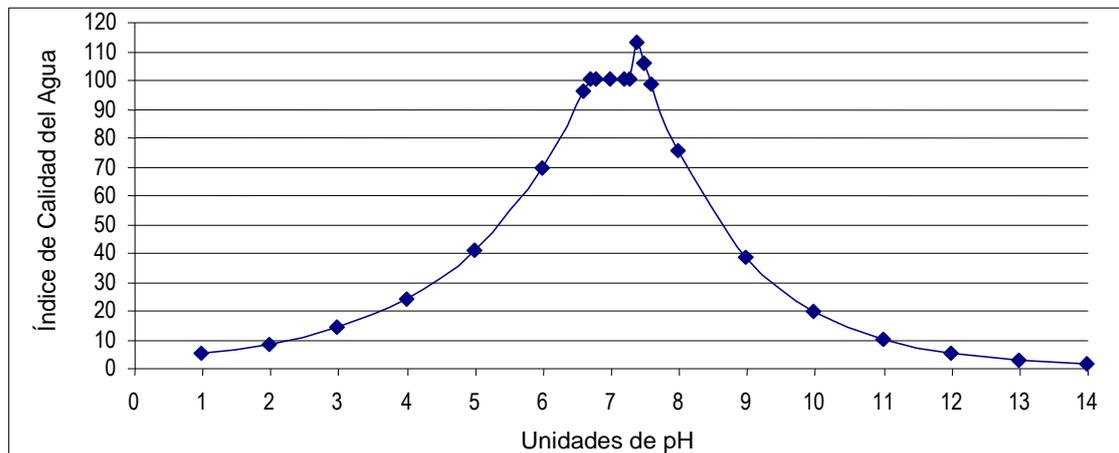
$$I_{\text{pH}} = 100 \quad \text{Si el pH está entre 6.7 y 7.3}$$

.....(2)

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

.....(3)

La gráfica 1 muestra el comportamiento de las ecuaciones.



Gráfica 1 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del pH

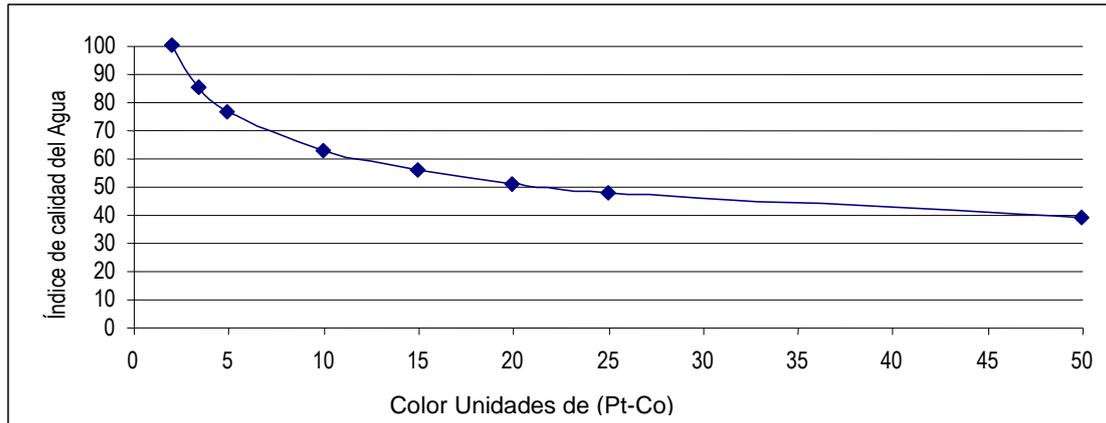


❖ Color

$$I_C = 123 (C)^{-0.295} \dots\dots\dots (4)$$

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

La gráfica 2 muestra el comportamiento de esta ecuación.



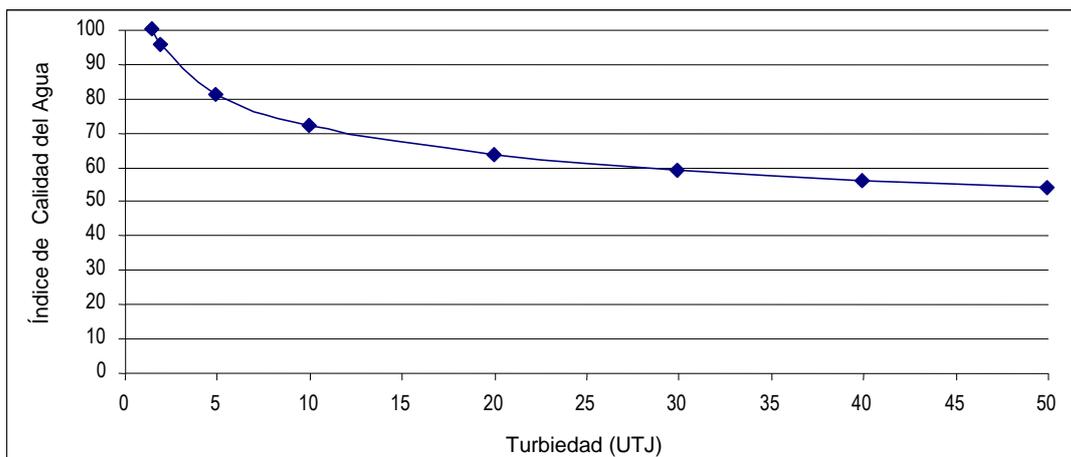
Gráfica 2 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del color

❖ Turbiedad

$$I_T = 108 (T)^{-0.178} \dots\dots\dots (5)$$

(T) turbiedad en unidades de UTJ

La gráfica 3 muestra el comportamiento de esta ecuación.



Gráfica 3 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de turbiedad

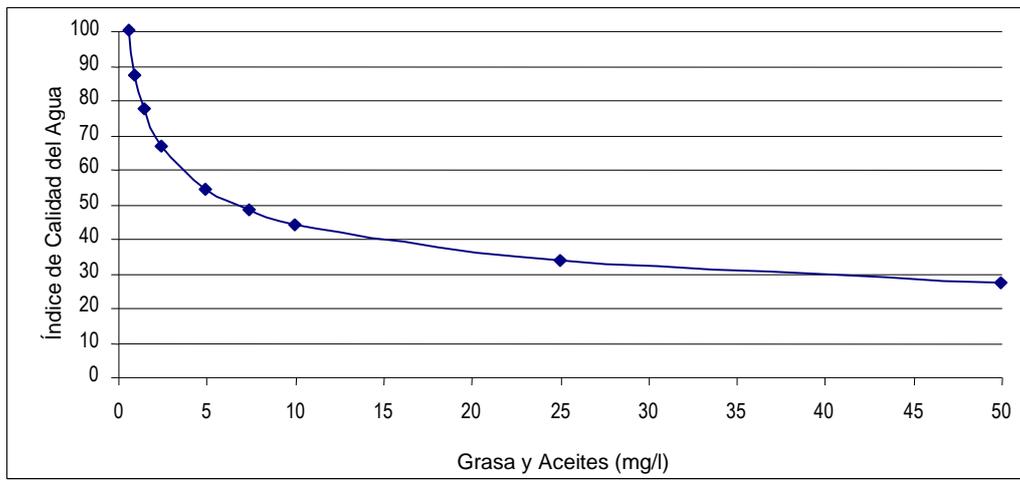


❖ Grasas y Aceites

$I_{G y A.} = 87.25 (G y A)^{-0.298}$ (6)

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

La gráfica 4 muestra el comportamiento de la ecuación 5.



Gráfica 4 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de grasas y aceites

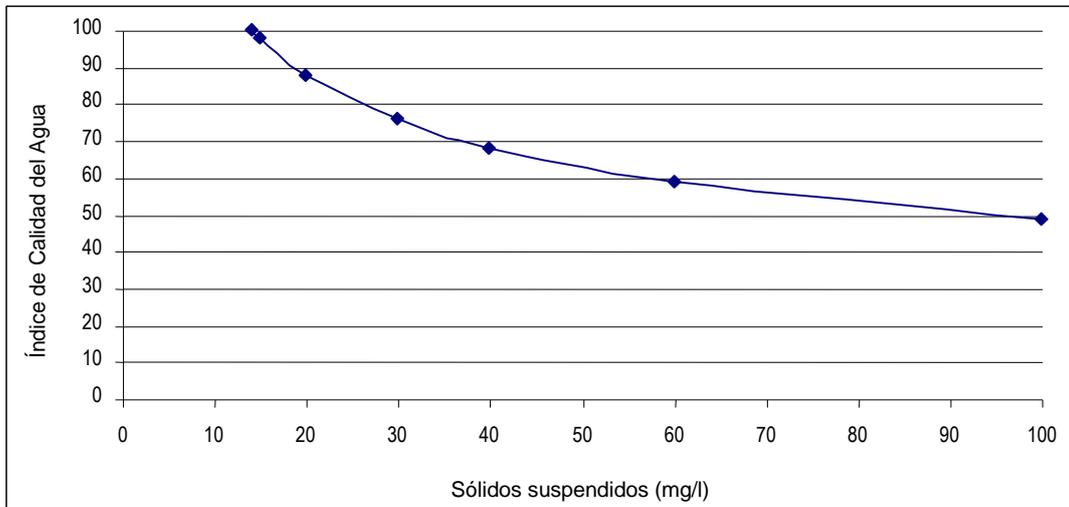
❖ Sólidos Suspendidos

$I_{SS} = 266.5 (SS)^{-0.37}$ (7)

(SS) Sólidos Suspendidos en mg/l



La gráfica 5 muestra el comportamiento de esta ecuación.



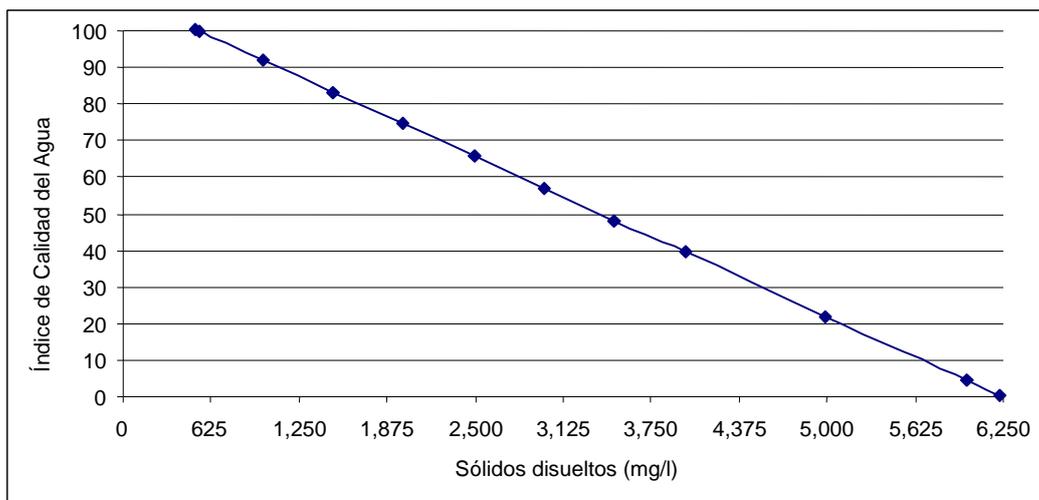
Gráfica 5 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de sólidos suspendidos

❖ Sólidos Disueltos

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD) \dots\dots\dots(8)$$

(SD) Sólidos Disueltos en mg/l

La gráfica 6 muestra el comportamiento de esta ecuación.



Gráfica 6 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de sólidos disueltos

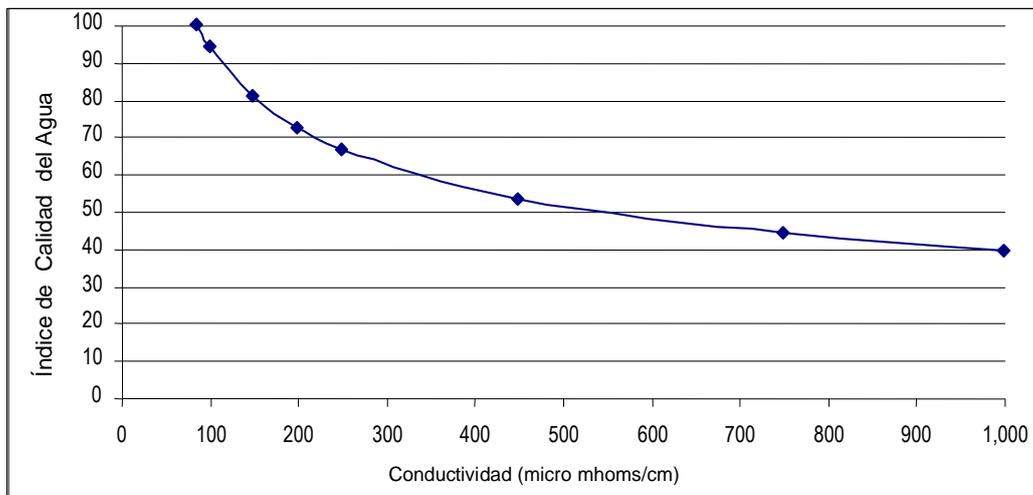


❖ Conductividad Eléctrica

$$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379} \dots\dots\dots(9)$$

(CE) Conductividad Eléctrica en $\mu\text{mhos/cm}$

La gráfica 7 muestra el comportamiento de esta ecuación.



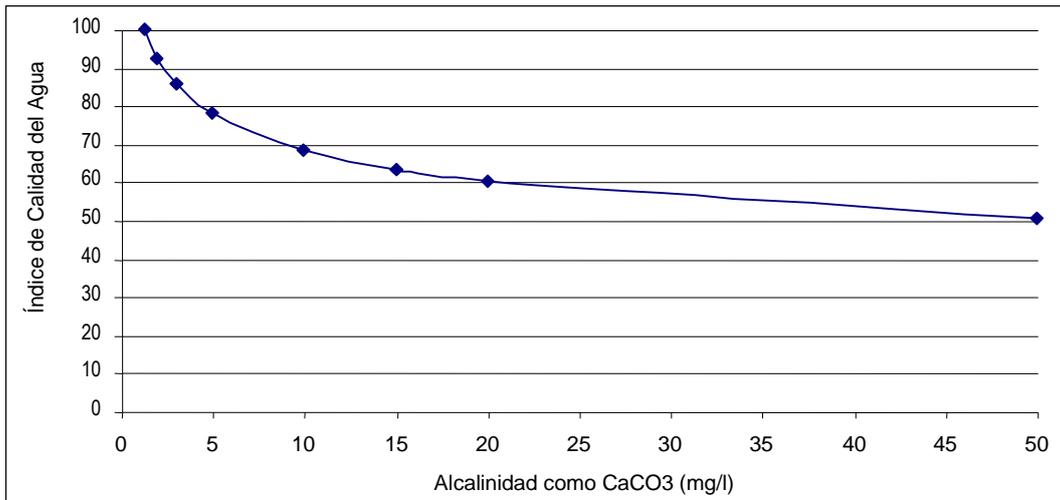
Gráfica 7 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de conductividad eléctrica

❖ Alcalinidad

$$I_A = 105 (A)^{-0.186} \dots\dots\dots(10)$$

(A) Alcalinidad en mg/l como CaCO_3

La gráfica 8 muestra el comportamiento de esta ecuación.



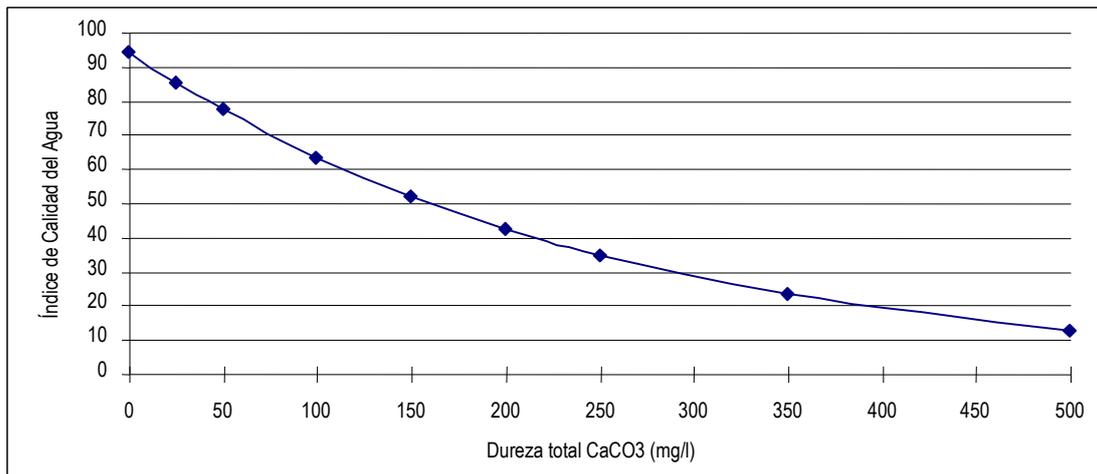
Gráfica 8 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de alcalinidad

❖ Dureza Total

$$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174 (DT)} \dots\dots\dots(11)$$

(DT) Dureza Total en mg/l como CaCO₃

La gráfica 9 muestra el comportamiento de esta ecuación.



Gráfica 9 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de dureza total

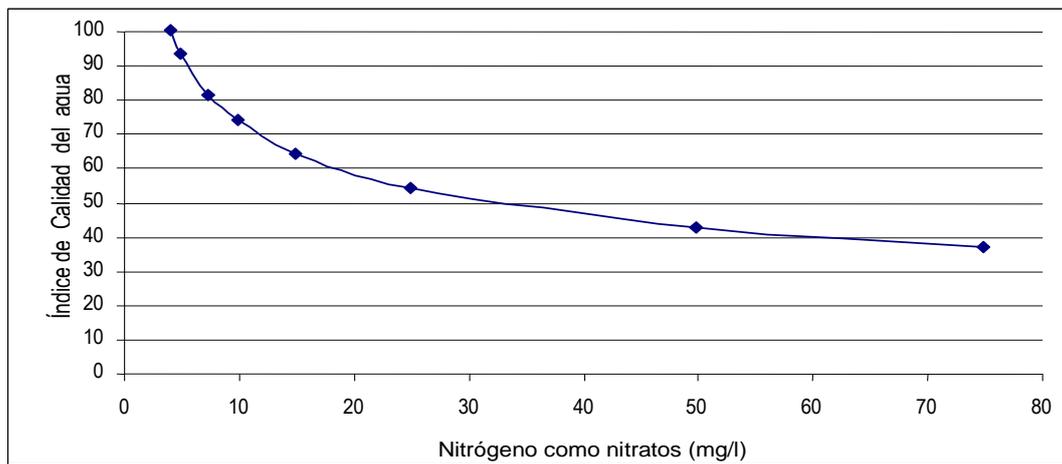


❖ Nitrógeno de Nitratos

$$I_{N-NO_3} = 162.2 (N-NO_3)^{-0.343} \dots\dots\dots(12)$$

(N-NO₃) Nitrógeno de Nitratos en mg/l

La gráfica 10 muestra el comportamiento de esta ecuación.



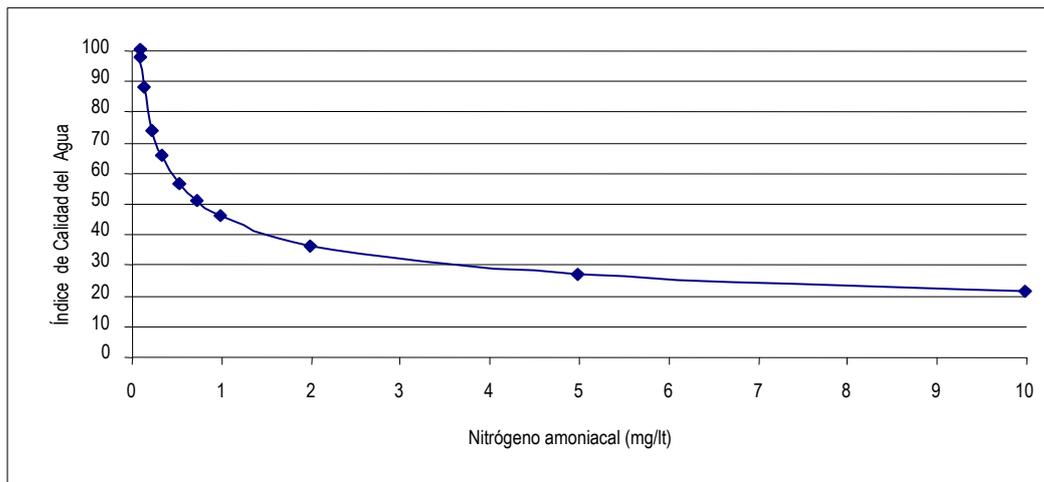
Gráfica 10 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de nitratos

❖ Nitrógeno Amoniacal

$$I_{NH_3} = 45.8 (N-NH_3)^{-0.343} \dots\dots\dots(13)$$

(N-NH₃) Nitrógeno amoniacal en mg/l

La gráfica 11 muestra el comportamiento de esta ecuación.



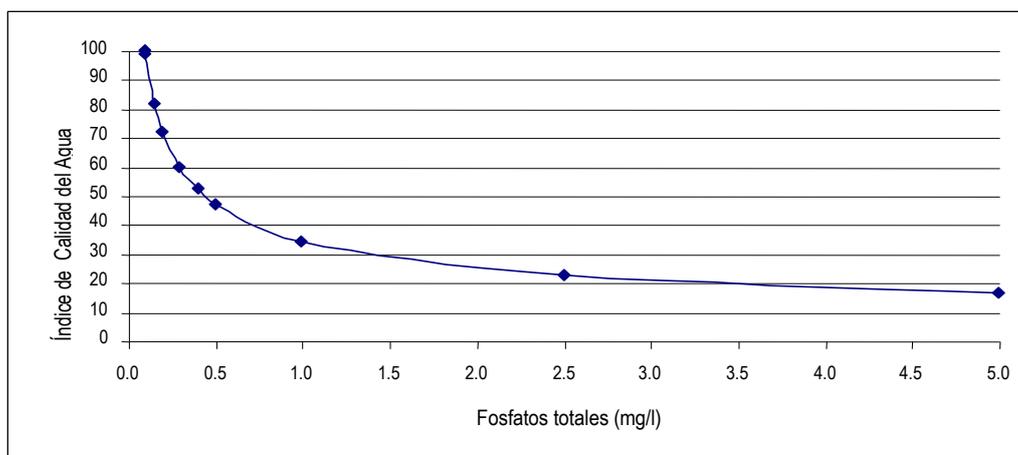
Gráfica 11 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de nitrógeno amoniacal

❖ Fosfatos Totales

$$I_{PO_4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46} \dots\dots\dots(14)$$

(PO₄) Fosfatos Totales en mg/l

La gráfica 12 muestra el comportamiento de esta ecuación.



Gráfica 12 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de fosfatos totales

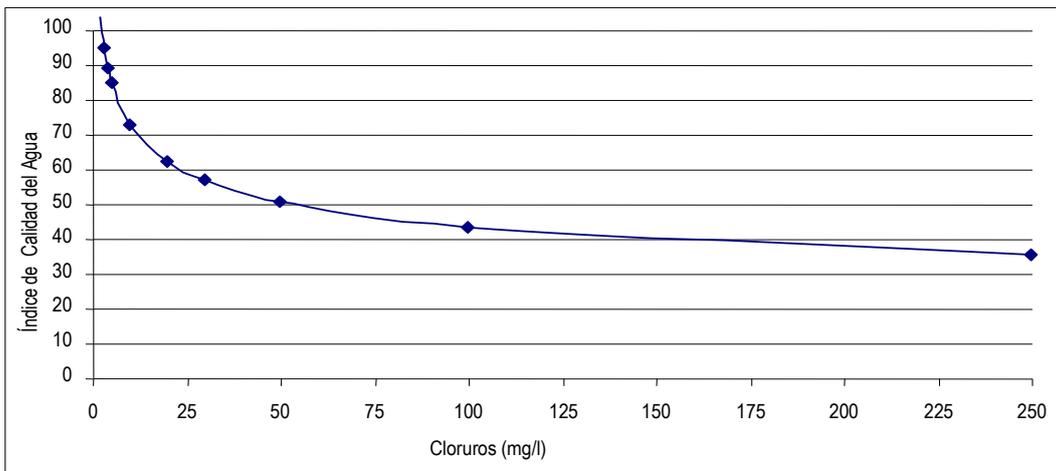


❖ Cloruros

$$I_{Cl^-} = 121 (Cl)^{-0.223} \dots\dots\dots(15)$$

(Cl) Cloruros en mg/l

La gráfica 13 muestra el comportamiento de esta ecuación.



Gráfica 13 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de cloruros

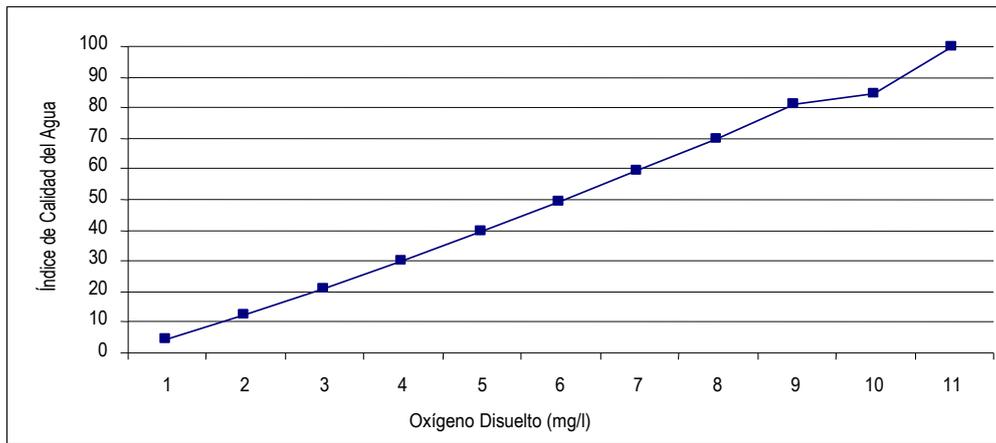
❖ Oxígeno Disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100 \dots\dots\dots(16)$$

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

(Oxígeno Disuelto)_{sat} mg/l de saturación $T_{sat} = T_c$

La gráfica 14 muestra el comportamiento de esta ecuación.

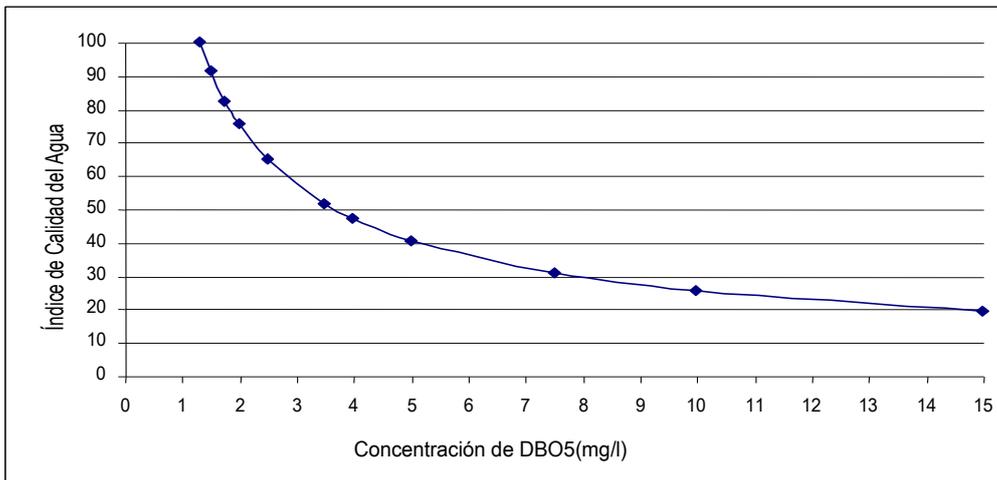


Gráfica 14 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de oxígeno disuelto

❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno

$$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673} \dots\dots\dots(17)$$

(DBO) Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l



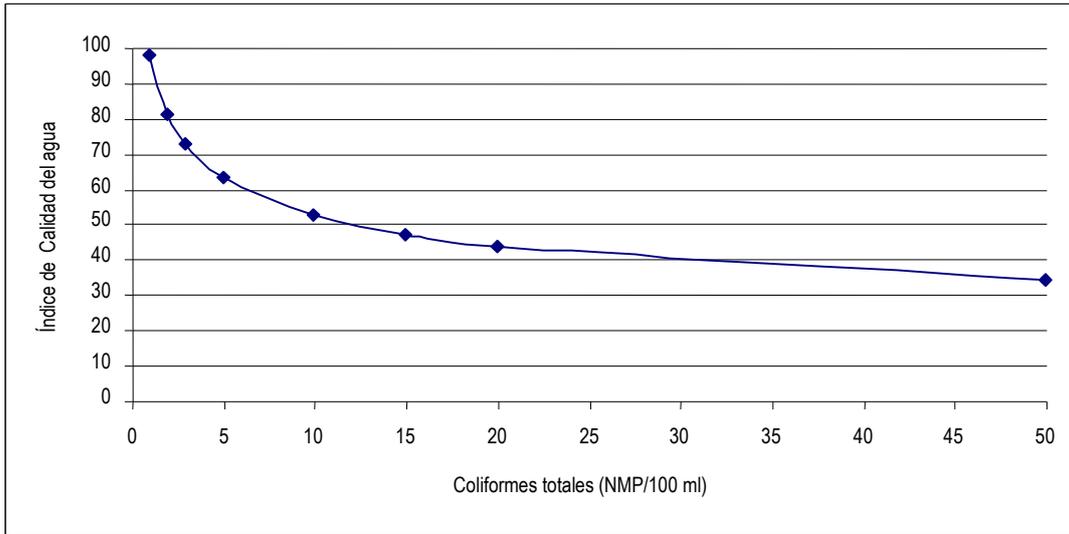
Gráfica 15 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de DBO₅



❖ Coliformes Totales

$$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27} \dots\dots\dots(18)$$

(CT) Coliformes Totales en NMP / 100 ml

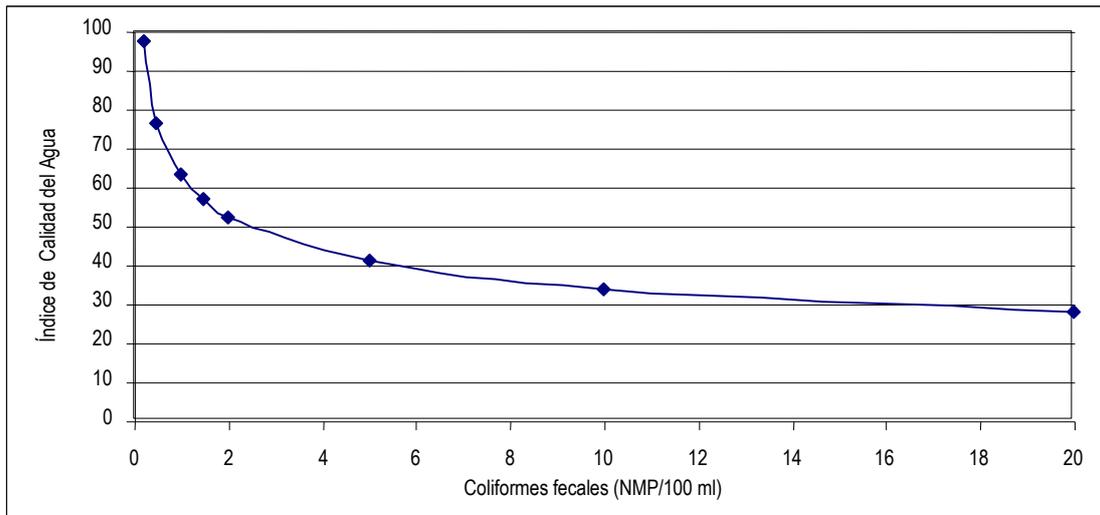


Gráfica 16 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes totales

❖ Coliformes Fecales

$$I_{Ec} = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27} \dots\dots\dots(19)$$

(CF) Coliformes Fecales en NMP / 100 ml

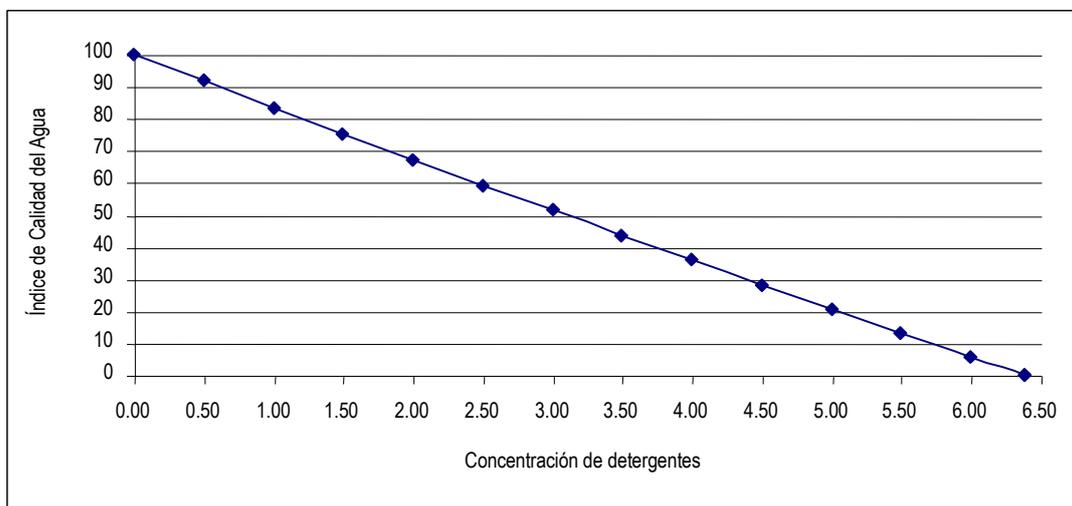


Gráfica 17 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes fecales

❖ Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2 \dots\dots\dots(20)$$

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



Gráfica 18 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua



Criterios de Cálculo

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.

En caso de que no exista ningún parámetro para el cálculo del ICA, la estación de monitoreo no se tomará en cuenta para el período de evaluación de donde no haya información.

El cálculo del ICA se realizará con los parámetros con que cuente la estación de monitoreo, en caso de que no existan los 18 parámetros.

1. Potencial de hidrógeno. Para valores de pH menores a 6.7 se usará la ecuación 1; en el caso de que el pH sea mayor o igual a 6.7 y menor que 7.58 se aplicará la ecuación 2. Cuando el pH sea mayor o igual a 7.58 se usará la ecuación 3.
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.
3. Turbiedad. Para concentraciones menores a 1.54 UTJ se asignará un valor de ICA de 100.
4. Grasas y aceites. Cuando se tienen datos menores de 0.633 mg/l, se debe asignar un valor de ICA de 100.
5. Sólidos suspendidos. Para concentraciones menores de 14.144 mg/l se asigna un valor de ICA de 100.
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.
7. Conductividad eléctrica. Cuando se tienen concentraciones menores a 85.60 μ mhos/cm, se debe asignar un ICA de 100 %.
8. Alcalinidad. Para concentraciones menores de 1.3 se asigna un ICA de 100.
9. Dureza total. Para concentraciones mayores a 2500 mg/l se asignará un ICA de cero.



10. Nitrógeno de nitratos. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores a 4.097 mg/l.
11. Nitrógeno amoniacal. Para concentraciones menores de 0.11 mg/l se asigna un ICA de 100.
12. Fosfatos totales. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 0.0971 mg/l.
13. Cloruros. Para concentraciones menores a 2.351 se asignará un ICA de 100.
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 (21) que se muestra a continuación:

$$\ln(OD) = -139.34411 + \left(1.575701 \frac{10^5}{T}\right) - \left(6.642308 \frac{10^7}{T^2}\right) + \left(1.2438 \frac{10^{10}}{T^3}\right) - \left(8.621949 \frac{10^{11}}{T^4}\right) \dots\dots\dots(21)$$

donde la temperatura T esta en grados Kelvin ($T = 273.15 + T_{\text{ambiente}}$)

Posteriormente con la ecuación (16) se calcula el índice del OD.

15. Demanda bioquímica de oxígeno. Se asigna un ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 1.311 mg/l.
16. Coliformes totales. Cuando se tiene un valor de coliformes totales de 0 NMP/100 ml, se asigna un índice de 100.
17. Coliformes fecales. Cuando se tiene un valor de coliformes fecales de 0 NMP/100 ml, se asigna un índice de 100.
18. SAAM. Se asigna un valor de ICA de cero cuando se tengan concentraciones mayores de 6.384 mg/l.



ANEXO 3.									
LABORATORIO DE SANITARIA									
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA									
Muestra procedencia:	Río Tabacay.- Parroquia Guapán.- Cantón Azogues.- Provincia del Cañar								
Tipo de fuente:	Superficial								
Condiciones Climatológicas:	Soleado								
Fecha de toma:	28 de Septiembre de 2016								
Fecha de Análisis:	28 de Septiembre de 2016								
Análisis solicitado por:	Sr. Paúl Urgilés								
PARAMETROS	#1 Estacion Concorayacu	#2 Estación Rubies	#3 Iglesia San Antonio	#4 Antes Q. Mahuarcay	#5 Después Q. Mahuarcay	#6 Población Leg Tabacay	#7 Puente Sucre	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS									
TEMPERATURA	10,7	14,4	14,6	14,3	14,4	14,9	14,7	°C.	in situ
TURBIEDAD	1,2	34,2	15,3	12,0	12,8	13,8	15,0	NTU, FTU	
COLOR REAL	10,0	59,0	19,0	33,0	41,0	40,0	35,0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	231,0	261,0	264,0	340,0	348,0	362,0	1060,0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS									
pH	8,34	8,48	8,37	8,42	8,63	8,70	8,55		
ALCALINIDAD TOTAL	103,8	112,2	110,2	121,8	124,8	103,0	177,4	mg/l, CaCO3	
DUREZA TOTAL	107,6	125,6	109,4	104,0	106,2	131,8	150,8	mg/l, CaCO3	
CLORUROS	5,0	5,1	13,50	30,30	30,80	36,70	172,0	mg/l	
FOSFORO REACTIVO	0,006	0,014	0,012	0,014	0,016	0,024	0,072	mg/l	como Fósforo
FOSFORO TOTAL	3,15	1,39	0,710	3,28	3,85	0,41	0,80	mg/l	como Fósforo
AMONIO	0,047	0,033	0,016	0,007	0,041	0,046	0,192	mg/l	
N. NITRATOS	0,250	0,208	0,160	0,177	0,139	0,129	0,519	mg/l	como Nitrógeno
N. NITRITOS	0,108	3,340	2,94	7,38	19,90	18,18	135,0	ug/l	como Nitrógeno
OXÍGENO DISUELTO (in situ)	7,99	7,53	7,19	7,72	7,98	7,93	8,33	mg/l	
DEMANADA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	0,46	0,45	0,42	0,63	0,96	2,51	5,23	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	170,0	97,0	106,0	227,0	234,0	232,0	693,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	3,0	74,0	35,0	19,0	16,0	16,0	22,0	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS									
COLIFORMES TOTALES	110,0	540,0	7,00E+03	2,20E+04	7,80E+04	9,40E+04	2,80E+06	NMP/100ml	37°C. 24H
E. COLI	33,0	130,0	1,10E+03	4,70E+03	4,50E+04	9,40E+04	2,80E+06	NMP/100ML	37°C. 24H

Anexo 4: Datos tomados en las 7 Estaciones para el cálculo estimado de Transporte de Carga de Lecho

Estación 1			Estación 2			Estación 3		
Datos	Valor	Unidad	Datos	Valor	Unidad	Datos	Valor	Unidad
Gravedad	9.81	m/seg ²	Gravedad	9.81	m/seg ²	Gravedad	9.81	m/seg ²
pendiente	7.4	#/100	pendiente	8.1	#/100	pendiente	3.6	#/100
Caudal	Variable	m ³ /seg	Caudal	Variable	m ³ /seg	Caudal	Variable	m ³ /seg
ρ_s	2210	Kg/m ³	ρ_s	17600	Kg/m ³	ρ_s	1700	Kg/m ³
ρ	998.2	Kg/m ³	ρ	998.2	Kg/m ³	ρ	998.2	Kg/m ³
d_{50}	0.00000	m	d_{50}	0.00000	m	d_{50}	0.00000	m
v	1.007E-06		v	1.007E-06		v	1.007E-06	
Ancho Río	2.33	m	Ancho Río	5.6	m	Ancho Río	2.3	m
s	2.21		s	17.6		s	1.7	

Estación 4			Estación 5			Estación 6		
Datos	Valor	Unidad	Datos	Valor	Unidad	Datos	Valor	Unidad
Gravedad	9.81	m/seg ²	Gravedad	9.81	m/seg ²	Gravedad	9.81	m/seg ²
pendiente	3.4	#/100	pendiente	5.59	#/100	pendiente	3.87	#/100
Caudal	Variable	m ³ /seg	Caudal	Variable	m ³ /seg	Caudal	Variable	m ³ /seg
ρ_s	1890	Kg/m ³	ρ_s	1720	Kg/m ³	ρ_s	1740	Kg/m ³
ρ	998.2	Kg/m ³	ρ	998.2	Kg/m ³	ρ	998.2	Kg/m ³
d_{50}	0.00000	m	d_{50}	0.00000	m	d_{50}	0.00000	m
v	1.007E-06		v	1.007E-06		v	1.007E-06	
Ancho Río	2.8	m	Ancho Río	3.5	m	Ancho Río	2.6	m
s	1.89		s	1.72		s	1.74	

Estación 7		
Datos	Valor	Unidad
Gravedad	9.81	m/seg ²
pendiente	4.03	#/100
Caudal	Variable	m ³ /seg
ρ_s	1710	Kg/m ³
ρ	998.2	Kg/m ³
d_{50}	0.00000	m
v	1.007E-06	
Ancho Río	3.37	m
s	1.71	

ANEXO 5. Granulometría de las Estaciones de Monitoreo

Estación 1:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
	ÁRIDO GRUESO	1"	25.40	75.90	3.44	3.44
3/4"		19.00	29.10	1.32	4.76	95.20
1/2"		12.70	254.60	11.55	16.32	83.70
3/8"		9.51	242.20	10.99	27.31	72.70
#4		4.76	566.90	25.72	53.03	47.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	561.40	25.48	78.51	21.50
	#16	1.19	304.80	13.83	92.34	7.70
	#30	0.60	110.50	5.01	97.35	3.00
	#50	0.30	39.50	1.79	99.15	0.90
	#100	0.15	11.50	0.52	99.67	0.30
	#200	0.08	2.80	0.13	99.80	0.00
	FOND O		4.50	0.20	100.00	0.00
		Total	2203.70	100.00		

Estación 2:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
	ÁRIDO GRUESO	3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"		12.70	7.90	0.44	0.44	99.60
3/8"		9.51	18.90	1.05	1.49	98.50
#4		4.76	160.50	8.90	10.38	90.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	328.20	18.20	28.58	71.40
	#16	1.19	479.40	26.58	55.16	44.80
	#30	0.60	448.60	24.87	80.03	20.00
	#50	0.30	256.10	14.20	94.23	5.80
	#100	0.15	91.40	5.07	99.30	0.70
	#200	0.08	8.90	0.49	99.79	0.00
	FONDO		3.70	0.21	100.00	0.00



		Total	1803.60	100.00		
--	--	-------	---------	--------	--	--

Estación 3:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
ÁRIDO GRUESO	3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.0
	1/2"	12.70	4.50	0.42	0.42	99.60
	3/8"	9.51	0.80	0.07	0.50	99.50
	#4	4.76	6.80	0.64	1.13	99.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	27.60	2.59	3.72	96.30
	#16	1.19	135.40	12.69	16.41	83.60
	#30	0.60	370.30	34.71	51.12	49.00
	#50	0.30	356.50	33.42	84.54	15.50
	#100	0.15	135.80	12.73	97.27	2.70
	#200	0.08	19.80	1.86	99.13	1.00
	FONDO		9.30	0.87	100.00	0.00
		Total	1066.80	100.00		

Estación 4:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
ÁRIDO GRUESO	3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
	1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/8"	9.51	4.30	0.49	0.49	99.50
	#4	4.76	16.30	1.86	2.35	98.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	22.10	2.52	4.87	95.10
	#16	1.19	285.70	32.59	37.46	62.50
	#30	0.60	305.90	34.89	72.35	28.00
	#50	0.30	142.40	16.24	88.59	11.40
	#100	0.15	74.20	8.46	97.06	2.90
	#200	0.08	17.30	1.97	99.03	1.00
	FONDO		8.50	0.97	100.00	0.00
		Total	876.70	100.00		

Estación 5:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
ÁRIDO GRUESO	3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
	1/2"	12.70	2.10	0.18	0.18	99.80
	3/8"	9.51	36.90	3.24	3.42	96.60
	#4	4.76	141.90	12.45	15.87	84.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	187.10	16.41	32.28	67.70
	#16	1.19	231.60	20.32	52.60	47.40
	#30	0.60	251.20	22.04	74.64	25.00
	#50	0.30	187.10	16.41	91.05	8.90
	#100	0.15	74.50	6.54	97.59	2.40
	#200	0.08	18.20	1.60	99.18	1.00
	FONDO		9.30	0.82	100.00	0.00
		Total	1139.90	100.00		

Estación 6:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
ÁRIDO GRUESO	3/4"	19.05	49.50	2.66	2.66	97.30
	1/2"	12.70	107.40	5.77	8.43	91.60
	3/8"	9.51	82.60	4.44	12.87	87.10
	#4	4.76	191.50	10.29	23.16	77.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	259.40	13.94	37.10	62.90
	#16	1.19	383.00	20.58	57.68	42.30
	#30	0.60	414.80	22.29	79.98	20.00
	#50	0.30	221.90	11.92	91.90	8.10
	#100	0.15	102.70	5.52	97.42	2.60
	#200	0.08	27.90	1.50	98.92	1.00
	FONDO		20.10	1.08	100.00	0.00
		Total	1860.80	100.00		

Estación 7:

Tipo de Árido	Tamices		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
ÁRIDO GRUESO	3/4"	19.05	40.90	2.56	2.56	97.40
	1/2"	12.70	60.20	3.77	6.33	93.70
	3/8"	9.51	47.90	3.00	9.33	90.70
	#4	4.76	142.20	8.90	18.23	82.00
ÁRIDO FINO	#8	2.38	253.00	15.84	34.07	65.90
	#16	1.19	486.40	30.45	64.52	35.50
	#30	0.60	397.50	24.89	89.41	11.00
	#50	0.30	126.60	7.93	97.33	2.70
	#100	0.15	33.30	2.08	99.42	0.60
	#200	0.08	5.50	0.34	99.76	0.00
	FONDO		3.80	0.24	100.00	0.00
		Total	1597.30	100.00		